

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Předsazená montáž oken

Thermally separated installation of windows

STUDIJNÍ PROGRAM

Budovy a prostředí

STUDIJNÍ OBOR

Budovy a prostředí

VEDOUCÍ PRÁCE

Ing. Jiří Novák, Ph.D.

KASAL

PAVEL

2019



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Kasal Jméno: Pavel Osobní číslo: 423208

Zadávací katedra: Katedra konstrukcí pozemních staveb

Studijní program: (N3649) Budovy a prostředí

Studijní obor: (3608T006) Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Předsazená montáž oken

Název diplomové práce anglicky: Thermally separated installation of windows

Pokyny pro vypracování:

- Rešerše technických podkladů (norem) souvisejících se zadáním
- Popis používaných systémů předsazené montáže
- Výpočetní analýza detailů styku okno/stěna ve variantách (typ okna, konstrukční řešení stěny, způsob osazení) se sledováním lineárního činitele prostupu tepla a nejnižší vnitřní povrchové teploty v oblasti připojovací spáry
- Kvantifikace snížení tepelných ztrát vlivem předsazení z hlediska připojovací spáry/okna/objektu či zóny
- Vyhodnocení výsledků a závěry

Seznam doporučené literatury:

ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky

ČSN 74 6077 Okna a vnější dveře - Požadavky na zabudování

ČSN EN ISO 10077-2 Tepelné chování oken, dveří a okenic - Výpočet součinitele prostupu tepla - Část 2:

Výpočtová metoda pro rámy

Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy: doporučení pro návrh a stavbu, Hazucha Juraj, Grada 2016

Ročenky a sborníky ČKLOP

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jiří Novák, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 02.10.2018

Termín odevzdání diplomové práce: 06.01.2019

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

02.10.2018

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Kasal, Pavel. *Předsazená montáž oken*. Praha: ČVUT 2019. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební.



**FAKULTA
STAVEBNÍ
ČVUT V PRAZE**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně. Dále prohlašuji, že jsem všechny použité zdroje správně a úplně citoval a uvádím je v příloženém seznamu použité literatury.

Nemám závažný důvod proti zpřístupnění této závěrečné práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) v platném znění.

V Praze dne: 02. 01. 2019

Podpis:

Poděkování

Na tomto místě bych velice rád poděkoval všem, kteří mě podporovali při tvorbě této bakalářské práce. Zejména bych chtěl poděkovat Ing. Jiřímu Novákovi, Ph.D. za vedení diplomové práce, výborný přístup a cenné připomínky.

Rád bych poděkoval také všem lidem z praxe, kteří mi umožnili přístup na stavby, kde se prováděla předsazená montáž oken. Děkuji také Ing. Jaroslavu Štokovi za zapůjčení ocelové konzoly pro předsazenou montáž. V neposlední řadě bych rád poděkoval své rodině a blízkým za podporu.

Abstrakt

Tato práce se zabývá předsazenou montáží oken. Představuje používané systémy předsazené montáže. Zahrnuje rozsáhlou výpočetní analýzu detailů styku okenní výplně a stavební konstrukce ve 2D teplotním poli. Vyhodnocuje hodnoty nejnižší vnitřní povrchové teploty a lineárního činitele prostupu tepla u výpočtů s různou hloubkou osazení okna a ve skladbách s různými typy nosných konstrukcí. Na základě vyhodnocení doporučuje vhodné vyložení okna a uvádí, jaké typy oken jsou pro předsazenou montáž vhodné. Práce zahrnuje také 3D výpočet bodového činitele prostupu tepla ocelové konzoly pro předsazenou montáž a porovnává systém, který řeší předsazení pomocí konzol se systémem, který vytváří sekundární ostění. Porovnává klasickou a předsazenou montáž z hlediska tepelných ztrát. Provádí výpočet potřeby tepla na vytápění pro modelový dům a ukazuje potenciál úspory vlivem realizace předsazené montáže. Součástí práce je výpočetní nástroj pro výpočet finanční úspory za vytápění vlivem realizace předsazené montáže.

Klíčová slova

Předsazená montáž oken, systémy předsazené montáže, lineární činitel prostupu tepla, nejnižší vnitřní povrchová teplota, 2D teplotní pole, výplň otvoru

Abstract

The thesis describes systems of thermally separated installation of windows. The main part of thesis is extensive 2D temperature field computational analysis of fitted window frames details. Calculations in 2D temperature field include details with various depth of installed windows and with various wall materials. The thesis evaluates the lowest internal surface temperature and linear thermal transmittance. Based on the evaluation of analysis, the thesis recommends a suitable window position and a suitable types of the window for thermally separated installation of windows. The thesis also includes a 3D calculation of point thermal transmittance of steel cantilever for thermally separated installation of windows and compares systems of steel cantilevers with secondary jambs. Thesis compares ordinary and thermally separated installation of windows from heat losses point of view. It shows the savings potential of model family house and computing tool of the savings potential is included in this thesis.

Key words

Thermally separated installation of windows, systems of thermally separated installation, linear thermal transmittance, the lowest internal surface temperature, 2D temperature field, infill of openings

Obsah

1	Úvod.....	8
1.1	Úvod do problému.....	8
1.2	Základní pojmy.....	8
1.3	Cíle práce.....	9
2	Předsazená montáž okenních výplní.....	10
2.1	Předsazená a klasická montáž.....	10
2.2	Zabudování oken do stavby.....	11
2.3	Systémy pro předsazenou montáž oken.....	15
2.4	Systémy předsazené montáže používané v zahraničí.....	21
3	Tepelně technické souvislosti	23
3.1	Součinitel prostupu tepla okna.....	24
3.2	Lineární činitel prostupu tepla	25
3.3	Nejnižší vnitřní povrchová teplota.....	27
3.4	Výpočet potřeby tepla na vytápění.....	30
4	2D výpočetní analýza	33
4.1	Základní myšlenka	33
4.2	Základní informace	34
4.3	Předběžná výpočetní analýza	36
4.4	Podrobná výpočetní analýza	52
4.5	Vliv změny R_{si} na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu	65
5	Porovnání systémů předsazení	69
5.1	Výpočet bodového činitele prostupu tepla konzoly	69
5.2	Výpočet lineárního činitele prostupu tepla	71
5.3	Porovnání tepelných propustností.....	72
5.4	Hodnocení výsledků	74
6	Výpočet snížení tepelných ztrát	75
6.1	Tepelná propustnost styku okenní výplň/stěna	75
6.2	Výpočetní nástroj pro porovnání tepelných ztrát.....	79

6.3	Shrnutí	83
7	Závěr	84
	Seznam použité literatury	89
	Seznam obrázků	92
	Seznam tabulek	95
	Přílohy	96

1 Úvod

1.1 Úvod do problému

Okenní výplň lze považovat za jeden z nejdůležitějších prvků obvodového pláště. Umožňuje zpravidla kontakt s okolím, vnikání světla do interiéru, přirozené větrání, případně komunikační spojení. Vzhledem k tomu, že okenní výplně jsou zpravidla přibližně pětikrát tenčí než obvodová konstrukce, je třeba jejich návrhu a zabudování do stavby věnovat velkou pozornost. Mezi nejdůležitější požadavky na okenní výplně patří bezesporu požadavky tepelně technické, kterými je nutné se zabývat zejména ze dvou důvodů. Prvním důvodem je nebezpečí tvorby plísní či kondenzace vodní páry na otvorové výplni a v blízkém okolí připojovací spáry. Druhým důvodem je možnost eliminace tepelných ztrát celého objektu. Použitím kvalitní otvorové výplně a správným zabudováním lze redukovat tepelné ztráty objektu a zabránit tvorbě plísní na otvorové výplni či v jejím okolí. [1; 2; 3]

Okenní výplně zaznamenaly v poslední době výrazný technický a technologický posun. V dnešní době jsou výrobci oken schopni vyrobit okenní výplň s hodnotou součinitele prostupu tepla celého okna pod $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. S tímto pokrokem v oblasti výroby oken se stává více dominantní tepelná ztráta způsobená osazením okenní výplně. Z tohoto důvodu se snažíme hledat nejefektivnější polohu okenní výplně v ostění okenního otvoru vzhledem k tepelným ztrátám způsobeným tepelnou vazbou na styku okenní výplně a okolní konstrukce. [2; 4]

Často tak přistupujeme k tzv. předsazené montáži výplní otvorů, kterou se zabývá tato práce. Téma diplomové práce vzniklo s cílem zodpovězení řady otázek týkajících se předsazené montáže. Otázky byly sestaveny na základě diskuze s odborníky ze stavební praxe, kteří se zabývají problematikou výplní otvorů a jejich zabudování do stavby. Byli zde zastoupeni akademičtí a vědečtí pracovníci, specialista na stavební fyziku z významné realizační firmy a výrobci oken nebo systémů předsazené montáže. Tato práce má za úkol odpovědět na aktuální otázky stavební praxe. Část výstupů z této práce nalezne přímé využití v praxi.

1.2 Základní pojmy

V této práci jsou často používány tyto odborné termíny, které je vhodné přesně definovat:

- tzv. předsazená montáž oken: montáž oken do roviny hlavní tepelně izolační vrstvy, vysazením okna před nosnou nebo výplňovou konstrukci [2; 3]
- tzv. klasická montáž oken: montáž oken do okenního otvoru v nosné nebo výplňové konstrukci (vnější líc rámu okenní výplně je zpravidla ve stejné rovině jako vnější líc nosné či výplňové konstrukce)
- okenní výplň: okno osazené do stavebního otvoru [5]

1.3 Cíle práce

Cílem práce je na základě rozsáhlé výpočtové analýzy odpovědět na tyto konkrétní otázky:

- **O jakou vzdálenost je vhodné okno předsadit?**
- **Jaký je rozdíl z hlediska nejnižší vnitřní povrchové teploty a prostupu tepla mezi vhodně provedenou klasickou montáží na vnější líc nosné konstrukce a předsazenou montáží okna?**
- **Jaké tepelně technické parametry (především součinitel prostupu tepla rámu okna) má mít okno vhodné pro předsazenou montáž?**
- **Jaký má vliv na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu stavební konstrukce změna odporu při přestupu tepla (R_{si})?**
- **Jaký je rozdíl mezi systémem předsazené montáže pomocí „sekundárního ostění“ a pomocí „konzol“ z pohledu tepelné propustnosti styku okenní výplně a stavební konstrukce?**
- **Jaký je přínos předsazené montáže z hlediska snížení tepelných ztrát a jakému procentu celkových tepelných ztrát (připojovací spáry/osazeného okna/budovy či zóny) toto snížení odpovídá?**

Výpočtová analýza odpovídající na tyto otázky zahrnuje výpočty ve 2D a 3D teplotním poli pro zjištění nejnižší vnitřní povrchové teploty a lineárních a bodových činitelů prostupu tepla, dále také výpočty pro zjištění tepelných ztrát, které je možné eliminovat realizací předsazené montáže místo klasické montáže oken.

Sestavení výpočetní strategie předcházelo studium podkladů zaměřených na problematiku okenních výplní, podrobné studium montážních návodů systému předsazené montáže a návštěvy několika staveb, na kterých bylo možné vidět provádění většiny u nás používaných systémů předsazené montáže. Podrobnější informace k výpočetním analýzám jsou uvedeny vždy na začátku příslušných kapitol.



2 Předsazená montáž okenních výplní

Jak již bylo uvedeno v úvodní kapitole, předsazená montáž okenní výplně je montáž okenní výplně do roviny hlavní tepelně izolační vrstvy. Jednou z největších výhod předsazené montáže je eliminace tepelné vazby na styku okenní výplně a okolní konstrukce tvořící okenní otvor. Další výhodou mohou být také vyšší solární zisky, zejména z důvodu snížení stínění ostěním, protože prosklená plocha je posunuta blíže k vnějšímu líci obvodové stěny. V neposlední řadě je tento způsob montáže vhodný také z estetických důvodů. Realizace předsazené montáže vyžaduje ovšem vyšší nároky na montážníky, použité materiály, postupy a technologie. Je tedy i finančně náročnější v porovnání s klasickou montáží okenních výplní. [3; 6]

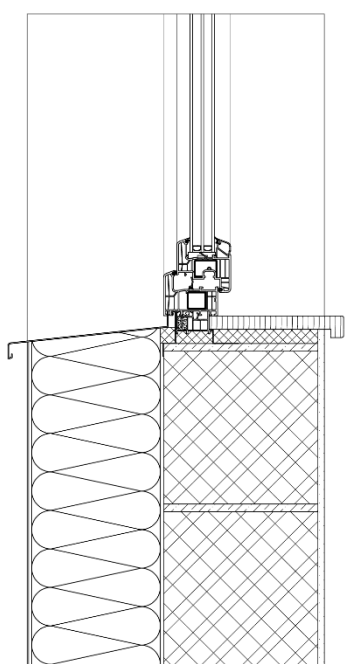
K předsazené montáži se v dnešní době přistupuje stále častěji, a to zejména při výstavbě nízkoenergetických a pasivních domů. Použití předsazené montáže u nízkoenergetických a pasivních domů vyplývá z výše zmíněných výhod. Hlavním důvodem, je věnování velké pozornosti eliminaci tepelných ztrát tepelnými vazbami. Jedním z dalších důvodů, vzhledem k použití velkých tloušťek izolací, je také estetické hledisko či vyšší solární zisky. [3; 6]

2.1 Předsazená a klasická montáž

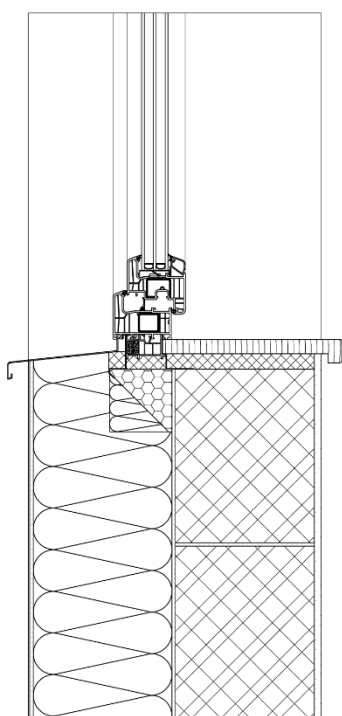
Tyto dva typy montáže byly již definovány v úvodní kapitole. Zde je popsán krátce rozdíl mezi nimi z pohledu zabudování okna.

U klasické montáže osazujeme okno do okenního otvoru v nosné nebo výplňové konstrukci. Montáž okna je často prováděna pomocí ocelových pásových kotev a nosných podložek. Ve většině případů je vnější líc rámu okenní výplně zpravidla ve stejné rovině jako vnější líc nosné či výplňové konstrukce. Tato poloha okenního otvoru výrazně zjednodušuje provádění zateplovacího systému. Obrázek 1 zobrazuje příklad klasické montáže na zděném bytovém domě v obci Greinsfurth v Rakousku. V levé části je schématický detail a v pravé části pohled na fasádu s okenní výplní před provedením zateplovacího systému.

U předsazené montáže osazujeme okno do roviny hlavní tepelně izolační vrstvy, tedy před rovinu nosné či výplňové konstrukce. Takto osazené okno vyžaduje složitější řešení montáže pro přenos zatížení do nosné konstrukce. Vykonzolování okenní výplně je zajištěno vytvořením sekundárního ostění nebo pomocí kotev či kotevních bodů. Obrázek 2 zobrazuje příklad předsazené montáže pomocí systémového řešení Tremco Illbruck s předsazením o 90 mm u zděného rodinného domu v obci Sibřina u Prahy. V levé části je schématický detail a v pravé části pohled na fasádu s vytvořeným sekundárním ostěním pomocí systémových nosných profilů a s osazeným okenním rámem.



Obrázek 1 – Klasická montáž oken, schématický detail (vlevo), pohled na fasádu (vpravo) [Foto: autor]



Obrázek 2 - Předsazená montáž oken, schématický detail (vlevo), pohled na fasádu (vpravo) [Foto: autor]

2.2 Zabudování oken do stavby

Předsazená montáž oken podléhá stejným principům a požadavkům jako montáž klasická. Tyto principy a požadavky jsou uvedeny v normě ČSN 74 6077 – Okna a vnější

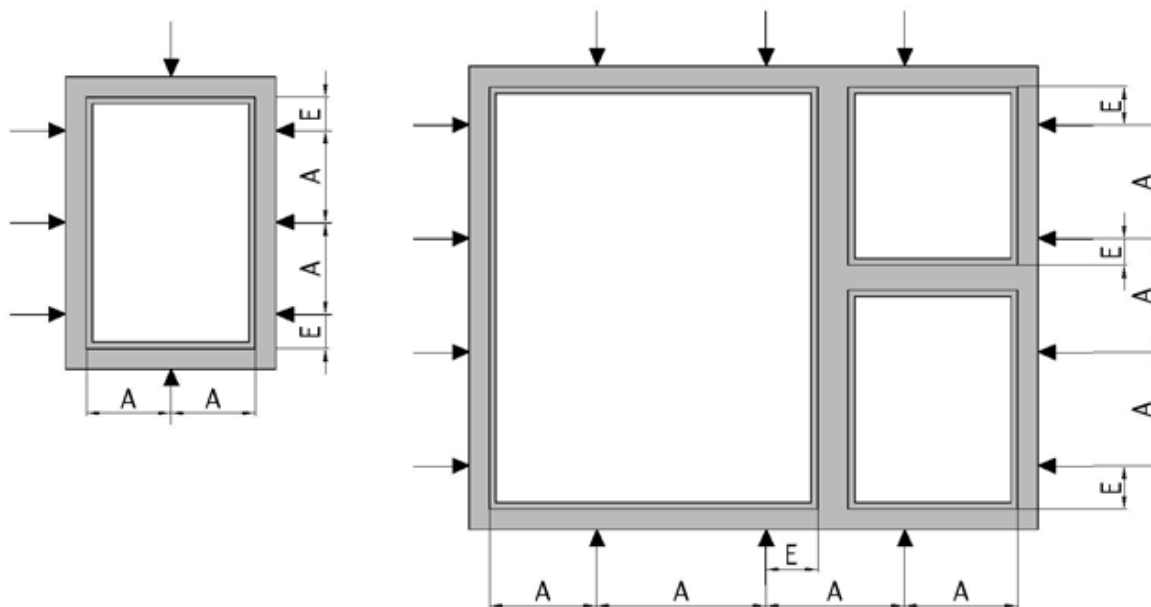
dveře – Požadavky na zabudování, a jsou v této kapitole krátce shrnuty ještě před představením konkrétních systémů pro předsazenou montáž oken.

Výše uvedená norma zdůrazňuje u předsazených okenních výplní nutnost zajištění dostatečné tepelné izolace rámu a ostění, přenos statického i dynamického zatížení, které působí na okenní výplň, dále funkční provedení připojovací spáry včetně vzduchové neprůzvučnosti a vodotěsnosti. V následujících kapitolách jsou rozebrány klíčové požadavky a doporučení, jejichž splněním dosáhneme správně provedeného zabudování oken, a to jak z pohledu konstrukčního, tak i tepelně technického. [3; 5; 7]

2.2.1 Kotvení

Návrh a provedení kotvení okna musí zajistit přenos vlastní tíhy okna a sil působících na okno do stavební konstrukce. Přenos sil ze stavební konstrukce na okno musí být vyloučen. Uspořádání nosných a distančních podložek, případně kotevních bodů, musí umožnit dilatační pohyby okna. V místě spojů sloupků a příčniců okenní výplně nesmí být umístěny kotvící prvky. Obrázek 3 zobrazuje schematické zakreslení kotvících prvků. Vzdálenost kotvících prvků A je maximálně 700 mm pro plastová okna. Pro kovová a dřevěná okna je vzdálenost A maximálně 800 mm. Kotvící prvek má být vzdálen přibližně 150 mm od vnitřního rohu rámu a od příček či sloupků. Tato vzdálenost je označena písmenem E . [5; 7]

Pro výrobu kotvícího prvku musí být použit korozivzdorný materiál nebo materiál s účinnou ochranou proti korozi, například žárově pozinkovaná ocel. [5; 7]

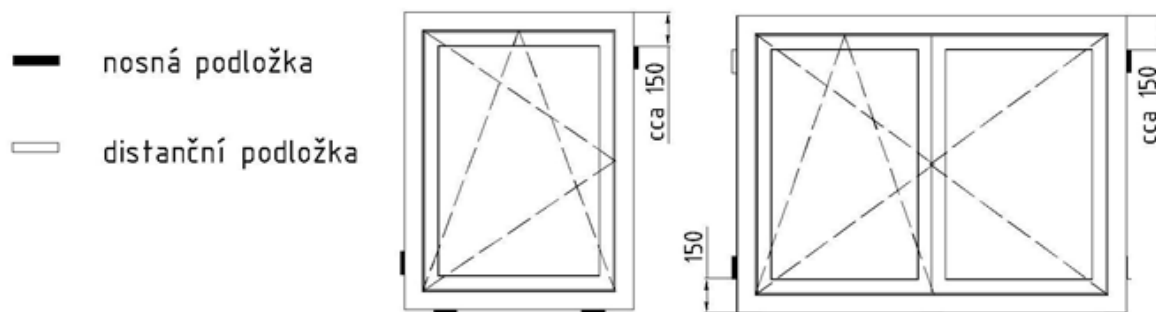


Obrázek 3- Rozmístění kotvících prvků [5]

V případě předsazené montáže se nosné a distanční podložky používají při osazení oken do sekundárního ostění (viz kapitola 2.3). Obrázek 4 uvádí rozmístění podložek pro nejběžnější typy oken. Technologický předpis výrobce může ve svislých částech specifikovat rozmístění podložek odlišně. Rozmístění podložek musí umožnit přenos



sil působících v rovině okna do stavební konstrukce, ale nesmí bránit tepelné roztažnosti profilů. Nosné podložky v oblasti parapetu okenního otvoru musí být umístěny tak, aby umožnily provedení vnějšího a vnitřního uzávěru připojovací spáry a také osazení vnitřního a vnějšího parapetu. [5; 7]



Obrázek 4 - Rozmístění podložek [5]

Nosné podložky musí být vyrobeny z trvanlivého, nenasákavého materiálu, který má tepelnou vodivost stejnou nebo nižší, než je tepelná vodivost rámu výplně. Tyto podložky musí být také chemicky kompatibilní s okolními materiály a únosné. Klíny používané při montáži oken jako rektifikační pomůcky musí být odstraněny po upevnění okna. [5; 7]

Ve stavební praxi se používají různé typy kotvení, jejichž příklady jsou uvedeny v normě ČSN 74 6077. Výběr vhodného typu kotvení závisí na požadavcích a specifikách konkrétního projektu. Hlavní faktory zohledňované při výběru typu kotvicích prvků jsou: síly přenášené z okna do stavební konstrukce, pevnost materiálu ostění, potřebná dilatace a v neposlední řadě také typ montáže. U klasické montáže se nejčastěji používají ocelové pásové kotvy v kombinaci s nosnými a distančními podložkami. V horším případě jsou místo ocelových pásových kotev použity turbošrouby, které neumožňují dilatační pohyby v závislosti na tepelné roztažnosti okna. Pro předsazenou montáž jsou konkrétní typy kotvení okenních výplní podrobněji uvedeny v kapitole Systémy pro předsazenou montáž oken. [5; 7]

2.2.2 Provedení připojovací spáry

U předsazené montáže okenních výplní stejně jako u klasické montáže je velice důležité správné provedení připojovací spáry. Provedení ovlivňuje spolupůsobení okenní výplně se stavebním dílem a funkčnost okenní výplně. [8]

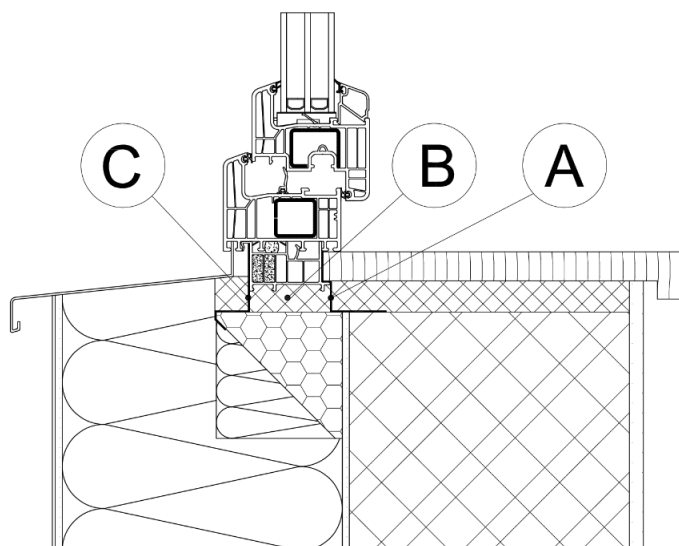
Základními požadavky na vlastnosti připojovacích spár jsou: [1; 9]

- 1) Odolnost proti zatékání
- 2) Vzduchotěsnost (téměř nulová infiltrace vzduchu)
- 3) Parotěsnost vnitřního uzávěru
- 4) Umožnění dilatace výplně otvoru
- 5) Umožnění realizace kotvení
- 6) Tepelná izolace

Tyto požadavky jsou zajištěny pomocí jednotlivých zón připojovací spáry: [1; 8; 9]

- A) Vnitřní uzávěr spáry
- B) Tepelně izolační část spáry
- C) Vnější uzávěr spáry

Obrázek 5 zobrazuje schématický detail připojovací spáry u předsazené montáže v oblasti parapetu s vyznačením jednotlivých zón.



Obrázek 5 - Zóny připojovací spáry

Vnitřní uzávěr spáry omezuje vnikání vodní páry z interiéru do připojovací spáry a často tvoří hlavní vzduchotěsnící vrstvu. Nejčastěji je tvořen parotěsnou páskou s vysokou ekvivalentní difúzní tloušťkou. Vnější uzávěr spáry zabraňuje průniku srážkové vody z exteriéru do připojovací spáry a umožňuje difúzi vodní páry z připojovací spáry do exteriéru. V případě, že zateplovací systém není realizován v těsné návaznosti na montáž oken, tak vnější uzávěr chrání tepelně izolační výplň před negativními vlivy jako je sluneční záření či mechanické poškození. Nejčastěji je tvořen vodotěsnou paropropustnou páskou, která má řádově nižší ekvivalentní difúzní tloušťku než vnitřní uzávěr. Tepelně izolační část spáry je vyplněna tepelnou izolací, nejčastěji polyuretanovou pěnou s nízkým stupněm expanze. [8; 9]

Dilataci zajišťuje vhodně zvolený a správně provedený kotevní systém. Umožnění dilatace je důležité zejména kvůli zátěži okenních výplní různými teplotami. [8; 9]

Důležitým parametrem je také šířka připojovací spáry, která by měla být zvolena tak, aby bylo možné realizovat kotvení výplně otvoru a provést tepelně izolační výplň s předepsanými vlastnostmi. Tabulka 1 zobrazuje doporučené šířky připojovací spáry dle ČSN 74 6077.



Tabulka 1 - Šířka připojovací spáry

Materiál rámového profilu okna	Doporučená šířka připojovací spáry v mm		
	do 1,5 m	do 3,0 m	do 4,5 m
	Dřevo	10	10
Plast (PVC) bílý	10	15	25
Plast (PVC) jiný než bílý	15	20	30 ¹⁾
Hliník, ocel – světlý profil	10	10	20
Hliník, ocel – tmavý profil	10	15	25

POZNÁMKA Při jiných rámových profilech se šířka připojovací spáry stanoví podle materiálových konstant. Zvláště je nutné přihlížet na tmavé povrchy.

¹⁾ Při šířkách připojovací spáry nad 25 mm musí být prokázána vhodnost těsnícího materiálu. Nedoporučuje se šířka větší než 40 mm.

2.3 Systémy pro předsazenou montáž oken

Na našem trhu můžeme najít řadu výrobků pro předsazenou montáž. Jsou zde zastoupena jak systémová řešení, tak i nesystémová řešení „kutilského“ charakteru. V této práci jsou představena možná řešení předsazené montáže, velká pozornost je věnována řešením systémovým. [10]

Mezi nejčastější způsoby osazení předsazených okenních výplní v České republice patří: [10]

- A) Nesystémová řešení:
 - 1) Kotvení pomocí ocelových úhelníků v kombinaci s pásovými kotvami
 - 2) Kotvení pomocí kompozitních úhelníků
 - 3) Kotvení do OSB „kastlíku“ (osazovacího rámu)
- B) Systémová řešení:
 - 1) Systém kotvení SFS Intec JB - D
 - 2) Systém předsazené montáže Tremco - Illbruck
 - 3) Systém předsazené montáže Ejot – Compacfoam
 - 4) Systém předsazené montáže Dafe – Purex

Mezi hlavní výhody systémového řešení patří komplexní dodávka okenní výplně, správné provedení detailů a záruka dodavatele na okenní výplně. Jedinou nevýhodou systémového řešení je vyšší cena. Při zvážení možných důsledků a rizik nesprávného provedení je rozumné i přes vyšší počáteční investici se přiklonit k systémovému řešení. [10]

Jak již bylo řečeno v kapitole Předsazená a klasická montáž vykonzolování okenní výplně může být zajištěno dvěma přístupy. Prvním přístupem je vytvoření sekundárního ostění, do kterého se následně provádí montáž okna podobným způsobem jako u klasické montáže do ostění z nosného či výplňového zdiva. Druhým přístupem je montáž pomocí kotev, konzol či kotevních bodů, které představují kotevní prvek a platí pro ně maximální vzdálenosti předepsané normou ČSN 74 6077. [3]

2.3.1 Nesystémová řešení předsazené montáže

Kotvení pomocí ocelových úhelníků v kombinaci s pásovými kotvami

Ocelové úhelníky jsou zpravidla použity v parapetní části. V místě nadpraží a ostění jsou použity zejména ocelové pásové kotvy. Použití masivního ocelového úhelníku vyžaduje ostražitost během návrhu i během provádění vzhledem k tepelné vodivosti oceli, která činí 50 W/(m.K) a je řádově vyšší než tepelné vodivosti ostatních použitých materiálů. Toto řešení je nevhodné pro materiály zdiva s menší pevností vzhledem ke kotvení v těsné blízkosti hrany ostění. Únosnost úhelníku by měla být posouzena statickým výpočtem. [10; 11]

Kotvení pomocí kompozitních úhelníků

Toto řešení je podobné předchozímu, ale po tepelně technické stránce lepší. [10]

Kotvení do OSB „kastlíku“

Princip spočívá ve vytvoření sekundárního ostění pomocí přířezů z OSB desek. Do sekundárního ostění se okno osazuje pomocí ocelových pásových kotev v kombinaci s nosnými podložkami, v horším případě jsou místo ocelových pásových kotev použity turbošrouby. Tento systém umožňuje větší vysazení okna než předchozí dva zmíněné systémy. Nevýhodou je tepelná vazba vzniklá vlivem OSB „kastlíku“. [10]

Kromě těchto zmíněných tří nejčastěji používaných systémů z kategorie nesystémových řešení existuje řada dalších, které jsou spíše výsledkem lidské tvořivosti. Obrázek 6 zobrazuje příklad nevhodného řešení předsazené montáže oken u menší administrativní budovy v Jihočeském kraji. V parapetní části je osazen nosný dřevěný hranol a v oblasti nadpraží jsou připraveny kompozitní úhelníky. Jako kotvicí prvek bude použit turbošroub. Dřevěný hranol bez povrchového ošetření je v tomto případě nevhodný, protože se jedná o nasákový materiál, který v případě výskytu vlhkosti v konstrukci může měnit svůj objem a degradovat. Je důležité zmínit, že dřevěný hranol musí přenést téměř všechnu vlastní tíhu oken s izolačním trojsklem, jejichž plošná hmotnost činí cca 35 - 40 kg/m² což je pro výšku okna 1,5 m 60 kg/m. Realizace kotvení pomocí turbošroubů, které neumožňují dilatační pohyby je také nevhodná, obzvláště v tomto případě, kde se jedná o pásové okno dlouhé přes 20 metrů s tmavou povrchovou úpravou a orientací na západ.



Obrázek 6 - Příklad nevhodného nesystémového řešení předsazené montáže [Foto: autor]

2.3.2 Systémová řešení předsazené montáže

Systém kotvení SFS Intec JB – D

Systém JB – D je tvořen spodními nosnými a postranními stabilizačními konzolami. Tyto konzoly umožňují maximální vyložení okna až 200 mm a jsou dodávány v různých délkách. Vyložení je měřeno od líce zdiva ke středu rámu okna. V případě oken s vysokou hmotností se při vyložení větším než 80 mm doplňují kotvy o trojúhelníkový výztužný profil. Při použití těchto kotev se nerealizuje vnější uzávěr připojovací spáry, je tedy nutné pečlivě provést napojení fasády na okenní rám (vhodné provedení parapetu a použití APU lišt). Tento systém je vhodný i pro použití u zdiva z méně soudržných materiálů jako jsou například dutinové keramické tvárnice nebo pórobeton. Pro tento druh zdiva je třeba použít navíc oproti zdivu ze soudržných materiálů roznášecí úhelník. Výhodou tohoto systému je, že umožňuje stranovou i výškovou rektifikaci okna již osazeného na konzole, což zjednodušuje a urychluje montáž. [10; 12; 13; 14] Obrázek 7 zobrazuje příklad předsazené montáže pomocí systémového řešení SFS Intec JB – D u budovy radnice ve Stochově u Kladna. V levé části je parapetní část okenní výplně osazená na konzolách JB – DK a v pravé části totožná okenní výplň s doplněnou minerální izolací v oblasti parapetu. Jedná se o rekonstrukci obvodového pláště z boletických panelů. Konzole jsou umístěny obráceně, což v tomto případě nevadí, protože podklad tvoří ocelový rám a není tak vyžadována větší roznášecí plocha, která se získá otočením konzoly. Obrázek 8 zobrazuje v levé části výškovou rektifikaci okenního otvoru během montáže. V pravé části obrázku je vidět osazená okenní výplň s viditelnými kotvami JB – D, které se používají u ostění a nadpraží a slouží ke stabilizaci okenního otvoru.



Obrázek 7 - Příklad systémového řešení od firmy SFS Intec, osazená okenní výplň [Foto: autor]



Obrázek 8 - Výšková rektifikace okna (vlevo), osazená okenní výplň (vpravo) [Foto: autor]

Systém předsazené montáže Tremco – Illbruck

Systém Tremco – Illbruck vytváří sekundární ostění pro osazení okna pomocí Purenitových profilů, které jsou upevňovány lepením a následným mechanickým kotvením pomocí vrtů. Tyto nosné profily umožňují maximální vyložení okna 200 mm. Vzdálenost vyložení je měřena od vnějšího líce zdiva k vnějšímu líci okna. Tento systém lze použít pro všechny zdící materiály. [10; 15; 16]

Funkci všech třech zón připojovací spáry zajišťuje komprimační těsnící páska Illmod Trio+ v oblasti nadpraží a ostění. Tato páska se aplikuje těsně před osazením okna do vytvořeného sekundárního ostění. V oblasti parapetu se provádí klasická připojovací spára s vnější a vnitřní těsnící fólií a tepelně izolační výplní – polyuretanovou pěnou. Jako kotvicí prvky jsou používány ocelové pásové kotvy v kombinaci s nosnými podložkami v místě parapetu a turbošrouby v místě ostění a nadpraží. Před prováděním zateplovacího systému se k nosnému profilu dolepí zateplovací profil z šedého polystyrenu, který společně s nosným profilem vytvoří obdélník. Tímto doplněním se zjednoduší následné provádění zateplovacího systému. [10; 15; 16]

Na následujících obrázcích je uveden příklad realizace předsazené montáže oken pomocí systému Tremco – Illbruck u zděného rodinného domu v obci Sibřina u Prahy. Obrázek 9 zobrazuje příklady sekundárního ostění vytvořeného pomocí nosných profilů Tremco – Illbruck. Obrázek 10 zobrazuje část okenního rámu, připraveného pro montáž s nalepenou komprimační páskou (vlevo) a již osazené okenní rámy (vpravo). Obrázek 11 zobrazuje pohled na připojovací spáru z interiéru (vlevo) a z exteriéru (vpravo). Je zde viditelné, že parapetní část připojovací spáry je uzavřena pomocí vnějších a vnitřních těsnících fólií, zatímco připojovací spára v místě ostění je těsněna komprimační těsnící páskou.



Obrázek 9 - Příklady vytvoření sekundárního ostění systémem Tremco - IIIbruck [Foto: autor]



Obrázek 10 - Aplikace komprimační pásky (vlevo), osazené okenní rámy (vpravo) [Foto: autor]



Obrázek 11 - Pohled na připojovací spáru z interiéru (vlevo) z exteriéru (vpravo) [Foto: autor]

Systém předsazené montáže Ejot – Compacfoam

Systém Ejot – Compacfoam upevňuje okno pomocí upevňovacích bodů a ocelových pásových kotev. Upevňovací bod se skládá z upevňovací plechové desky s trny, na které je nalisovaná krychle z Compacfoamu CF 150. Upevňovací body (v parapetní části doplněny úhelníky) přenášejí zejména zatížení od otvorové výplně. Pomocí stranových upevňovacích bodů jsou zachyceny reakce od otevíracích křídel. Ocelové pásové kotvy zajišťují zejména přenos zatížení větrem do stavební konstrukce. Systém umožňuje

vysazení okna, kdy vnitřní líc okna je téměř ve stejné rovině jako vnější líc nosné konstrukce. Provádění předsazené montáže tímto systémem je vhodné pro všechny typy zdiva. [10; 17; 18]

Prostor mezi upevňovacími body je vyplněn hranoly z expandovaného či šedého polystyrenu a je tak vytvořen rám z tepelné izolace okolo celé okenní výplně. Vnitřní uzávěr připojovací spáry je zajištěn vnitřní těsnící fólií. Vnější uzávěr zajišťuje vnější těsnící fólie lepená samolepící páskou k rámu okna a tmelem přes rám z tepelné izolace ke stěně. Vnější zateplení je možné díky vnější fólii provádět až 6 měsíců po montáži oken. [10; 17; 18]

Obrázek 12 zobrazuje v levé části příklad realizace předsazené montáže systémem EJOT – Compacfoam. U levé okenní výplně je již hotov rám z tepelné izolace, který vyplňuje prostor mezi upevňovacími body. V pravé části obrázku je detailně zobrazen upevňovací bod. [17]



Obrázek 12 - Okna osazená pomocí systému EJOT - Compacfoam (vlevo), upevňovací bod (vpravo) [17]

Systém předsazené montáže Dafe – Purex

Systém Dafe – Purex zahrnuje dvě varianty osazení okna - variantu bodového kotvení Basic a rámového kotvení Comfort. Obě dvě varianty umožňují vysazení okna, kdy vnitřní líc okna je téměř ve stejné rovině jako vnější líc nosné konstrukce a jsou vhodné pro všechny zdící materiály. [2; 19; 20]

Bodové kotvení Basic upevňuje okno pomocí dvou druhů nosných kotev (pro parapetní část a pro část ostění a nadpraží). Nosné kotvy jsou tvořeny kvádrem z Purexitu, do kterého je pomocí vrutů připevněn úhelník. Okno se kotví pomocí vrutu, který se šroubuje skrz kotvu do okenního profilu. Při použití těchto kotev se nerealizuje vnější uzávěr připojovací spáry. Provádí se pouze vnitřní uzávěr pomocí vnitřní těsnící fólie. [19; 20]

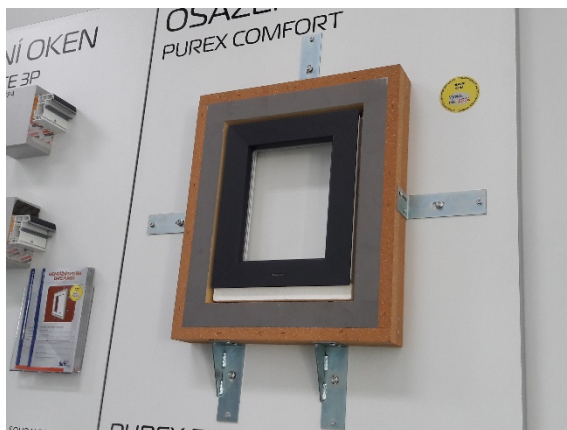
Rámové kotvení Comfort upevňuje okno pomocí osazovacího rámu. Osazovací rám je sendvičová konstrukce tvořená dvěma materiály. Na stavbu se dodává jako hotový výrobek v rozloženém stavu. Smontovaný a sešroubovaný rám se kotví pomocí dvou druhů úhelníků (které jsou shodné jako u varianty Basic) do stěny a vytváří tak sekundární ostění. Spára mezi stěnou a rámem se vyplňuje polyuretanovou pěnou. Okenní

rám se osazuje do prostoru sekundárního ostění obdobně jako u klasické montáže, ale ocelové pásové kotvy se kotví do stěny. Vnitřní uzávěr připojovací spáry je zajištěn vnitřní těsnicí fólií a tepelně izolační výplň polyuretanovou pěnou. Vnější uzávěr zajišťuje vnější těsnicí fólie lepená k rámu okna přes osazovací rám ke stěně. [2; 19; 20]

Na následujících obrázcích je uveden příklad předsazené montáže systémem Dafe - Purex - Basic na zděném rodinném domě na Svatém Kopečku u Olomouce. Obrázek 13 zobrazuje pohled z exteriéru na osazený okenní rám. V jeho pravé části je dobře viditelná kotva pro parapetní část i s podkladním profilem. Obrázek 14 zobrazuje pohled na osazený okenní rám z interiéru (vlevo) a vystavený vzorek varianty Comfort v Jihlavském Showroomu firmy Dafe-Plast (vpravo).



Obrázek 13 - Okenní rám osazený systémem Dafe - Purex - Basic [Foto: autor]



Obrázek 14 - Okenní rám osazený systémem Dafe Purex Basic (vlevo), kotva pro ostění a nadpraží (vpravo) [Foto: autor]

2.4 Systémy předsazené montáže používané v zahraničí

Tato kapitola stručně shrnuje principy dalších systémů používaných zejména v zahraničí. Postupem času se některé z nich začínají objevovat i na českém trhu. Všechny z níže popsaných systémů zajišťují vykonzolování okenní výplně do prostoru tepelné izolace pomocí sekundárního ostění. Profily, které tvoří sekundární ostění, jsou vždy

upevňovány lepením a následným mechanickým kotvením. Jejich princip je podobný jako u výše zmíněného systému Tremco – Illbruck. Liší se zejména materiálovým provedením nosných profilů.

Nosné profily z materiálu na bázi tvrdé polyuretanové pěny

Příkladem je systém ISO-TOP Winframer od německé firmy ISO Chemie, který je dostupný ve více evropských zemích. Používá profily ve tvaru „L“ z materiálu na bázi tvrdé polyuretanové pěny. Doplněny jsou extrudovaným polystyrenem, který je jednostranně upevněn pomocí fólie. Zateplovací profil lze tedy snadno odkrýt při provádění kotvení a poté přilepit. Vyložení okna je možné od 80 mm do 200 mm. Dalším systémem využívajícím materiál na této bázi je například systém VWM od firmy Würth nebo systém firmy HANNO. Do této skupiny patří také již zmíněný a v ČR často používaný systém Tremco – Illbruck a Dafe – Purex Comfort. [21; 22; 23]

Nosné profily z expandovaného polystyrenu o vysoké objemové hmotnosti

Příkladem je systém Trioterm+ od firmy Blaugelb, který umožňuje vyložení od 70 mm do 230 mm. K vytvoření sekundárního ostění používá profily z expandovaného polystyrenu s vysokou objemovou hmotností. Dalším příkladem je systém Climate Conformal od firmy VBH. [24; 25]

Nosné profily z PVC

Zajímavé řešení nabízí systém EMS + SI od firmy Foppe. Sekundární ostění vytváří pomocí PVC úhelníku, který má rozdílné délky ramen. U menších vyložení používáme ke kotvení delší stranu a ostění nám vytváří kratší strana. U větších vyložení úhelník otočíme a kotvíme kratší stranu. Při větších zatíženích lze úhelník doplnit ocelovými konzolami. Obrázek 15 zobrazuje princip systému EMS + SI na vytvořeném vzorku. [26; 27]



Obrázek 15 - Systém předsazené montáže EMS + SI od firmy Foppe [27]



3 Tepelně technické souvislosti

Předchozí kapitoly se zabývaly okny zejména z hlediska konstrukčního řešení montáže, které musí být vyřešeno vhodným způsobem, aby byla zajištěna funkčnost okenní výplně. Tato kapitola se bude zabývat tepelně technickou problematikou, která má stejně jako vhodné konstrukční řešení montáže velký vliv na správnou funkčnost okenní výplně a také při správném vyřešení lze eliminovat tepelné ztráty. Důležitost této problematiky je dána tím, že oknem dochází k významným tepelným ztrátám v porovnání s ostatními konstrukcemi. Je také třeba věnovat pozornost místu napojení okna na stavební konstrukci, které může být problematické z důvodu deformace teplotního pole vlivem změny geometrie a materiálů. Zároveň může okenní výplň při vhodném návrhu zajistit značné tepelné zisky. [8; 28]

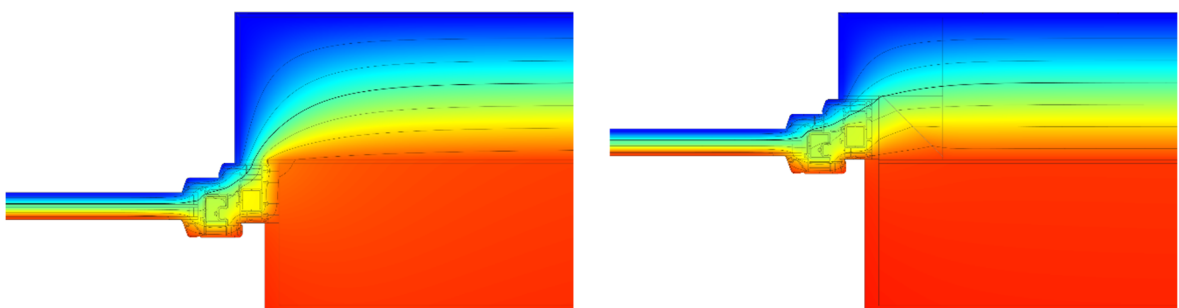
Prostup tepla okenní výplně ovlivňuje: [28]

- 1) Zasklívací jednotka
- 2) Rám
- 3) Distanční rámeček
- 4) Poměr plochy zasklení a okna
- 5) Tepelná vazba na styku okna a stavební konstrukce
- 6) Skutečné provedení montáže a zateplovací systém

Na okenní výplně jsou stanoveny následující tepelně technické požadavky: [9]

- 1) Součinitel prostupu tepla okna U_w [$W/(m^2.K)$]
- 2) Teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} [-]
- 3) Lineární činitel prostupu tepla připojovací spáry ψ [$W/(m.K)$]

Praktická část této práce se zabývá tepelnými ztrátami tepelnou vazbou na styku okna a stavební konstrukce – připojovací spárou. Tepelné ztráty touto vazbou lze eliminovat právě použitím předsazené montáže, kdy osazujeme okno do roviny hlavní tepelně izolační vrstvy. Je to dáno menší deformací teplotního pole než u klasické montáže. Obrázek 16 zobrazuje teplotní pole detailů ostění u klasické montáže (vlevo) a u předsazené montáže s předsazením o 90 mm (vpravo). Na první pohled je viditelná menší deformace teplotního pole v případě předsazené montáže.



Obrázek 16 - Příklad teplotního pole pro klasickou montáž (vlevo) a pro předsazenou montáž (vpravo)



Při předsazení okna posouváme okno směrem do exteriéru a tak vzniká obava, že povrchová teplota poklesne a vytvoří se tak vhodné vlhkostní podmínky pro růst plísní. Proto se tato práce také současně zabývá nejnižší vnitřní povrchovou teplotou v oblasti připojovací spáry. V následujících kapitolách jsou vysvětleny výše vypsané tepelně technické požadavky a stručně popsán princip výpočtu potřeby tepla na vytápění. Tento výpočet je v praktické části použit k vyčíslení potřebného tepla na pokrytí tepelných ztrát připojovací spárou u klasické i předsazené montáže a také ke zjištění možné úspory realizací předsazené montáže.

3.1 Součinitel prostupu tepla okna

Součinitel prostupu tepla okna je jedním z tepelně technických požadavků. Uváděné hodnoty jsou platné pro normové okno o velikosti 1,23 m x 1,48 m. Hodnoty součinitele prostupu tepla lze vypočítat pro konkrétní okno pomocí výpočtu uvedeného v normě ČSN EN ISO 10077-1 Tepelné chování oken, dveří a okenic – Výpočet součinitele prostupu tepla – Část 1: Obecně. [29]

Stanovení součinitele prostupu tepla okna: [29]

$$U_w = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_f \cdot U_f + \sum l_g \cdot \psi_g + \sum l_{gb} \cdot \psi_{gb}}{\sum A_g + \sum A_f} \quad (1)$$

U_w	součinitel prostupu tepla okna [W/(m ² .K)]
A_g	plocha zasklení [m ²]
U_g	součinitel prostupu tepla zasklením [W/(m ² .K)]
A_f	plocha rámu [m ²]
U_f	součinitel prostupu tepla rámem [W/(m ² .K)]
l_g	obvod zasklení [m]
ψ_g	lineární činitel prostupu tepla (styk zasklení, rámeček, rám) [W/(m.K)]
l_{gb}	délka meziokenní příčky [m]
ψ_{gb}	lineární činitel prostupu tepla (meziokenní příčka) [W/(m.K)]

Ze vzorce vyplývá, že výsledný součinitel prostupu tepla nezáleží pouze na tepelně technických parametrech jednotlivých částí, ale také na podílu rámu a zasklení. U menších či hodně členěných oken, kde je velký podíl rámu, bude vycházet vyšší hodnota součinitele prostupu tepla než u větších oken. [28]

Většina výrobců oken nabízí dnes okna, která mají součinitel prostupu tepla v rozmezí $U_w = 0,7 - 1,2$ W/(m².K). Hodnota součinitele prostupu tepla oken v posledních letech výrazně poklesla. Vzhledem k tomuto pokroku je nutné věnovat více pozornosti také eliminaci tepelných ztrát připojovací spárou okna a tím snižovat ztráty okenní výplně jako celku.

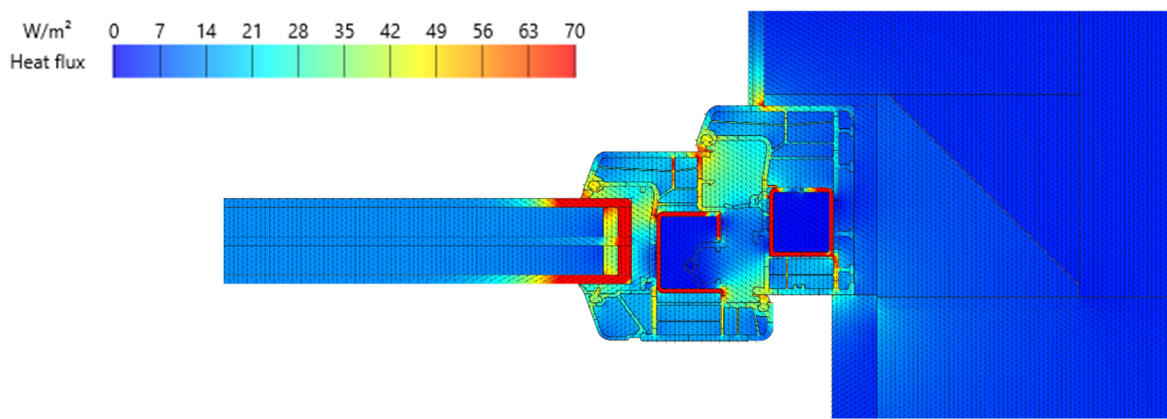
Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro výplně otvoru dle normy ČSN 73 0540 jsou: [30]

- Požadovaná hodnota $U_{N,20} \leq 1,5$ W/(m².K)
- Doporučená hodnota $U_{rec,20} \leq 1,2$ W/(m².K)
- Doporučená hodnota pro pasivní domy $U_{pas,20} = 0,8 - 0,6$ W/(m².K)

3.2 Lineární činitel prostupu tepla

Lineární činitel prostupu tepla ψ [W/(m.K)] vyjadřuje zvýšený tepelný tok jedním metrem tepelné vazby při teplotním rozdílu mezi vnitřním a vnějším prostředím jeden Kelvin. Nejedná se o fyzikální veličinu v pravém slova smyslu, ale o vyjádření rozdílu mezi stacionárním dvojrozměrným vedením tepla a teoretickým stacionárním jedno-rozměrným vedením tepla. [31]

U oken se lze s touto veličinou setkat například u kvantifikování tepelné vazby vlivem kombinovaných tepelných jevů zasklení, distančního rámečku a rámu křídla okna. Obrázek 17 zobrazuje zvýšený tepelný tok ve zmíněné tepelné vazbě – napojení zasklení s distančním rámečkem na rám křídla.



Obrázek 17 - Zvýšený tepelný tok v napojení zasklení s distančním rámečkem na rám křídla

V případě montáže oken tuto veličinu používáme ke kvantifikaci tepelných ztrát tepelnou vazbou na styku okna a stavební konstrukce – připojovací spárou.

Lineární činitel umožňuje:

- vzájemné porovnání různých řešení tepelných vazeb, v případě této práce se jedná o detail napojení okna v místě parapetu, ostění či nadpraží,
- výpočet tepelné ztráty tepelnou vazbou na styku okna a stavební konstrukce při uvažování konkrétních teplotních rozdílů mezi vnitřním a vnějším prostředím.

Pro výpočet lineárního činitele prostupu tepla je potřeba software, který umožňuje výpočet ve 2D teplotním poli jako například HTflux, Therm, Area a další. Pomocí softwaru se spočítá tepelný tok do konstrukce a z konstrukce za ustáleného stavu. Absolutní hodnoty těchto dvou tepelných toků se musí navzájem rovnat, protože se jedná o ustálený stav. Z vypočteného tepelného toku se po vydělení rozdílem teplot mezi vnitřním a vnějším prostředím získá tepelná propustnost detailu. Od tepelné propustnosti detailu se odečte tepelná propustnost plošných konstrukcí a získá se lineární činitel prostupu tepla. [31; 32]

Celý výpočet shrnuje následující vztah: [32]

$$\psi = \frac{\phi}{\Delta\theta} - \sum U_j \cdot b_j \quad (2)$$

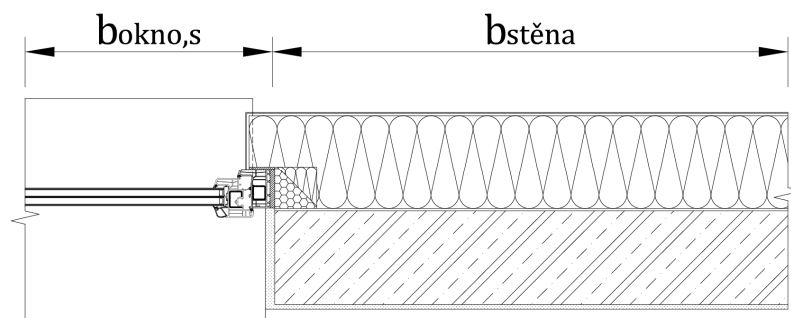


Ψ	lineární číselník průstupu tepla [W/(m.K)]
Φ	tepelný tok celým posuzovaným detailem za ustáleného stavu [W/m]
$\Delta\theta$	rozdíl teplot mezi vnitřním a vnějším prostředím [K]
U_j	součinitel průstupu tepla plošné konstrukce [W/(m ² .K)]
b_j	šířka konstrukce [m]

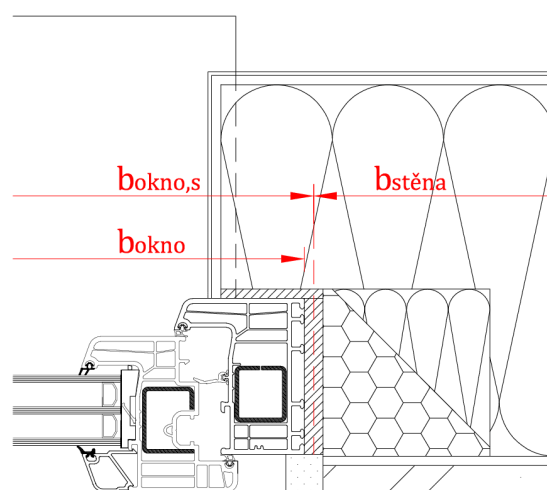
Postup výpočtu se nejlépe popisuje na příkladu. Obrázek 18 zobrazuje detail ostění okna, které bylo osazeno předsazenou montáží. Byl spočten pomocí softwaru tepelný tok přes celý detail. Lineární číselník se získá podle následujícího vzorce:

$$\psi_{parapet} = \frac{\Phi_{detail}}{\Delta\theta} - U_{okno} \cdot b_{okno,s} - U_{stěna} \cdot b_{stěna} \quad (3)$$

$\Psi_{parapet}$	lineární číselník průstupu tepla parapetu [W/(m.K)]
Φ_{detail}	tepelný tok celým posuzovaným detailem za ustáleného stavu [W/m]
$\Delta\theta$	rozdíl teplot mezi vnitřním a vnějším prostředím [K]
U_{okno}	součinitel průstupu tepla okna, dle vztahu (4) [W/(m ² .K)]
$b_{okno,s}$	„šířka okna“ (skladebný rozměr otvoru) [m]
$U_{stěna}$	součinitel průstupu tepla stěny [W/(m ² .K)]
$b_{stěna}$	šířka konstrukce [m]



Obrázek 18 - Schématický detail ostění pro výpočet lineárního číselníku průstupu tepla



Obrázek 19 - Schématický detail hranice šířek pro výpočet lineárního číselníku průstupu tepla



Dále je důležité definovat společnou hranici pro šířky použité ve výpočtu, tato problematika není příliš často řešena v odborné literatuře. Volba této hranice není striktně předepsána, ale je nutné při srovnávání hodnot lineárních činitelů prostupu tepla používat stejnou hranici k jejich stanovení. Vzhledem k tomu, že hodnoty lineárních činitelů prostupu tepla jsou často používány energetickými specialisty, kteří mají k dispozici výkresy s kótami skladebných rozměrů, je vhodné, aby tato hranice byla v místě uvažovaného skladebného rozměru. Obrázek 19 zobrazuje uvažované šířky ve výpočtu ve větší podrobnosti.

Aby nebyla do výpočtu vnesena chyba vlivem nepřesnosti modelování okna, je vhodné součinitel prostupu tepla vypočítat přímo z výpočetního modelu a nepřebírat hodnotu udávanou pro výrobek – okno. Součinitel prostupu tepla okna pro účel výpočtu lineárního činitele se stanoví následujícím způsobem. Provede se výpočet pomocí softwaru pro získání tepelného toku pouze přes použitý výpočetní model okna. Získaný tepelný tok se dosadí do vztahu (4). Vypočtený součinitel prostupu tepla se dále použije ve vztahu (3).

$$U_{okno} = \left(\frac{\phi_{okno}}{\Delta\theta} \right) / b_{okno} \quad (4)$$

U_{okno} součinitel prostupu tepla okna [W/(m².K)]

ϕ_{okno} tepelný tok přes výpočetní model okna za ustáleného stavu [W/m]

$\Delta\theta$ rozdíl teplot mezi vnitřním a vnějším prostředím [K]

b_{okno} šířka výpočetního modelu okna [m]

Požadované a doporučené hodnoty lineárního činitele prostupu tepla pro vnější stěnu navazující na výplň otvoru dle normy ČSN 73 0540 jsou: [30]

- Požadovaná hodnota $\psi_N = 0,10$ W/(m.K)
- Doporučená hodnota $\psi_{rec} = 0,03$ W/(m.K)
- Doporučená hodnota pro pasivní domy $\psi_{pas} = 0,01$ W/(m.K)

3.3 Nejnižší vnitřní povrchová teplota

Hodnocení stavebních detailů z hlediska nejnižší vnitřní povrchové teploty se provádí kvůli zamezení výskytu plísní či předcházení kondenzace vodní páry na konstrukci. Hlavními důvody jsou narušení zdravotní a hygienické nezávadnosti přilehlého vnitřního prostředí, dále také narušení konstrukce, kde k růstu plísní či kondenzaci vodní páry dochází nebo konstrukce v bezprostřední blízkosti. [7; 9]

Z hlediska fyzikální podstaty je růst plísní a kondenzace vodní páry ovlivněna: [33]

- Množstvím vodní páry ve vnitřním vzduchu
- Povrchovou teplotou konstrukce

Obě dvě veličiny jsou časově závislé a v průběhu dne se neustále mění. Ke kondenzaci dochází při poklesu povrchové teploty konstrukce pod teplotu rosného bodu vzduchu v interiéru. K růstu plísní může docházet již v případě, že relativní vlhkost okolního vzduchu je alespoň 80%, zároveň je na konstrukci dostatek živin a povrch konstrukce



není dokonale hladký - umožňuje růst plísně („zachycení se“). Živinami může být například prach nebo materiál organického původu. Abychom předešli růstu plísní a kondenzaci vodní páry, je třeba věnovat pozornost zejména návrhu, kvalitnímu provedení stavby a správnému užívání stavby. [33]

Okenní otvory a jejich bezprostřední okolí patří z hlediska růstu plísní a kondenzace vodní páry k nejproblematictější částem stavby. Je to dáno zejména jejich velmi malou tloušťkou v porovnání s ostatními konstrukcemi a také výraznou deformací teplotního pole, které s tím souvisí. [33]

3.3.1 Teplotní faktor vnitřního povrchu

Normou požadovaná či doporučená nejnižší vnitřní povrchová teplota lze hodnotit přímo pomocí hodnoty vnitřní povrchové teploty θ_{si} [°C]. Od roku 2007 je možné použít také vyjádření pomocí teplotního faktoru vnitřního povrchu f_{Rsi} [-]. Jedná se o bezrozměrné číslo v intervalu od nuly do jedné. Hodnota teplotního faktoru reprezentuje vlastnost konstrukce nebo styku konstrukcí s ohledem na růst plísní či kondenzaci vodní páry. Teplotní faktor je nezávislý na teplotě vnitřního a vnějšího prostředí. Stejná konstrukce vystavená různým podmínkám vykazuje tedy vždy stejnou hodnotu teplotního faktoru. Díky této vlastnosti stačí provést výpočet detailu v teplotním poli jen jednou a výsledný teplotní faktor pak vyhodnotit na základě teploty vnitřního a vnějšího prostředí. [9; 31]

Teplotní faktor vnitřního povrchu se stanoví podle vzorce: [30]

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_{ai} - \theta_e} = 1 - \frac{\theta_{ai} - \theta_{si}}{\theta_{ai} - \theta_e} \quad (5)$$

- θ_{si} teplota vnitřního povrchu [°C]
- θ_{ai} teplota vnitřního vzduchu [°C]
- θ_e teplota venkovního vzduchu [°C]

3.3.2 Normové požadavky

Požadované hodnoty pro stavební konstrukce a doporučené hodnoty pro výplně otvorů jsou normou ČSN 73 0540-2 stanoveny na základě maximální dovolené vlhkosti na vnitřním povrchu φ_{si} [%]. Pro stavební konstrukce nesmí povrchová vlhkost překročit 80%, což je kritérium pro zamezení růstu plísní. U výplní otvorů norma pouze doporučuje, aby nebyla překročena teoretická hodnota povrchové vlhkosti 100% a bylo tak zamezeno kondenzaci vodní páry na povrchu výplně otvoru. [9; 30]

Požadavky a doporučení normy – kritické teplotní faktory vnitřního povrchu se vypočtou podle následujícího vzorce: [30]

$$f_{Rsi,cr} = 1 - \frac{237,3 + 2,1 \cdot \theta_{ai}}{\theta_{ai} - \theta_{ex}} \cdot \frac{1}{1,1 - 17,269/\ln(\varphi_{i,r}/\varphi_{si,cr})} \quad (6)$$

- θ_{ai} návrhová teplota vnitřního vzduchu [°C]
- θ_{ex} návrhová teplota prostředí přilehlého k vnější straně konstrukce v zimním období [°C]



$\varphi_{i,r}$	relativní vlhkost vnitřního vzduchu pro stanovení požadavku na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu [%]
$\varphi_{si,cr}$	kritická vnitřní povrchová vlhkost [%]

Hodnoty kritických teplotních faktorů pro nejčastěji používané okrajové podmínky včetně jim odpovídajícím teplotám jsou uvedeny v normě ČSN 73 0540-2.

Při hodnocení požadavků a doporučení na teplotní faktor vnitřního povrchu musí platit vztah: [30]

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} \quad (7)$$

f_{Rsi}	teplotní faktor vnitřního povrchu [-]
$f_{Rsi,N}$	požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu [-], která se stanoví dle vztahu:

$$f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} \quad (8)$$

$f_{Rsi,cr}$	kritický teplotní faktor vnitřního povrchu [-]
--------------	--

3.3.3 Posouzení detailů s okenními výplněmi

V případě detailů týkajících se okenních výplní musíme ověřit požadavek na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu pro stavební konstrukce kvůli zamezení růstu plísní na konstrukci. Místo s nejnižší vnitřní povrchovou teplotou na stavební konstrukci se u detailů s okenními výplněmi zpravidla nachází v blízkosti připojovací spáry. Povrchová teplota v oblasti připojovací spáry je ovlivněna návrhem detailu a také skutečným provedením. Mezi faktory, které ovlivňují povrchovou teplotu výsledného detailu ve fázi návrhu, patří například:

- Poloha výplně otvoru v ostění
- Tepelněizolační vlastnosti rámu
- Tepelně izolační vlastnosti výplně připojovací spáry a materiálu v těsné blízkosti připojovací spáry
- Míra přezisolování rámu okna zateplovacím systémem

Ověření požadavku na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu výplně otvoru kvůli zamezení kondenzace na okenní výplni je normou ČSN 73 0540-2 pouze doporučené. Vzhledem k tomu, že kondenzace na vnitřním povrchu otvorové výplně není žádoucí pro obyvatele stavebního objektu, je vhodné tento požadavek ověřit, a to zejména u oken s horšími tepelněizolačními vlastnostmi. Dalším důvodem je tvorba plísní na okenní výplni, ke které bude s vysokou pravděpodobností při pravidelné kondenzaci docházet. U realizované stavby, kde dochází k pravidelné kondenzaci vodní páry na okenních výplních lze konstatovat nesoulad se základním požadavkem na ochranu zdraví osob a zvířat a zdravých životních podmínek. [34]

Oblast na vnitřním povrchu okenní výplně, kde ke kondenzaci dochází, je většinou povrch zasklení v blízkosti zasklívací spáry. Povrchová teplota v tomto místě zpravidla

není ovlivněna okolní konstrukcí, ale vlastnostmi okna – výrobku, a to zejména použitým typem zasklení a distančního rámečku.



Obrázek 20 - Příklad okenní výplně s kondenzací v oblasti zasklívací i připojovací spáry [Foto: autor]

Obrázek 20 zobrazuje příklad okenní výplně s izolačním dvojsklem v rodinném domě v pražských Kbelích. Zde dochází v zimním období ke kondenzaci vodní páry na okenní výplni i v oblasti připojovací spáry. V dolní části stavební konstrukce navazující na okenní výplň jsou viditelná místa, kde dochází k růstu plísní. Dle názoru autora této práce dochází ke kondenzaci nejen z důvodu nevhodného provedení, ale i nesprávného užívání. V tomto případě se nejedná o předsazenou montáž. Cílem tohoto příkladu je pouze demonstrovat důležitost splnění požadavků a doporučení na nejnižší povrchovou teplotu, nejlépe s rezervou. Z pohledu realizační firmy se jedná také o důležitou problematiku, která je poměrně snadno odhalitelná i běžným uživatelem s absencí znalostí stavební fyziky.

3.4 Výpočet potřeby tepla na vytápění

V této kapitole je stručně popsán princip výpočtu potřeby tepla na vytápění, který je použit v praktické části pro vyjádření možné úspory realizací předsazené montáže ve srovnání s klasickou montáží a dále pro výpočet podílu této úspory potřeby tepla na vytápění celého objektu.

Potřeba tepla na vytápění budovy se počítá jako bilance tepelných ztrát a využitelných tepelných zisků. Jsou zde zahrnuty tepelné ztráty prostupem tepla a tepelné ztráty v důsledku výměny vzduchu, dále pak využitelné vnitřní tepelné zisky a využitelné tepelné zisky od slunečního záření pronikající prosklenými plochami. Výpočet je nejčastěji prováděn v měsíčním kroku pro jeden rok – jednu otopnou sezónu. [28]



Princip výpočtu zobrazuje následující vztah: [35]

$$Q_{nd} = Q_T + Q_V - \eta_g \cdot (Q_{int} + Q_{sol}) \quad (9)$$

Q_{nd}	potřeba tepla na vytápění budovy [kWh]
Q_T	tepelné ztráty prostupem [kWh]
Q_V	tepelné ztráty větráním [kWh]
η_g	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění [-]
Q_{int}	vnitřní tepelné zisky [kWh]
Q_{sol}	solární tepelné zisky [kWh]

V následujícím vztahu jsou podrobněji rozepsány tepelné ztráty prostupem tepla: [36]

$$Q_T = \left(\sum A_i \cdot U_i \cdot b_i + \sum l_k \cdot \psi_k \cdot b_k + \sum \chi_j \cdot b_j \right) \cdot (\theta_{i,set} - \theta_e) \cdot t \quad (10)$$

Q_T	tepelné ztráty prostupem [kWh]
A_i	plocha i-té konstrukce [m ²]
U_i	součinitel prostupu tepla i-té konstrukce [W/(m ² .K)]
l_k	délka k-té lineární tepelné vazby [m]
ψ_k	lineární činitel prostupu tepla k-té tepelné vazby [W/(m.K)]
χ_j	bodový činitel prostupu tepla [W/K]
b	činitel teplotní redukce [-]
$\theta_{i,set}$	požadovaná vnitřní teplota vytápěné zóny v otopném období [°C]
θ_e	teplota venkovního prostředí v daném časovém kroku [°C]
t	počet hodin časového kroku [h]

První suma součinu zahrnuje prostup tepla plošnou konstrukcí, druhá prostup tepla tepelnými vazbami na styku konstrukcí a třetí bodový prostup tepla tepelnými mosty. Právě ve druhé sumě bývá zahrnuta tepelná propustnost styků okenních výplní a okolní stěnové konstrukce. [28]

3.4.1 Výpočet tepelné propustnosti

Zde je odvozen výpočet tepelné propustnosti styku okenní výplně a obvodové stěny. Po stanovení lineárních činitelů prostupu tepla (viz kapitola Lineární činitel prostupu tepla) pro detail parapetu, nadpraží a ostění lze vypočítat tepelnou propustnost celého styku okenní výplně a obvodové stěny L_s [W/K]. Vztah pro její výpočet ukazuje následující vzorec:

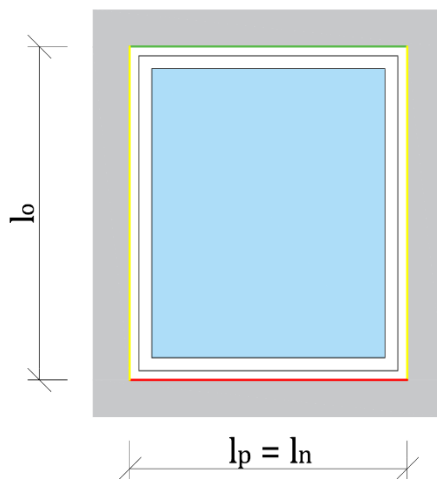
$$L_s = \psi_p \cdot l_p + 2 \cdot \psi_o \cdot l_o + \psi_n \cdot l_n \quad (11)$$

L_s	tepelná propustnost celého styku okenní výplně a stavební konstrukce [W/K]
ψ_p	lineární činitel prostupu tepla v parapetu (označeno červeně) [W/(m.K)]
l_p	délka parapetu [m]
ψ_o	lineární činitel prostupu tepla v ostění (označeno žlutě) [W/(m.K)]
l_o	délka ostění [m]



ψ_n lineární činitel prostupu tepla v nadpraží (označeno zeleně) [W/(m.K)]
 l_n délka nadpraží [m]

Obrázek 21 zobrazuje schéma osazené okenní výplně s vyznačenými délkami a lineárními činiteli použité ve výpočetním vztahu 11.



Obrázek 21 - Schéma osazené okenní výplně

Tato tepelná propustnost vyjadřuje tepelný tok celou tepelnou vazbou styku okenní výplně a obvodové stěny při teplotním rozdílu mezi vnitřním a vnějším prostředím jeden Kelvin. Tato „veličina“ je v této práci zavedena z důvodu vzájemného porovnání různých typů montáže s ohledem na předsazení okna a lze dále použít k výpočtu tepelné ztráty na styku okna a stavební konstrukce, pokud budeme uvažovat konkrétní okrajové podmínky.

4 2D výpočetní analýza

Tato kapitola je věnována výpočtům nejnižší vnitřní povrchové teploty a lineárního činitele prostupu tepla ve 2D teplotním poli pro detaily styků okenní výplně a obvodové stěny (dále jen styku). Cílem výpočetní analýzy je zodpovězení těchto otázek:

- **O jakou vzdálenost je vhodné okno předsadit?**
- **Jaký je rozdíl z hlediska nejnižší vnitřní povrchové teploty a prostupu tepla mezi vhodně provedenou klasickou montáží na vnější líc nosné konstrukce a předsazenou montáží okna?**
- **Jaké tepelné technické parametry (především součinitel prostupu tepla rámu okna) má mít okno vhodné pro předsazenou montáž?**
- **Jaký má vliv na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu stavební konstrukce změna odporu při přestupu tepla (R_{si})?**

Jedná se o část otázek uvedených v kapitole 1.3 Cíle práce.

4.1 Základní myšlenka

Základní myšlenkou této výpočetní analýzy je pomocí výpočtů ve 2D teplotním poli zjistit vlivy různých faktorů (hloubky osazení okenní výplně, materiálu nosné konstrukce, materiálu rámu okna, součinitele prostupu tepla rámu okna...) na sledované veličiny - nejnižší vnitřní povrchovou teplotu a lineární činitel prostupu tepla.

První část (Předběžná výpočetní analýza 4.3) je zaměřena na vysvětlení vzájemných souvislostí, nikoliv na porovnávání přesných hodnot. V této části jsou výpočty realizovány na dvou jednoduchých výpočetních modelech oken. Vlastnosti prvního modelu odpovídají vlastnostem okna, které je zpravidla v dnešní době na špičce výrobních řad u většiny výrobců. Druhý model odpovídá oknu, které bez rezervy vyhoví doporučené hodnotě součinitele prostupu tepla okna. Dále jsou zde vybrány tři typy skladeb, které jsou detailněji popsány v následujícím textu. Ve výpočtu je výpočetní model okna postupně posouván od interiéru do exteriéru a jsou prováděny výpočty nejnižších vnitřních povrchových teplot a lineárních činitelů prostupu tepla styku okenní výplně a obvodové stěny. Výsledkem jsou grafy ukazující průběh sledovaných veličin v závislosti na poloze okna v hloubce ostění. Na základě těchto výsledků jsou vybrány polohy okna v hloubce ostění pro podrobný výpočet.

Druhá část (Podrobná výpočetní analýza 4.4) je zaměřena na porovnání přesných hodnot sledovaných veličin u třech poloh okna (klasické montáže, předsazené montáže s předsazením 90 mm a 160 mm). Na rozdíl od první části jsou okna i ostatní části detailu modelovány podrobně. Výpočty jsou prováděny na pěti oknech a čtyřech skladbách obvodové stěny. Z výsledků jsou zjišťovány vlivy zmíněných faktorů na sledované veličiny. Výpočty z této části jsou porovnávány s výpočty na zjednodušených modelech.

Samostatnou částí je zjišťování vlivu změny odporu při přestupu tepla R_{si} na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu v oblasti parapetu. Tyto výpočty jsou prováděny na jednom vybraném detailu z podrobné výpočetní analýzy.

Postup a jednotlivé části výpočetní analýzy jsou detailněji popsány v následujících kapitolách.

4.2 Základní informace

Výpočetní analýza ve 2D teplotním poli je rozdělena do tří částí:

- 1) Předběžná výpočetní analýza (328 výpočtů)
- 2) Podrobná výpočetní analýza (148 výpočtů)
- 3) Vliv R_{si} na povrchovou teplotu (8 výpočtů)

Podrobný popis jednotlivých částí je uveden dále v kapitolách věnovaných těmto částem.

Výpočty byly prováděny rakouským výpočetním softwarem HTflux, který umožňuje simulace dvourozměrného vedení tepla a šíření vodní páry. V této výpočetní analýze se jedná o stacionární výpočty vedení tepla. [37]

4.2.1 Hodnocené detaily

Hodnoceny byly 3 typy detailů v různých variantách:

- Detail parapetu okenní výplně
- Detail ostění okenní výplně
- Detail nadpraží okenní výplně

Detaily ostění a nadpraží jsou zpravidla u většiny výpočtů z hlediska modelu pro výpočet vedení tepla shodné. Podrobnější popis k vytváření výpočetních modelů je uveden konkrétněji dále.

4.2.2 Okrajové podmínky

Pro výpočty povrchových teplot byly uvažovány následující okrajové podmínky:

- Teplota venkovního vzduchu: $\theta_e = -15,0^\circ\text{C}$
- Relativní vlhkost venkovního vzduchu: $\varphi_e = 84 \%$
- Teplota vnitřního vzduchu: $\theta_i = +20,0^\circ\text{C}$
- Relativní vlhkost vnitřního vzduchu: $\varphi_i = 45 \%$

Odpory při přestupu tepla pro výpočet povrchových teplot byly zadány podle ČSN 73 0540-3: [11]

- Na vnější straně: $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
- Na vnitřní straně pro výplně otvoru: $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
- Na vnitřní straně pro stavební konstrukce: $R_{si} = 0,25 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$

Pro výpočty lineárních činitelů prostupu tepla byly uvažovány okrajové podmínky dle normy ČSN EN ISO 10077-2: [38]

- Teplota venkovního vzduchu: $\theta_e = 0,0^\circ\text{C}$
- Teplota vnitřního vzduchu: $\theta_i = +20,0^\circ\text{C}$

Odpory při přestupu tepla pro výpočet lineárních činitelů prostupu tepla byly zadány podle ČSN 73 0540-3: [11]

- Na vnější straně: $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$

- Na vnitřní straně pro výplně otvoru: $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
- Na vnitřní straně pro vodorovný kout u výplně otvoru: $R_{si} = 0,20 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
- Na vnitřní straně pro stavební konstrukce: $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$

4.2.3 Hodnotící kritéria

Pro hodnocení tepelně technických vlastností detailů osazení okna byly vybrány, jak již bylo v úvodu uvedeno, tyto veličiny:

- Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce θ_{si} [°C]
- Lineární činitel prostupu tepla styku okenní výplně a obvodové stěny ψ [W/(m.K)]

Požadavky na tyto veličiny jsou definovány normou ČSN 73 0540-2: [30]

- Lineární činitel prostupu tepla pro vnější stěnu navazující na výplň otvoru:
 - Požadovaná hodnota $\psi_N = 0,10 \text{ W/(m.K)}$
 - Doporučená hodnota $\psi_{rec} = 0,03 \text{ W/(m.K)}$
 - Doporučená hodnota pro pasivní domy $\psi_{pas} = 0,01 \text{ W/(m.K)}$
- Kritický teplotní faktor vnitřního povrchu stavební konstrukce a jemu odpovídající teplota pro zvolené okrajové podmínky:
 - Požadovaná hodnota $f_{Rsi,cr} = 0,744$
 $\theta_{si,cr} = 11,04^\circ\text{C}$

Ačkoliv při hodnocení normových požadavků se používá nejnižší vnitřní povrchová teplota vyjádřená pomocí kritického teplotního faktoru vnitřního povrchu, v této práci je uváděna vždy přímo hodnota teploty. Prvním důvodem je použití stejných okrajových podmínek pro výpočty povrchových teplot u všech detailů. Druhým důvodem je jasnější praktická představa čtenáře o hodnotě.

Ve vyhodnocení je také používána tepelná propustnost styku okenní výplně a obvodové stěny (výpočet viz 3.4.1). Pokud není uvedeno jinak, je hodnota tepelné propustnosti styku počítána pro velikost normového okna (1,48 m x 1,23 m), která zároveň odpovídá velikosti běžného okna.

4.2.4 Přesnost a kontrola výpočtu

Pro předběžnou výpočetní analýzu bylo nastaveno rozlišení výpočetní sítě na 0,5 mm. Pro podrobnou výpočetní analýzu bylo nastaveno rozlišení na 0,4 mm, což odpovídá nejvyššímu možnému rozlišení pro velikost hodnocených detailů s ohledem na operační paměť použitého počítače. Bylo zvoleno standartní konvergenční kritérium $\Delta T_{max} < 0,01\text{K}$, které zajišťuje velmi dobrou přesnost výsledků.

Kontrola provedených výpočtů byla zaměřena na:

- Návaznost materiálových oblastí
- Správnost přiřazení materiálových charakteristik a okrajových podmínek
- Tepelné toky pro jednotlivé okrajové podmínky a ověření rovnosti tepelných toků do detailu a z detailu
- Zhodnocení pole teplot a tepelných toků na základě zkušenosti



4.2.5 Ovlivňující faktory

Prostup tepla stykem okna a obvodové stěny nebo povrchovou teplotu v blízkosti připojovací spáry ovlivňují následující faktory:

- Okenní rám (U_f)
- Rozměr otvoru
 - Velikost
 - Poměr výšky a šířky
- Obálka budovy
 - Nosná konstrukce (λ , tloušťka)
 - Tepelně izolační vrstva (λ , tloušťka)
 - Ostatní materiály v blízkosti připojovací spáry (podkladní profil...)
- „Přeizolování“ rámu okna
- Hloubka osazení okenní výplně
- Použitý systém montáže
- Okrajové podmínky
 - Teplota vnitřního a vnějšího vzduchu
 - Odpor při přestupu tepla

Ve 2D výpočetní analýze byly zjišťovány vlivy většiny z uvedených faktorů a hledána vhodná řešení.

Nebyl zde prováděn výpočet pro zjištění vlivu přeizolování rámu, protože tato problematika byla již řešena autorem v rámci předmětu magisterského studia a také se tím již zabývaly publikace od jiných autorů [10]. Pro obvyklé profily bylo překrytí rámu izolací u detailu ostění a nadpraží uvažováno 40 mm, což odpovídá tepelně technicky vhodnému řešení a současně dobře realizovatelnému napojení pomocí APU lišty i u zaoblených okenních rámu. V případě progresivního okna bylo uvažováno přeizolování celého okenního rámu v oblasti ostění a nadpraží.

Použitému systému, přesněji porovnání dvou principů předsazení, je věnována samostatná kapitola, protože bylo nutné provést i výpočet ve 3D teplotním poli.

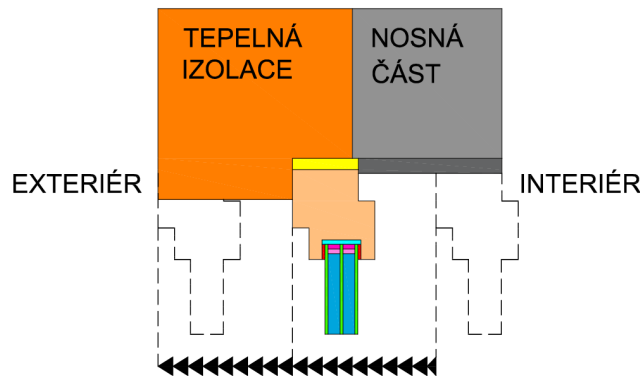
Teploty vnitřního a vnějšího vzduchu (viz Okrajové podmínky) jsou ve všech výpočtech stejné. Byly vybrány typické hodnoty pro Českou republiku.

4.3 Předběžná výpočetní analýza

První část výpočetní analýzy byla prováděna s jednoduchými modely okna a okolní konstrukce, aby bylo možné provést efektivně velké množství výpočtů. Cílem těchto výpočtů bylo zjistit závislosti povrchových teplot a lineárních činitelů prostupu tepla na hloubce osazení okna v různých konstrukcích. Důraz je kladen na vysvětlení vzájemných souvislostí, nikoliv na porovnávání přesných hodnot.

Ve výpočtech byly použity skladby obvodové stěny skládající se vždy z nosné konstrukce a vnější tepelně izolační vrstvy. Výpočty zmíněných veličin byly prováděny u detailu parapetu a nadpraží (při uvažování shodného řešení ostění a nadpraží) a v plném rozsahu hloubky otvoru - od vnitřního líce stěny až k vnějšímu líci izolace. Krok

výpočtu byl stanoven na 20 mm. Obrázek 22 demonstuje postup výpočtu s postupnou změnou pozic okenní výplně u detailu nadpraží.



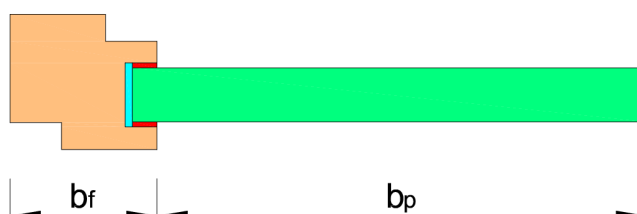
Obrázek 22 - Schéma postupu výpočtu na vybraných teplotních polích detailu nadpraží

4.3.1 Jednoduché výpočetní modely okna

Pro výpočty byly vytvořeny dva jednoduché výpočetní modely okna. Geometrický tvar rámu byl vytvořen tak, aby se podobal reálnému oknu s rámem, které má stejný součinitel prostupu tepla. Zasklení bylo modelováno podrobně. Zasklívací rámeček byl modelován pomocí metody „two box“, která nahrazuje složitý tvar rámečku dvěma obdélníkovými oblastmi. Nejdůležitějším parametrem pro správnou funkci modelu bylo stanovení ekvivalentního součinitele tepelné vodivosti náhradního materiálu, který tvoří rám. Ten byl u modelu stanoven iterační metodou na základě normového postupu pro výpočet součinitele prostupu tepla rámu okna, který stanovuje ČSN EN ISO 10077-2. Pro účel výpočtu součinitele prostupu tepla rámu okna se zasklení nahradí izolační deskou ($\lambda_{\text{desky}} = 0,035 \text{ W/(m.K)}$) a postupuje se dle následujícího vztahu: [38]

$$U_f = \frac{L_f^{2D} - U_p \cdot b_p}{b_f} \quad (12)$$

- U_f součinitel prostupu tepla profilu rámu [$\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$]
- L_f^{2D} tepelná propustnost detailu okna, z výpočtu ve 2D teplotním poli [$\text{W}/(\text{m.K})$]
- U_p součinitel prostupu tepla středové plochy izolační desky [$\text{W}/(\text{m}^2.\text{K})$]
- b_f šířka profilu rámu [m]
- b_p viditelná šířka izolační desky [m]

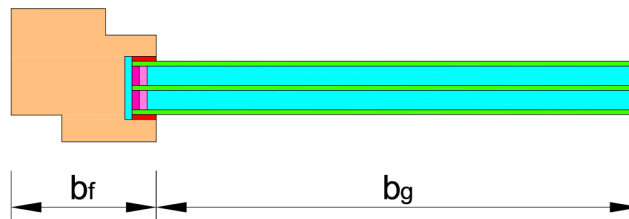


Obrázek 23 - Schéma pro stanovení součinitele prostupu tepla rámu

Jednodušeji řečeno, postupným dosazováním hodnoty ekvivalentního součinitele tepelné vodivosti a prováděním výpočtů ve 2D teplotním poli za účelem zjištění hodnoty tepelné propustnosti detailu okna, dále dosazováním hodnot tepelné propustnosti do excelové kalkulačky (vytvořené pro výpočet součinitele prostupu tepla rámu) až do dosažení cílové hodnoty součinitele prostupu tepla rámu (výstup – Příloha 4). Kontrola vytvořeného modelu po záměně izolační desky za zasklení s distančním rámečkem byla provedena pomocí výpočetního vztahu, který norma ČSN EN ISO 10077-2 používá pro stanovení lineárního činitele prostupu tepla styku rámu se zasklením: [38]

$$\psi = L_{\psi}^{2D} - U_f \cdot b_f - U_g \cdot b_g \quad (13)$$

ψ	lineární činitel prostupu tepla [W/(m.K)]
L_{ψ}^{2D}	tepelná propustnost detailu okna [W/(m.K)]
U_f	součinitel prostupu tepla profilu rámu [W/(m ² .K)]
U_g	součinitel prostupu tepla středové plochy zasklení [W/(m ² .K)]
b_f	návrhová šířka profilu rámu [m]
b_g	viditelná šířka zasklení [m]



Obrázek 24 - Schéma pro výpočet lineárního činitele prostupu tepla styku rámu se zasklením

Po úspěšné kontrole je výsledná hodnota lineárního činitele styku rámu a zasklení srovnatelná s hodnotou uvedenou v technickém listu distančního rámečku, což v tomto případě platilo (výstup kontroly – Příloha 5).

Popsaným postupem byly vytvořeny dva modely okna, aby bylo možné zkoumat také vliv okna (zejména jeho rámu) na sledované veličiny při různém přesazení okna. Jeden z nich odpovídá součinitelem prostupu tepla okna a stavební hloubkou oknům, která nabízí většina výrobců jako nejlepší výrobek z výrobní řady. Nahrazuje tedy tvarem a provedením běžné okno s výbornými tepelně technickými vlastnostmi, tedy okno, které je zcela určitě vhodné pro přesazenou montáž. Druhý model odpovídá normou doporučenému součiniteli prostupu tepla okna a je srovnatelný i stavební hloubkou s okny, která jsou „nejhorší“ z výrobních řad výrobců. Ten naopak reprezentuje předpokládané nejhorší použité okno pro přesazenou montáž. Hlavní důvod pro zařazení druhého modelu byla obava nesplnění požadavku na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu stavební konstrukce v oblasti parapetu při přesazené montáži.



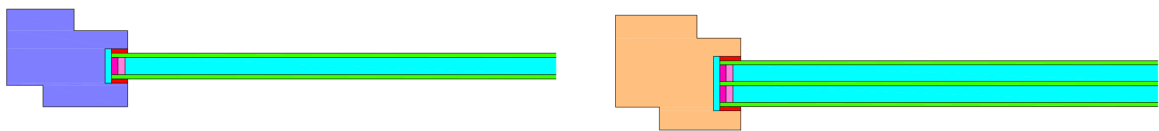
Vlastnosti výpočetních modelů oken jsou následující:

Modelové okno 71

- Stavební hloubka: 71 mm
- Součinitel prostupu tepla okna: $U_w = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Součinitel prostupu tepla rámu: $U_f = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Součinitel prostupu tepla zasklením $U_g = 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Lineární činitel prostupu tepla styku zasklení a rámu $\psi \approx 0,05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- Hloubka uložení zasklení: 15 mm
- Zasklení: izolační dvojsklo

Modelové okno 88

- Stavební hloubka: 88 mm
- Součinitel prostupu tepla okna: $U_w = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Součinitel prostupu tepla rámu: $U_f = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Součinitel prostupu tepla zasklením $U_g = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Lineární činitel prostupu tepla styku zasklení a rámu $\psi \approx 0,05 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
- Hloubka uložení zasklení: 20 mm
- Zasklení: izolační trojsklo



Obrázek 25 - Modelové okno 71 (vlevo), Modelové okno 88 (vpravo)

Před zahájením výpočtu byla provedena druhá kontrola, a to z důvodu ověření, zda model poskytuje podobné hodnoty povrchových teplot jako model reálného okna se stejnými parametry. Tato kontrola byla provedena pouze u modelového okna 88, které bylo osazeno do detailu, a byl proveden výpočet. Výpočet byl porovnán s podrobně modelovaným reálným oknem o stejných parametrech a ve stejném detailu. Byl sledován zejména rozdíl nejnižších vnitřních povrchových teplot mezi podrobně modelovaným reálným oknem a modelovým oknem. Tabulka 2 zobrazuje zmíněné rozdíly.

Tabulka 2 - Rozdíly hodnot povrchových teplot pro reálné podrobně modelované okno a pro modelové okno

Detail	Veličina	Plastové okno 88	Modelové okno 88	Rozdíl
Parapet	$\theta_{si,(\text{okno})} [^{\circ}\text{C}]$	13,0	12,9	0,1
	$\theta_{si,(\text{konstrukce})} [^{\circ}\text{C}]$	15,1	14,8	0,3
Nadpraží	$\theta_{si,(\text{okno})} [^{\circ}\text{C}]$	13,2	13,0	0,2
	$\theta_{si,(\text{konstrukce})} [^{\circ}\text{C}]$	17,2	17,7	-0,5

Výsledky výpočtů nejnižších vnitřních povrchových teplot s podrobně modelovaným reálným oknem a s modelovým oknem 88 jsou si velice blízké. Modelové okno 88 je

tedy vhodné k použití ve výpočetní analýze. Vzhledem ke stejnému způsobu vytváření modelového okna lze předpokládat, že získané hodnoty nejnižších vnitřních povrchových teplot budou také podobné jako u podrobně modelovaného reálného okna se stejnými parametry.

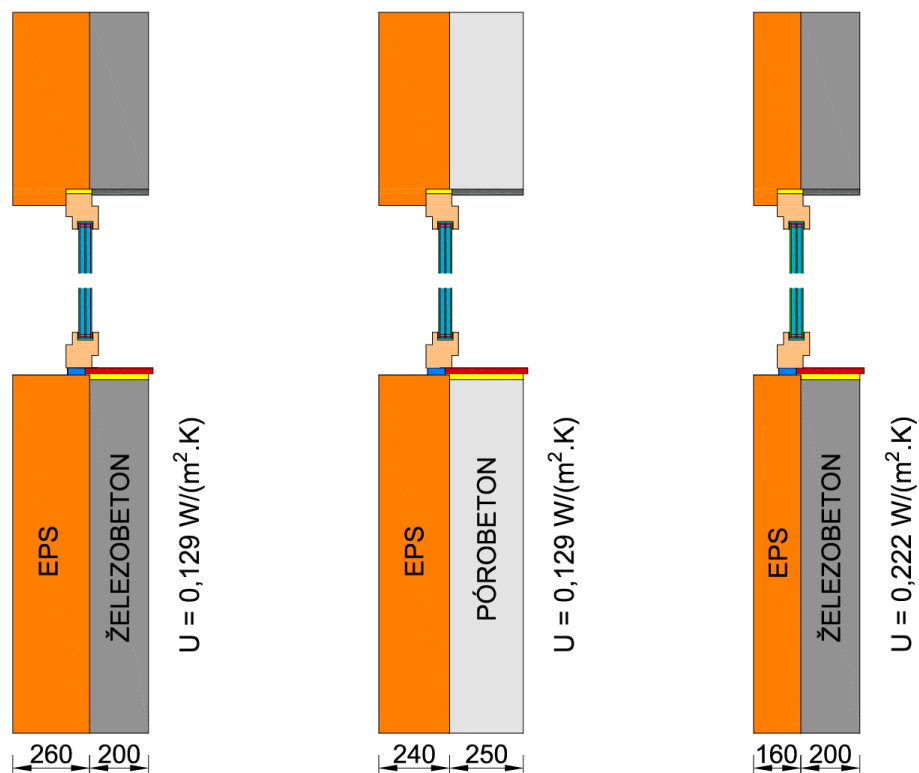
4.3.2 Modelování ostatních částí detailu a popis použitých grafů

V této výpočetní analýze byla stavební konstrukce modelována zjednodušeně. Modelovány byly pouze tyto části:

- Nosná konstrukce
- Tepelná izolace
- Tepelně-izolační výplň přípojovací spáry
- Podkladní profil
- Vnitřní a vnější parapet

Materiálové vlastnosti byly zadávány v souladu s ČSN 73 0540-3. Součinitele tepelné vodivosti použitých materiálů jsou uvedeny v příloze (Příloha 2).

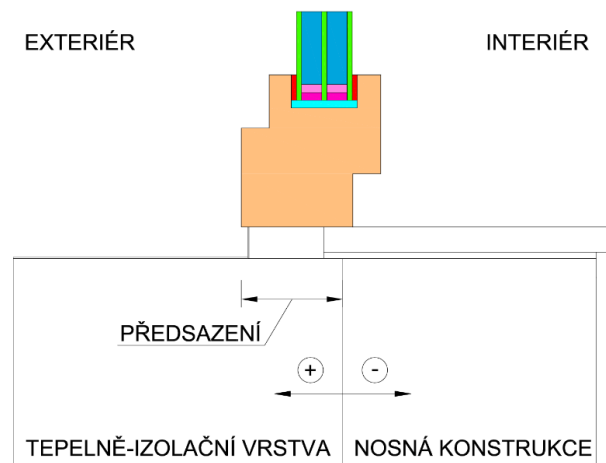
V této výpočetní analýze jsou zastoupeny tři typy skladeb obvodové stěny. Cílem výběru těchto skladeb je zkoumání vlivu materiálu nosné konstrukce a rozdílné tloušťky izolace na sledované veličiny při různém předsazení okna. Obrázek 26 zobrazuje použité skladby včetně jejich součinitele prostupu tepla. Z obrázku je také dobře viditelná geometrie zjednodušených výpočetních modelů detailu parapetu a nadpraží. Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1200 mm a délku zasklení 400 mm. Detail ostění není modelován, předpokládá se podobnost s detailem nadpraží.



Obrázek 26 - Geometrické schéma výpočetních modelů (výřez) včetně použitých skladeb

První skladba obvodové stěny byla vybrána, protože se jedná o kombinaci izolace a materiálu s vysokou tepelnou vodivostí – železobetonu. Jako druhá skladba obvodového pláště byla zvolena kombinace izolace a pórobetonu, protože je zde naopak jako nosná konstrukce materiál s nízkou tepelnou vodivostí (v porovnání s ostatními materiály tvořícími nosnou konstrukci). Obě dvě skladby splňují doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla pro pasivní domy, z hlediska součinitele prostupu jsou tedy vhodné pro použití u pasivních domů. Jako třetí skladba obvodového pláště byla vybrána konstrukce, která splňuje doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla a zároveň je tvořena dvěma materiály s velmi rozdílnou hodnotou součinitele tepelné vodivosti jako v případě první skladby. Tloušťky nosných konstrukcí byly zvoleny tak, aby se jednalo o typicky realizované konstrukce. V případě železobetonu jde o tloušťku 200 mm. Tloušťka stěny z pórobetonových tvárnic 250 mm vychází z nejmenší tloušťky tvárnic, které jsou běžně vhodné pro provádění nosných konstrukcí.

Jak již bylo uvedeno na začátku kapitoly, ve výpočtech je postupně měněna hloubka osazení okenní výplně po 20 mm v plném rozsahu - od vnitřního líce stěny až k vnějšímu líci izolace. V následujících grafech je vždy uváděna hodnota předsazení, která odpovídá vzdálenosti vnějšího líce okenního rámu od vnějšího líce konstrukce. Obrázek 27 definuje předsazení okenní výplně, kvůli orientaci v následujících grafech.



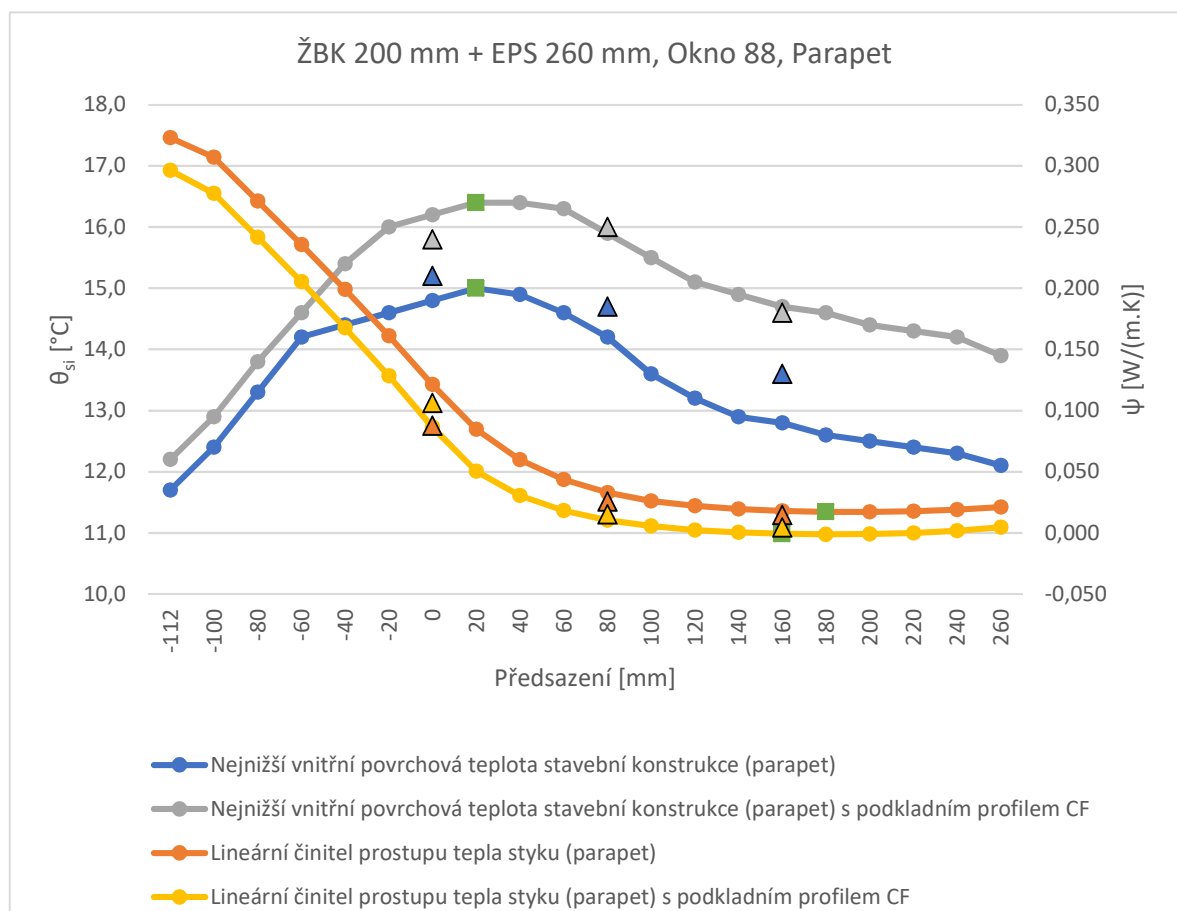
Obrázek 27 - Schéma předsazení okenní výplně

Na následujících grafech každý bod odpovídá vždy jednomu výpočtu. Zeleným čtvercem ■ je vždy označena nejpříznivější hodnota dané veličiny. Pro porovnání přesnosti modelu je do grafu zakreslena i část výsledků z další kapitoly, která se zabývá podrobným modelováním detailů oken. Zakreslené trojúhelníky ▲ vždy zobrazují výsledek přesného výpočtu podrobně modelovaného okna osazeného v podrobně namodelovaném detailu včetně systému pro předsazenou montáž. Modelové okno je tak porovnáváno s podrobně modelovaným oknem o srovnatelných vlastnostech, tedy modelové okno 88 je porovnáváno s plastovým oknem se shodnou stavební hloubkou a stejným součinitelem prostupu tepla. Stejně tak i modelové okno 71 je porovnáváno s plastovým oknem se shodnou stavební hloubkou a stejným součinitelem prostupu tepla.



4.3.3 Železobeton 200 mm + expandovaný polystyren 260 mm

Tato podkapitola je věnována první zkoumané skladbě v kombinaci s oběma modelovými okny. Pro modelové okno 88 byly vyzkoušeny zjednodušeným modelováním dvě varianty podkladních profilů. První odpovídal ekvivalentním součinitelem tepelné vodivosti plastovému komorovému profilu dodávanému k oknu a druhý podkladnímu profilu z Compacfoamu (v grafech značen CF). Výsledky výpočtů zobrazují následující grafy. Obrázek 28 zobrazuje vyhodnocení vypočtených nejnižších vnitřních povrchových teplot na stavební konstrukci a lineárních činitelů prostupu tepla styku pro detail parapetu s modelovým oknem 88.



Obrázek 28 - Vyhodnocení veličin pro detail parapetu, ŽBK 200mm + EPS 260mm, okno 88

Při posunu okna od vnitřního líce nosné konstrukce směrem do exteriéru dochází ke strmému nárůstu povrchové teploty v oblasti parapetu. Ideální poloha z hlediska povrchové teploty v oblasti parapetu je při předsazení o 20 mm. Je to dáno eliminací deformace teplotního pole částečným předsazením a zároveň tím, že se ještě část připojovací spáry stále nachází na železobetonové stěně, která přivádí do posuzovaného místa teplo. Při posunu dále do exteriéru povrchová teplota pozvolna klesá.

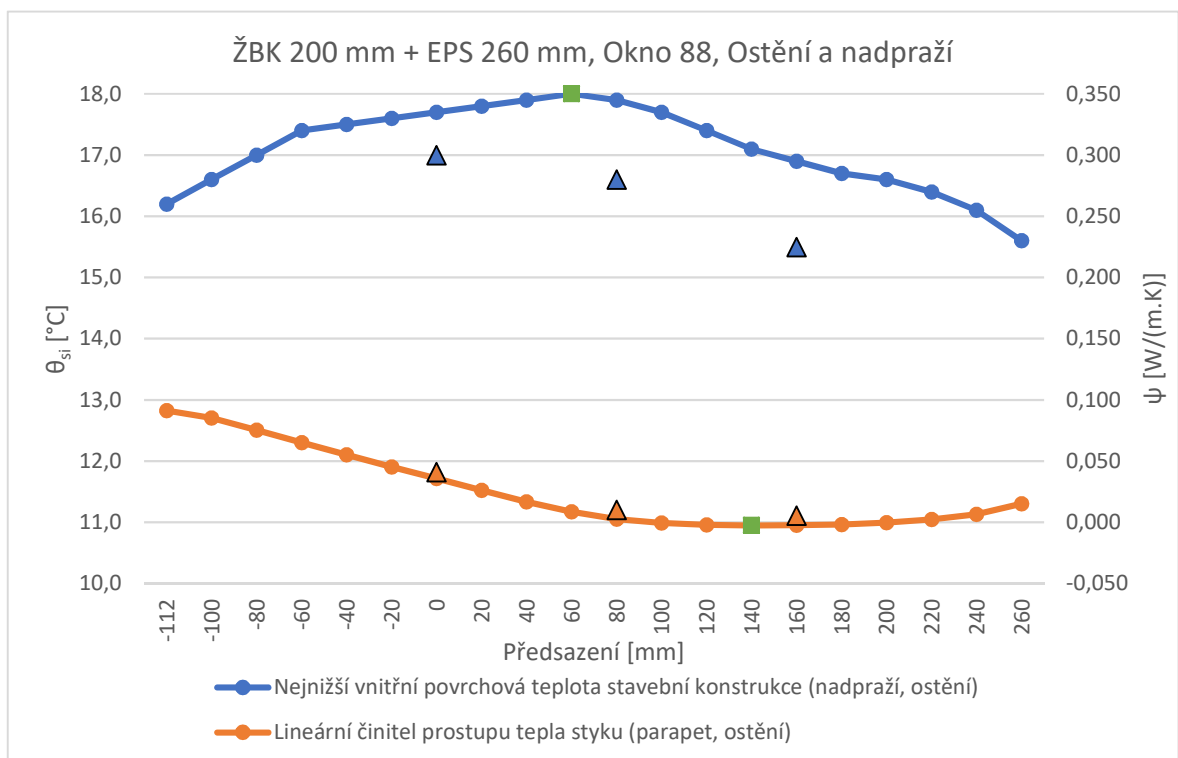
Lineární činitel prostupu tepla při posunu okna od vnitřního líce nosné konstrukce směrem do exteriéru strmě klesá. Od hodnoty předsazení 100 mm až do vnějšího líce tepelně izolační vrstvy se nachází „plochá oblast“ s nízkým lineárním činitelem prostupu

tepla. Ideální poloha vzhledem k eliminaci prostupu tepla stykem je při předsazení 160 mm nebo 180 mm podle podkladního profilu.

Z grafu je zřejmý přínos podkladního profilu z Compacfoamu, který pozitivně působí na povrchovou teplotu, a to zejména u polohy okna od nulového předsazení – klasické montáže až předsazení do vnějšího líce tepelně izolační vrstvy. Dále je také možné jeho použitím redukovat prostup tepla připojovací spárou.

Obrázek 29 vyhodnocuje pro detail ostění a nadpraží s modelovým oknem 88 shodné veličiny jako předchozí obrázek pro detail parapetu. Průběh nejnižší vnitřní povrchové teploty a lineárního činitele prostupu tepla je podobný jako v oblasti parapetu, ale rozdíly hodnoty při postupné změně polohy okna jsou výrazně menší. Je to ovlivněno přeizolováním rámu okna – překrytím rámu okna tepelnou izolací, jejíž přesah je 40 mm. Hodnota nejnižší vnitřní povrchové teploty je vlivem přeizolování rámu vyšší a její maximum se nachází u vyšší hodnoty předsazení než je tomu v případě detailu parapetu. Přeizolování rámu také výrazně ovlivňuje hodnotu lineárního činitele prostupu tepla, která je v oblasti předsazení od 80 mm do 220 mm velice blízká nule.

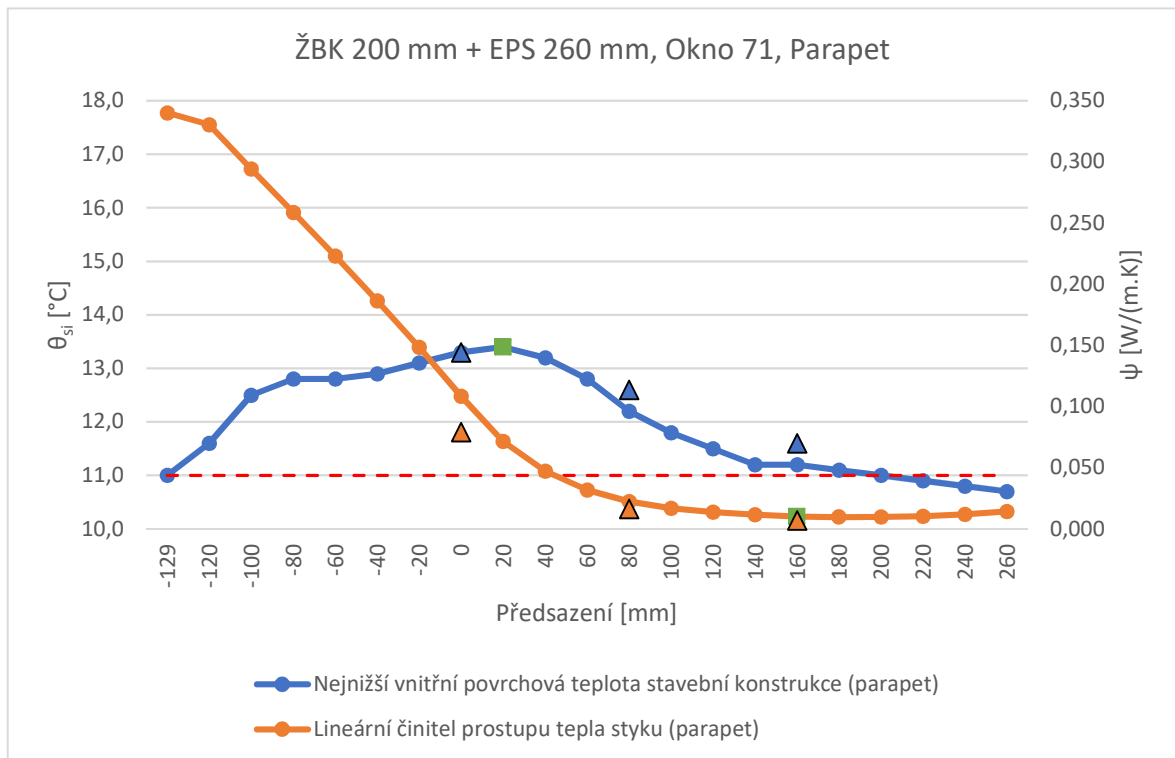
Z grafu je dále dobře viditelné porovnání zjednodušeného výpočetního modelu (křivka s body) a podrobného výpočetního modelu (trojúhelníkové body). Pro výpočet prostupu tepla zjednodušený model funguje velice dobře. Rozdíly hodnot lineárních činitelů prostupu tepla mezi zjednodušeným a podrobným výpočtem jsou v jednotkách tisícin. Při výpočtu povrchových teplot dochází k větším rozdílům, a to až 1,4°C. Z tohoto důvodu se vždy doporučuje výpočet povrchových teplot provádět na podrobném modelu.



Obrázek 29 - Vyhodnocení veličin pro detail ostění a nadpraží, ŽBK 200mm + EPS 260mm, okno 88

Obrázek 30 zobrazuje vyhodnocení vypočtených nejnižších vnitřních povrchových teplot na stavební konstrukci a lineárních činitelů prostupu tepla pro detail parapetu s modelovým oknem 71.

Průběh obou veličin je obdobný jako u parapetu u modelového okna 88, ale dochází zde při větším předsazení k poklesu nejnižší vnitřní povrchové teploty pod hodnotu kritické povrchové teploty pro stavební konstrukce – je zde možné riziko růstu plísní.



Obrázek 30 – Vyhodnocení veličin pro detail parapetu, skladba ŽBK 200 mm + EPS 260 mm, okno 71

Obrázek 31 porovnává výsledky výpočtů u obou modelových oken. Zobrazuje nejnižší vnitřní povrchové teploty na stavební konstrukci a tepelné propustnosti styku (pro okno 1,48 m x 1,23 m, výpočet viz kapitola 3.4.1).

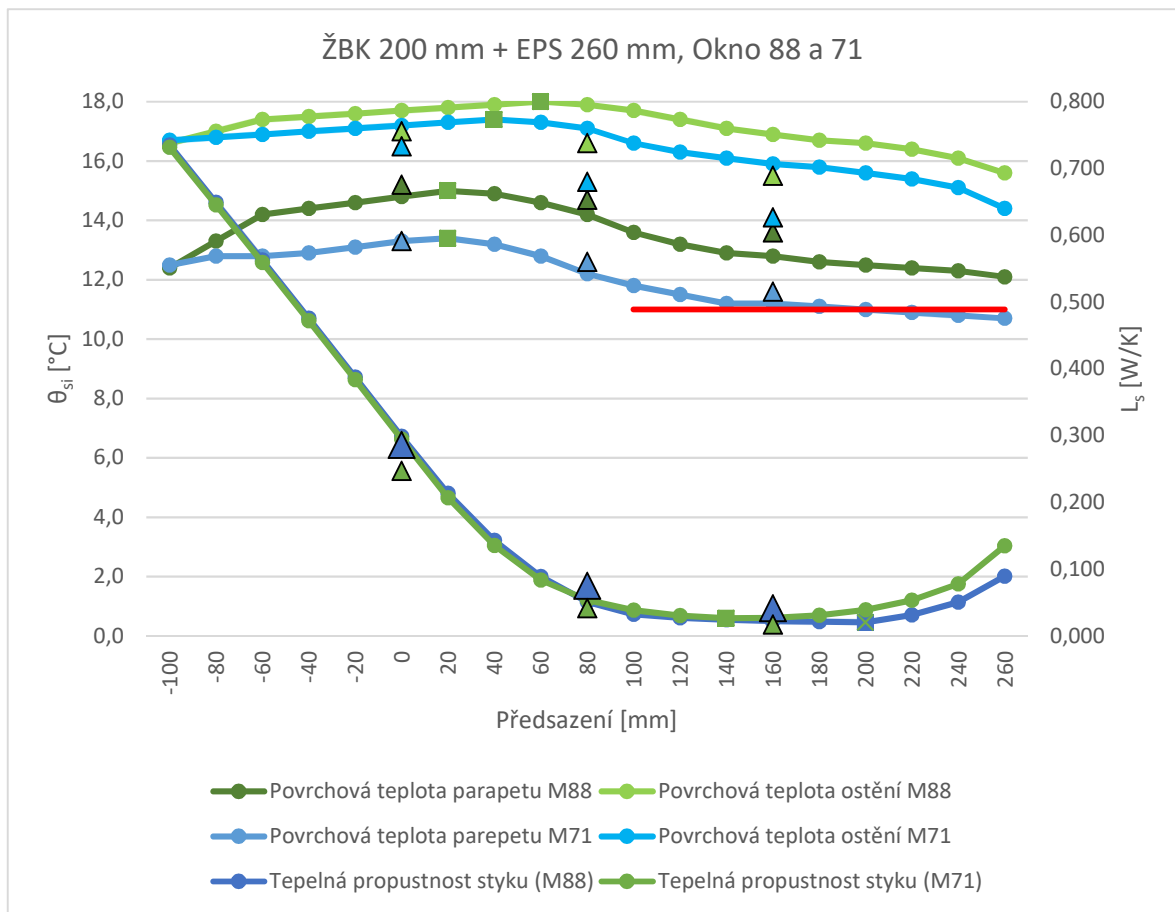
Z obrázku jsou patrné rozdíly nejnižších vnitřních povrchových teplot u obou modelových oken. Nejnižší vnitřní povrchová teplota u modelového okna 71, jehož rám má horší součinitel prostupu tepla než rám modelového okna 88, je u detailu parapetu i nadpraží nižší.

Při zhodnocení tepelné propustnosti styku, která kvantifikuje zvýšený tepelný tok styku okenní výplně a obvodové stěny po celém obvodu okna, lze říci, že nejvýhodnější poloha z hlediska eliminace tepelných ztrát je při předsazení 100 mm až 200 mm. Tepelná propustnost styku je u obou modelových oken velmi podobná a její hodnoty se viditelně odlišují až při předsazení okenní výplně o více než 160 mm.

Vzhledem k této podobnosti tepelné propustnosti bude u dalších skladeb počítáno pouze s modelovým oknem 88. Druhým důvodem jsou také již zmíněné nízké hodnoty nejnižší vnitřní povrchové teploty u detailu parapetu v případě modelového okna 71.



Oblast předsazení, kdy není vhodné použití tohoto okna, je v grafu vyznačena červenou čarou, která zároveň udává hodnotu kritické povrchové teploty.



Obrázek 31 - Porovnání modelových oken, ŽBK 200 mm + EPS 260 mm

4.3.4 Pórobeton 250 mm + expandovaný polystyren 240 mm

Tato podkapitola je věnována druhé zkoumané skladbě v kombinaci s modelovým oknem 88. Byly zde vyzkoušeny zjednodušeným modelováním dvě varianty podkladních profilů, stejně jako v předchozí kapitole. V následujících grafech je úmyslně zachována stejná stupnice na svislých osách jako v předchozí kapitole, aby mohl čtenář snadno porovnat rozdíly s předchozí kapitolou.

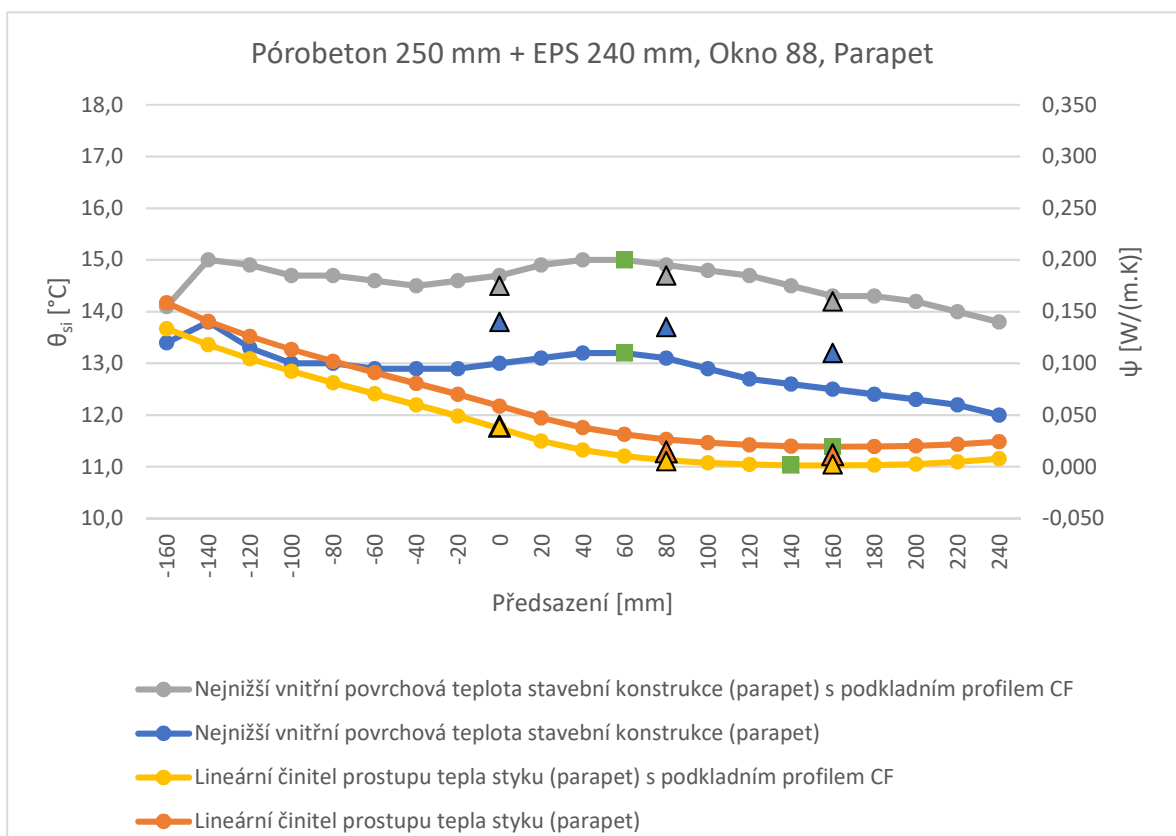
Obrázek 32 zobrazuje vyhodnocení vypočtených nejnižších vnitřních povrchových teplot na stavební konstrukci a lineárních činitelů prostupu tepla styku pro detail parapetu s modelovým oknem 88.

Vývoj nejnižší vnitřní povrchové teploty při postupném posunu okna od interiéru do exteriéru je podobný jako u první skladby, ale rozdíly mezi jednotlivými hodnotami povrchových teplot jsou výrazně menší. Stejně je na tom i vývoj lineárního činitele prostupu tepla, pro který platí také podobnost s první skladbou, ale s výrazně menšími rozdíly mezi jednotlivými hodnotami. Menší rozdíly mezi jednotlivými hodnotami,

méně strmý průběh, je dán tím, že pórobeton má nižší součinitel tepelné vodivosti ($\lambda_{\text{pórobeton}} \approx 0,200 \text{ W/(m.K)}$) než železobeton ($\lambda_{\text{žbk}} \approx 1,580 \text{ W/(m.K)}$) a jeho hodnota je bližší hodnotě součinitele tepelné vodivosti expandovaného polystyrenu ($\lambda_{\text{eps}} \approx 0,038 \text{ W/(m.K)}$), který tvoří tepelně izolační vrstvu.

Zde také platí, že od hodnoty předsazení 100 mm až do vnějšího líce tepelně izolační vrstvy se nachází „plochá oblast“ s nízkým lineárním činitelem prostupu tepla.

Záměna podkladního profilu zde způsobí výrazné zlepšení nejnižší vnitřní povrchové teploty již při polohách okenní výplně v rovině pórobetonového zdiva, na rozdíl od železobetonu, kde nejvýraznější zlepšení nejnižší vnitřní povrchové teploty nastává až od polohy klasické montáže.



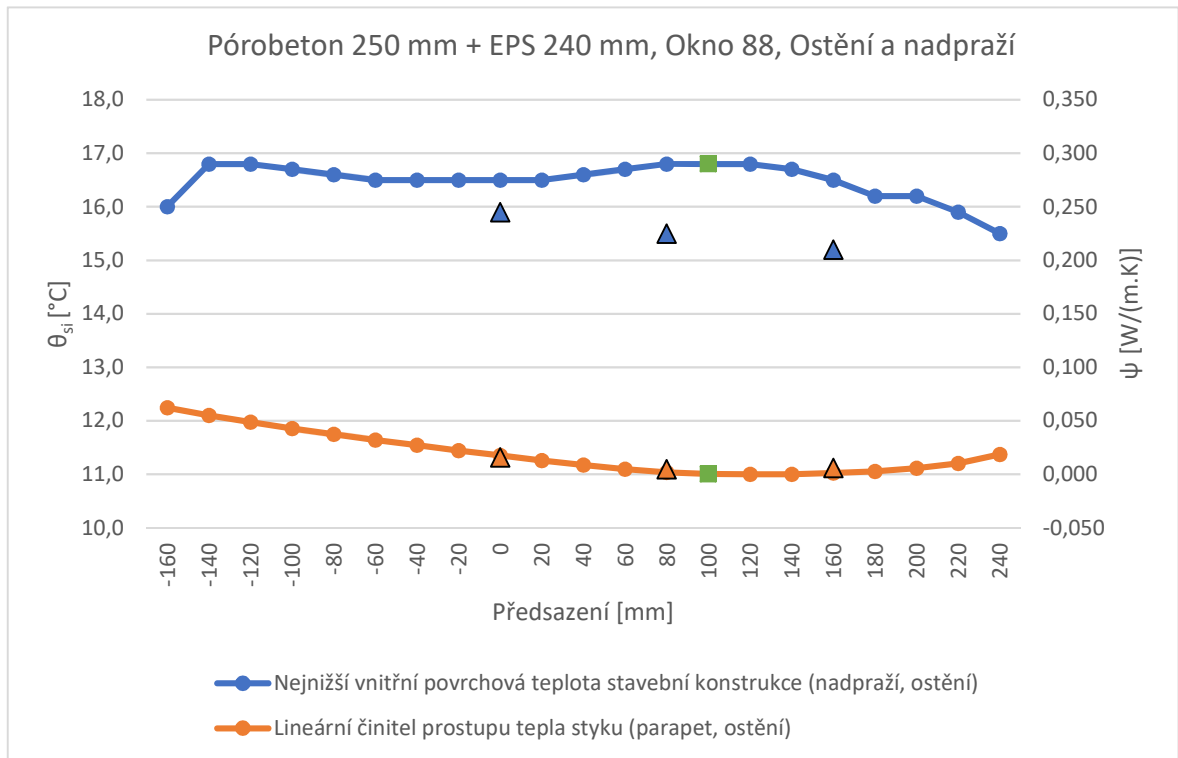
Obrázek 32 - Vyhodnocení veličin pro detail parapetu, pórobeton 250mm + EPS 240mm, okno 88

Obrázek 33 vyhodnocuje pro detail ostění a nadpraží shodné veličiny jako předchozí obrázek pro detail parapetu. Nejnižší vnitřní povrchová teplota se podobně jako v případě detailu parapetu při různých hodnotách předsazení téměř nemění s výjimkou poloh okenní výplně téměř v líci tepelně izolační vrstvy. Vývoj lineárního činitele prostupu tepla při postupném posunu okna od interiéru do exteriéru vykazuje také malé rozdíly mezi hodnotami jednotlivých kroků. Je to způsobeno kombinací nízkého součinitele tepelné vodivosti pórobetonu a přeizolováním rámu okna.

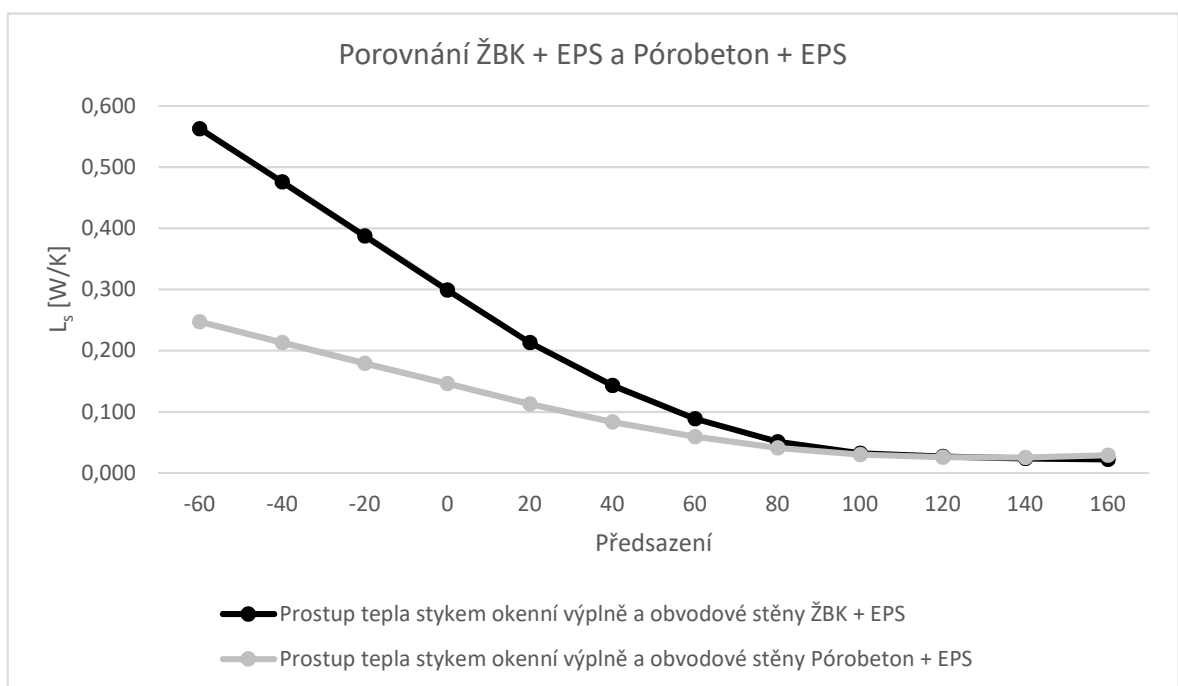
Při porovnání grafů (obrázek 32 a obrázek 33) s grafy v předchozí kapitole (obrázek 28 a obrázek 29) je dobře viditelné vzájemné přiblížení poloh okenní výplně u druhé



skladby, kdy mají zkoumané veličiny optimální hodnotu (zelený čtvercový bod). V případě detailu ostění a nadpraží mají dokonce obě dvě veličiny optimální hodnotu ve stejné poloze okenní výplně. To ukazuje obrázek 33, hodnota nejnižší vnitřní povrchové teploty je nejvyšší a hodnota lineárního činitele prostupu tepla nejnižší, a to při před-sazení 100 mm.



Obrázek 33 - Vyhodnocení veličin pro detail ostění a nadpraží, pórobeton 250mm + EPS 240mm, okno 88



Obrázek 34 - Porovnání tepelné propustnosti styku okenní výplně a obvodové stěny po celém obvodu okenní výplně 1,48 m x 1,23 m

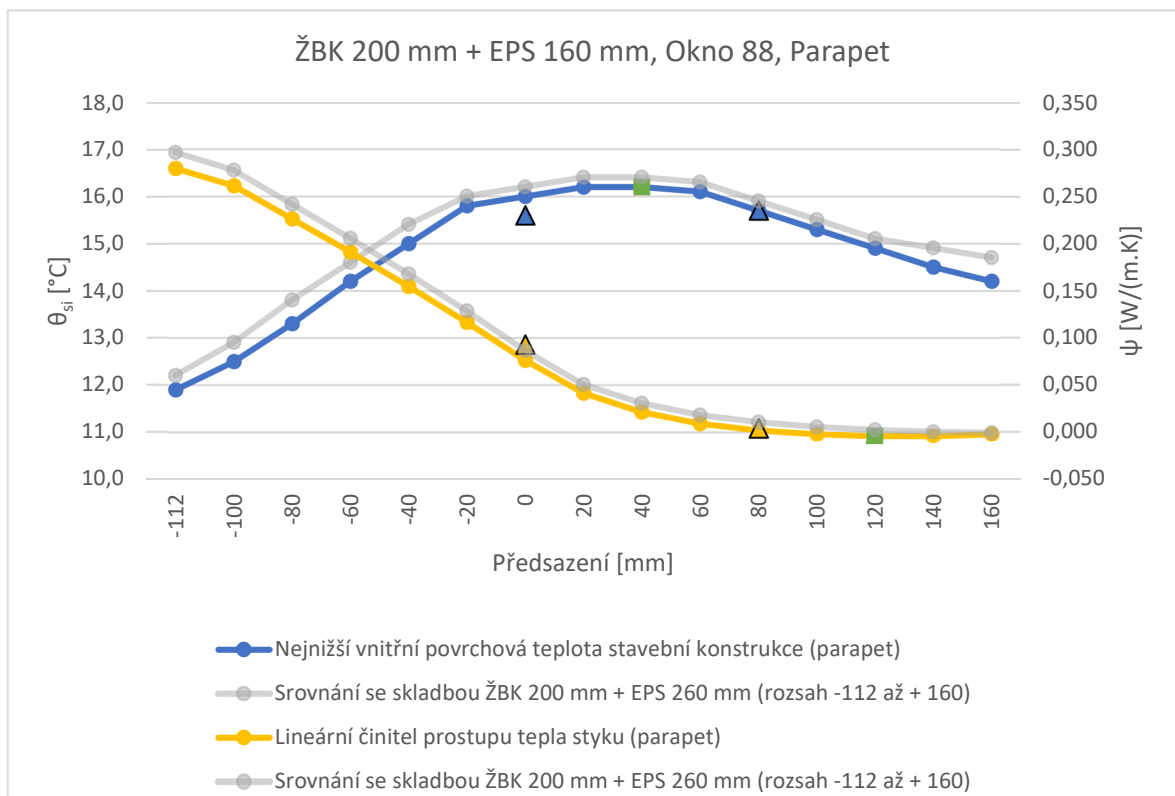
Obrázek 34 zobrazuje porovnání tepelné propustnosti styku okenních a dvou doposud zkoumaných skladeb (pro okno 1,48 m x 1,23 m).

Součinitel prostupu tepla je u obou skladeb obvodového pláště stejný. Tloušťky jednotlivých vrstev jsou rozdílné, nikoliv však výrazně. Z tohoto důvodu je následující porovnání uvedeno bez okrajových oblastí pouze v intervalu přesazení -60 mm až +160 mm. Je zde dobře viditelný vliv materiálu nosné konstrukce. V případě železobetonu je tepelná propustnost styku výrazně větší než u varianty s pórobetonem. Při posunu okenní výplně směrem do exteriéru se rozdíly snižují. Při přesazení 100 mm, kdy je okno celou stavební hloubkou v rovině tepelně izolační vrstvy, mají obě dvě varianty shodnou tepelnou propustnost styku.

4.3.5 Železobeton 200 mm + expandovaný polystyren 160 mm

Tato podkapitola je věnována třetí zkoumané skladbě v kombinaci s modelovým oknem 88 a s podkladním profilem z Compacfoamu.

Obrázek 35 zobrazuje vyhodnocení vypočtených nejnižších vnitřních povrchových teplot na stavební konstrukci a lineárních činitelů prostupu tepla pro detail parapetu s modelovým oknem 88.



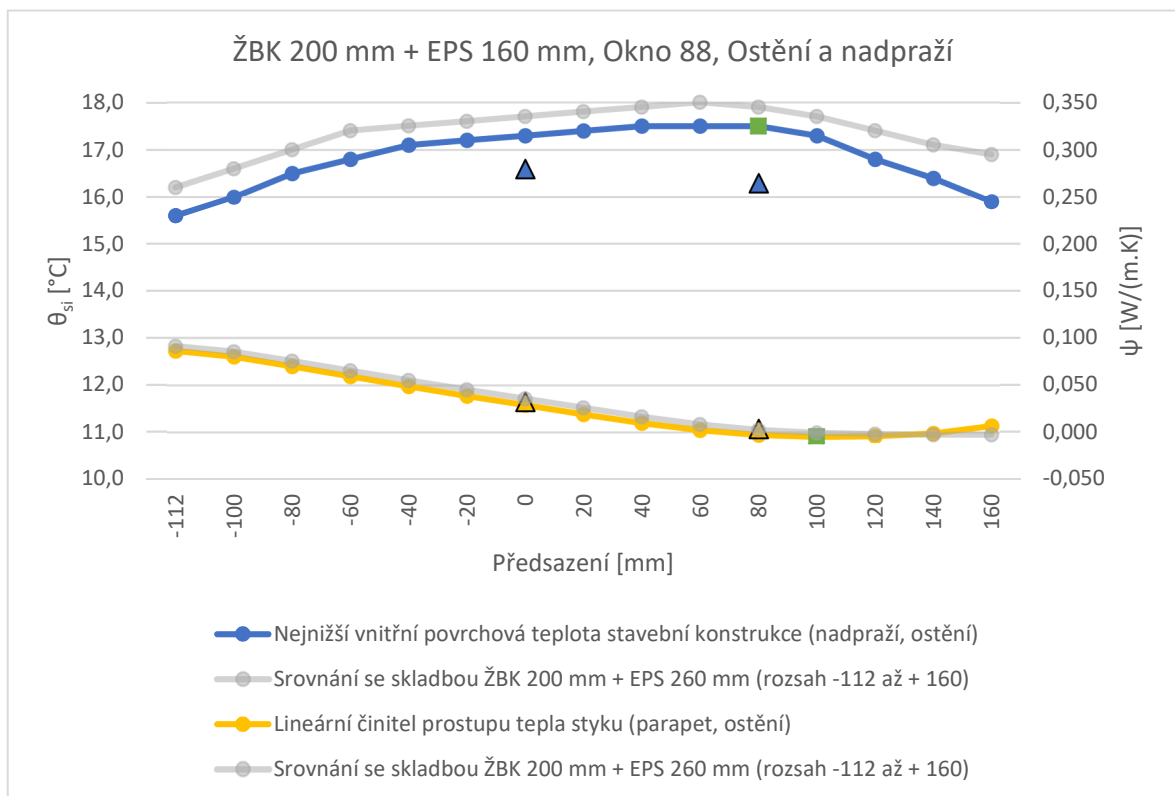
Obrázek 35 - Vyhodnocení veličin pro detail parapetu, ŽBK 200mm + EPS 160mm, okno 88

Obrázek 36 vyhodnocuje pro detail ostění a nadpraží shodné veličiny jako předchozí obrázek pro detail parapetu. U obou grafů je viditelná podobnost s grafy pro první

zkoumanou skladbu, proto byly do grafů přidány šedivé křivky vyjadřující průběh sledovaných veličin při postupném posunu okna od interiéru do exteriéru pro stejné modelové okno a podkladní profil v první zkoumané skladbě. První zkoumaná skladba se liší pouze tím, že její tepelně izolační vrstva má o 100 mm větší tloušťku. Tento fakt, ale nijak významně neovlivňuje průběh při postupném posunu okna od interiéru do exteriéru.

Na základě tohoto zjištění lze konstatovat, že na snížení lineárního činitele prostupu tepla má největší vliv přesazení okenní výplně tak, aby byla celou svojí stavební hloubkou v rovině tepelně izolační vrstvy. Při přesazování okna dále do exteriéru už nedochází k tak významnému zlepšení.

Dále lze říci, že nejnižší vnitřní povrchová teplota má nejvyšší, tedy optimální hodnotu při částečném přesazení okna. To znamená, že okno je osazeno na rozhraní nosné či výplňové konstrukce stěny a tepelně izolační vrstvy. Částečným přesazením je tedy částečně eliminován prostup tepla stykem a zároveň konstrukce stěny přivádí teplo do kritického místa z hlediska povrchové teploty stavební konstrukce. Výsledkem je pak nejvyšší hodnota nejnižší vnitřní povrchové teploty v tomto místě.



Obrázek 36 - Vyhodnocení veličin pro detail nadpraží a ostění, ŽBK 200mm + EPS 160mm, okno 88

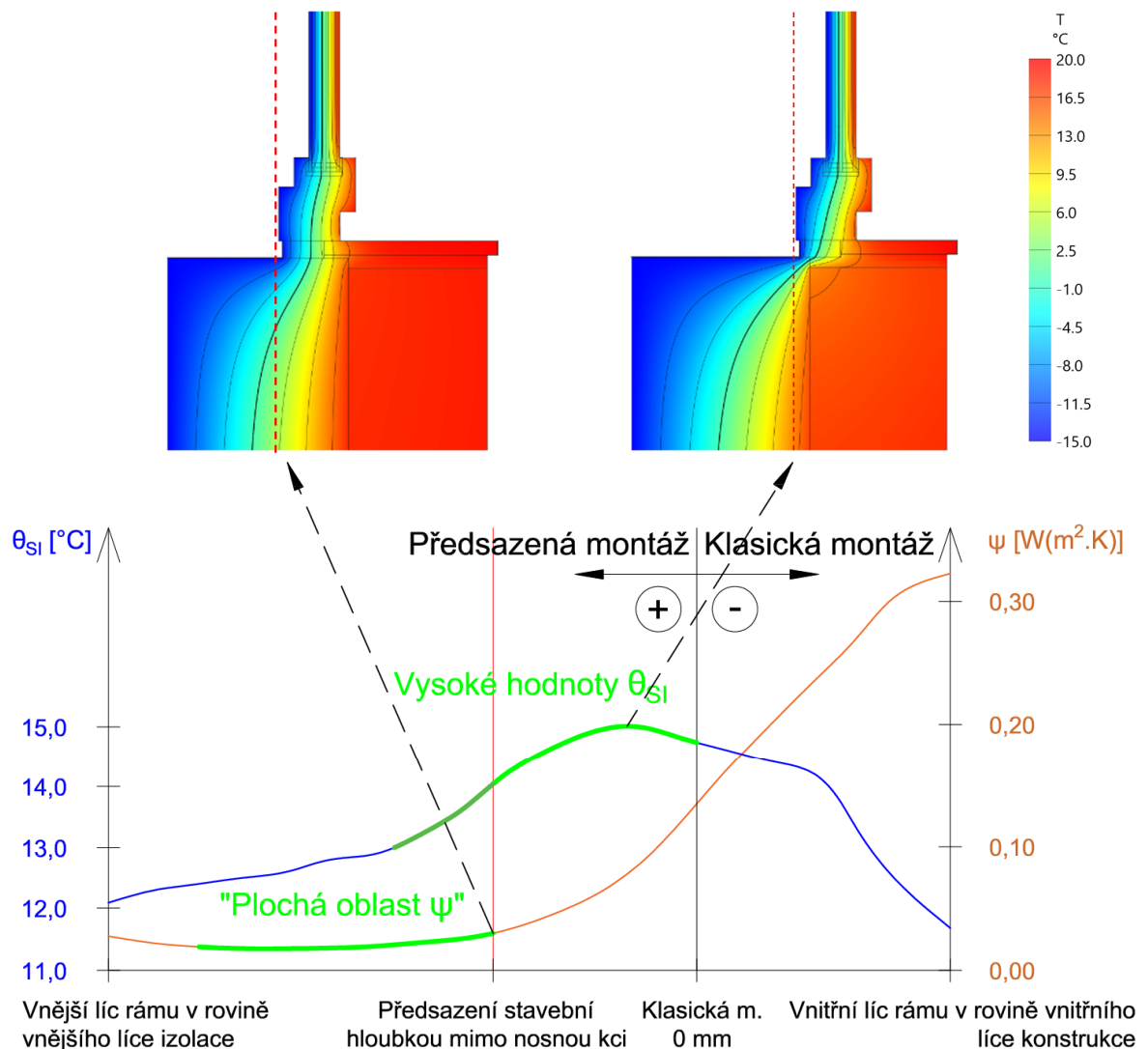
4.3.6 Shrnutí výsledků předběžné analýzy

Cílem kapitoly bylo vyhodnocení průběhu lineárního činitele prostupu tepla a nejnižší vnitřní povrchové teploty při postupném posunu okna od interiéru do exteriéru u tří vybraných skladeb.

Z provedené předběžné analýzy vyplývá:

- 1) Běžné okno se součinitelem prostupu tepla rámu $1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ není vhodné pro předsazenou montáž z důvodu rizika růstu plísní v oblasti parapetu, zejména pro větší hodnoty předsazení.
- 2) Pokud je okno osazeno celou stavební hloubkou nebo její částí v rovině zděné či monolitické konstrukce, je lineární činitel prostupu tepla v daném detailu ovlivněn součinitelem tepelné vodivosti materiálu stěny. Míra ovlivnění závisí na hloubce osazení okna a na hodnotě součinitele tepelné vodivosti materiálu stěny. S posunem okna z interiéru až do polohy předsazení, kdy je okno celou stavební hloubkou v rovině izolace, lineární činitel prostupu tepla klesá. Čím bližší je hodnota součinitele tepelné vodivosti materiálu zděné či monolitické konstrukce hodnotě součinitele tepelné vodivosti tepelně izolační vrstvy, tím je pokles hodnoty lineárního činitele prostupu tepla méně strmý. Toto tvrzení částečně ilustruje pomocí tepelné propustnosti připojovací spáry po obvodu celého okna obrázek 34.
- 3) Při překrytí rámu tepelnou izolací (ve výpočtech uvažován přesah 40 mm) dochází k výraznému zlepšení hodnot nejnižších vnitřních povrchových teplot a lineárních činitelů prostupu tepla.
- 4) Při posunu okna od vnitřního líce nosné konstrukce směrem do exteriéru dochází k nárůstu povrchové teploty. **Nejnižší vnitřní povrchová teplota má nejvyšší hodnotu při částečném předsazení okna**, kdy je částečně eliminován prostup tepla připojovací spárou a zároveň konstrukce stěny přivádí teplo do kritického místa z hlediska povrchové teploty stavební konstrukce. Při posunu okna dále do exteriéru povrchová teplota pozvolna klesá. Popsaný průběh zobrazuje obrázek 37 na detailu parapetu, který platí pro skladbu se zateplenou nosnou konstrukcí z materiálu s vyšší tepelnou vodivostí. U skladeb s nosnou konstrukcí s nižším součinitelem tepelné vodivosti jsou změny nejnižší vnitřní povrchové teploty zanedbatelné a hodnoty nižší než u skladeb s nosnou konstrukcí s vysokým součinitelem tepelné vodivosti.
- 5) S posunem okna z interiéru až do polohy předsazení, kdy je okno celou stavební hloubkou v rovině tepelné izolace, lineární činitel prostupu tepla klesá. Čím bližší je hodnota součinitele tepelné vodivosti materiálu nosné konstrukce hodnotě součinitele tepelné vodivosti tepelně izolační vrstvy, tím je pokles hodnoty lineárního činitele prostupu tepla méně strmý. **Nejvýznamnějšího snížení lineárního činitele prostupu tepla** docílíme posunem okenní výplně do roviny tepelné izolace, kdy je **celá její stavební hloubka rámu umístěna v rovině tepelně izolační vrstvy**. Při předsazování okenní výplně v tepelně izolační vrstvě dále do exteriéru už nedochází k tak významnému zlepšení – nachází se zde „plochá oblast“. Popsaný průběh zobrazuje obrázek 37 na detailu parapetu, který platí pro skladbu se zateplenou nosnou konstrukcí z materiálu s vyšší tepelnou vodivostí. U materiálu nosné konstrukce s nižším součinitelem tepelné vodivosti je průběh podobný, ale rozdíly mezi jednotlivými hodnotami

(zejména v rozsahu od interiéru do předsazení okna celou stavební hloubkou do izolace) jsou menší.



Obrázek 37 – Shrnutí předběžné výpočetní analýzy (typický graf pro ŽBK+EPS)

Z výsledků vyplývá, že optimální poloha vzhledem k oběma sledovaným veličinám je předsazení okenní výplně tak, aby byla celou stavební hloubkou v rovině tepelné izolace. Vzhledem k tomu, že většina dnes nabízených oken má stavební hloubku 80 – 90 mm. Můžeme tedy předpokládat za optimální předsazení 90 mm.

Získané poznatky jsou dále aplikovány při provedení podrobné výpočetní analýzy. Na základě předběžné výpočetní analýzy jsou vytipovány hloubky osazení okna, pro které jsou v podrobné výpočetní analýze prováděny výpočty. Hlavním cílem výpočtů je zpřesnění hodnot obou sledovaných veličin na podrobných modelech oken, obvodové stěny včetně odpovídajícího systému montáže. V podrobné výpočetní analýze je sledován vliv okenní výplně, materiálu zdiva a podkladního profilu na sledované veličiny. Podrobnější popis je uveden v následující kapitole, která se touto analýzou zabývá.



4.4 Podrobná výpočetní analýza

Zatímco první část byla zaměřena na výpočty zjednodušené s postupným posunem okna od interiéru do exteriéru, druhá část výpočetní analýzy byla prováděna s podrobnými modely okna a okolní konstrukce pouze s vybranými hloubkami osazení. Cílem těchto výpočtů bylo zjistit nejnižší vnitřní povrchové teploty stavební konstrukce a lineární činitele prostupu tepla pro přesné modely včetně namodelovaného systému pro předsazenou montáž. Zde se na rozdíl od první části vzájemně porovnávají přesné hodnoty různých řešení a vyhodnocují se dle normových požadavků.

Ve výpočtech je zastoupeno pět typů oken, čtyři varianty obvodového pláště a výpočty jsou prováděny pro klasickou montáž (tedy s předsazením 0 mm) a pro předsazenou montáž s předsazením 90 mm (optimální poloha vzhledem k oběma sledovaným veličinám dle kapitoly 4.3) a 160 mm (optimální poloha vzhledem k lineárnímu činiteli prostupu tepla dle kapitoly 4.3) Pro předsazenou montáž bylo vybráno systémové řešení Tremco – illbruck a to na základě toho, že nabízí řešení pro předsazenou montáž s různým vyložení.

4.4.1 Výpočetní modely oken

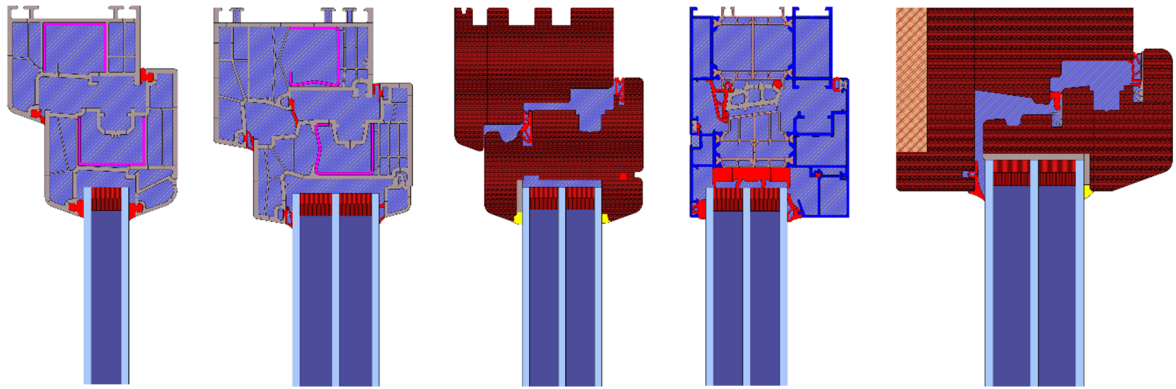
Hlavním cílem použití přesných modelů různých typů oken je zjištění vlivu typu okna na sledované veličiny. Prvním krokem při výběru oken, které byly použity ve výpočetní analýze, bylo provedení takzvaného průzkumu trhu. Byl prozkoumán sortiment 24 výrobců oken a bylo zjištěno jaká okna a s jakými tepelně technickými vlastnostmi nabízejí. Nakonec byla vybrána firma PKS okna, protože má ve svém sortimentu plastová, dřevěná i hliníková okna a také autor této práce současně prováděl výpočetní analýzu pro tuto firmu, která úzce tematicky souvisela s touto prací. Dále byla vybraná firma Slavona, kvůli progresivnímu oknu, které nabízí a toto okno je vhodné pro použití v pasivních domech. Dokumentace výběru oken, která jsou použita ve výpočtu, je uvedena v příloze (Příloha 7).

Ve výběru oken je zastoupeno klasické **plastové okno** s profilem, který má nejnižší součinitel prostupu tepla z nabízených oken a současně hodnota součinitele prostupu tepla okna vyhovuje doporučené hodnotě pro pasivní domy. Dalším vybraným oknem je **plastové okno** se součinitelem prostupu tepla, který bez rezervy vyhoví normou doporučené hodnotě. Dále bylo vybráno firmou nabízené nejlepší **dřevěné okno** a **hliníkové okno**. Posledním vybraným oknem je **Slavona Progression**, dřevěné okno vhodné do pasivních domů, u kterého se u ostění a nadpraží okenní rám ze strany exteriéru celý překrývá zateplovacím systémem.

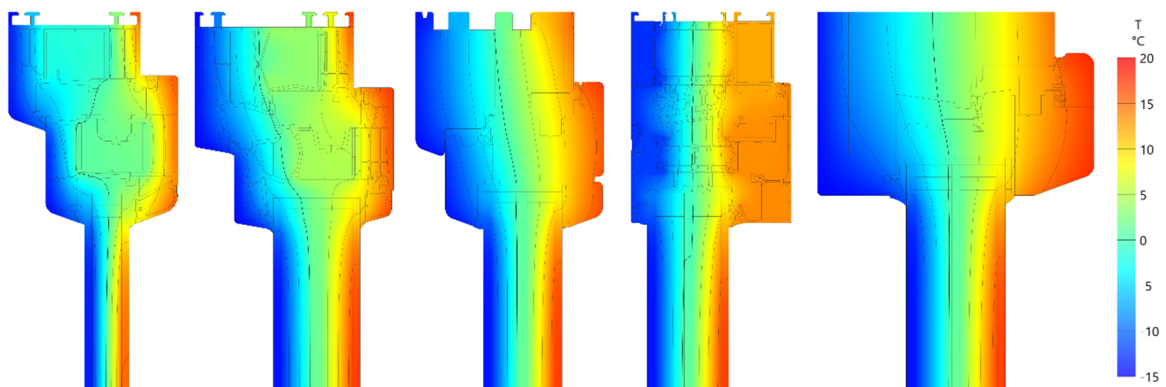
Seznam vybraných oken včetně součinitele prostupu tepla okna:

- **Plastové okno 88** $U_w = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
- **Plastové okno 71** $U_w = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
- **Dřevěné okno 88** $U_w = 0,77 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
- **Hliníkové okno 86** $U_w = 0,96 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$
- **Slavona Progression** $U_w = 0,72 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$

Podrobné výpočetní modely oken byly vytvořeny na základě výkresové dokumentace poskytnuté výrobcem. Materiálové vlastnosti byly zadávány v souladu s ČSN 73 0540-3 a vzduchové dutiny byly modelovány v souladu s ČSN EN ISO 10077-2. Tepelné vodivosti použitých materiálů jsou uvedeny v příloze (Příloha 3). Obrázek 38 zobrazuje výpočetní modely použitých oken pro detail nadpraží (ostění) a obrázek 39 jejich teplotní pole.



Obrázek 38 - Výpočetní modely použitých oken pro nadpraží a ostění



Obrázek 39 - Teplotní pole výpočetních modelů použitých oken pro nadpraží a ostění

Na teplotních polích je dobře viditelné rozdílné rozložení teplot v profilu rámu. U plastových oken dochází v částech přiléhajících do interiéru a exteriéru k velkým změnám teplot a vnitřní část s ocelovými výztuhami tvoří relativně velkou oblast s mírnými změnami teplot. V případě dřevěných oken jsou teploty téměř rovnoměrně rozloženy v řezu rámu od interiéru do exteriéru. U hliníkového okna je v částech přiléhajících k interiéru a k exteriéru, které tvoří hliníkový profil, teplota blízká prostředí, ke kterému tato část přiléhá, k největší teplotní změně dochází v přerušovači tepelného mostu.

Tento podrobnější pohled na teplotní pole okenních rámu a úvaha nad rozdílnými teplotními vodivostmi může prozradit mnohé pro následující výpočetní analýzu. Například to, že u detailu nadpraží s hliníkovým oknem příliš nepomůže k eliminaci prostupu tepla připojovací spárou překrytí rámu izolací, ale pouze předsazení okna.

4.4.2 Modelování ostatních částí detailu

Stavební konstrukce byla modelována podrobně, byly modelovány všechny vrstvy obvodového pláště včetně omítek, stěrek a lepidel. Vnitřní a vnější parapet byl modelován podle skutečných výrobků běžně dostupných na trhu. Dále byl modelován nosný a zateplovací profil systému pro předsazenou montáž, tepelně izolační výplň připojovací spáry a komprimační pásy. Vnitřní a vnější páska, uzávěry připojovací spáry, byly zanedbány, protože vzhledem k tloušťce materiálu neovlivňují vedení tepla. Tepelné vodivosti použitých materiálů jsou uvedeny v příloze (Příloha 3).

U obou plastových oken byl modelován v detailu parapetu komorový podkladní profil a u plastového okna 88 byla přidána ještě alternativa s podkladním profilem z Compacfoamu. U hliníkového okna byl u detailu parapetu použit také podkladní profil z Compacfoamu. Dřevěné a progresivní okno byly modelovány bez podkladních profilů. Všechny podkladní profily byly modelovány přesně podle výkresové dokumentace výrobců.

V této výpočetní analýze jsou zastoupeny čtyři typy skladeb obvodové stěny:

- Železobeton tl. 200 mm + expandovaný polystyren tl. 260 mm
- Vápenopískové zdivo tl. 200 mm + expandovaný polystyren tl. 260 mm
- Pórobetonové zdivo tl. 250 mm + expandovaný polystyren tl. 240 mm
- Železobeton tl. 200 mm + expandovaný polystyren tl. 160 mm

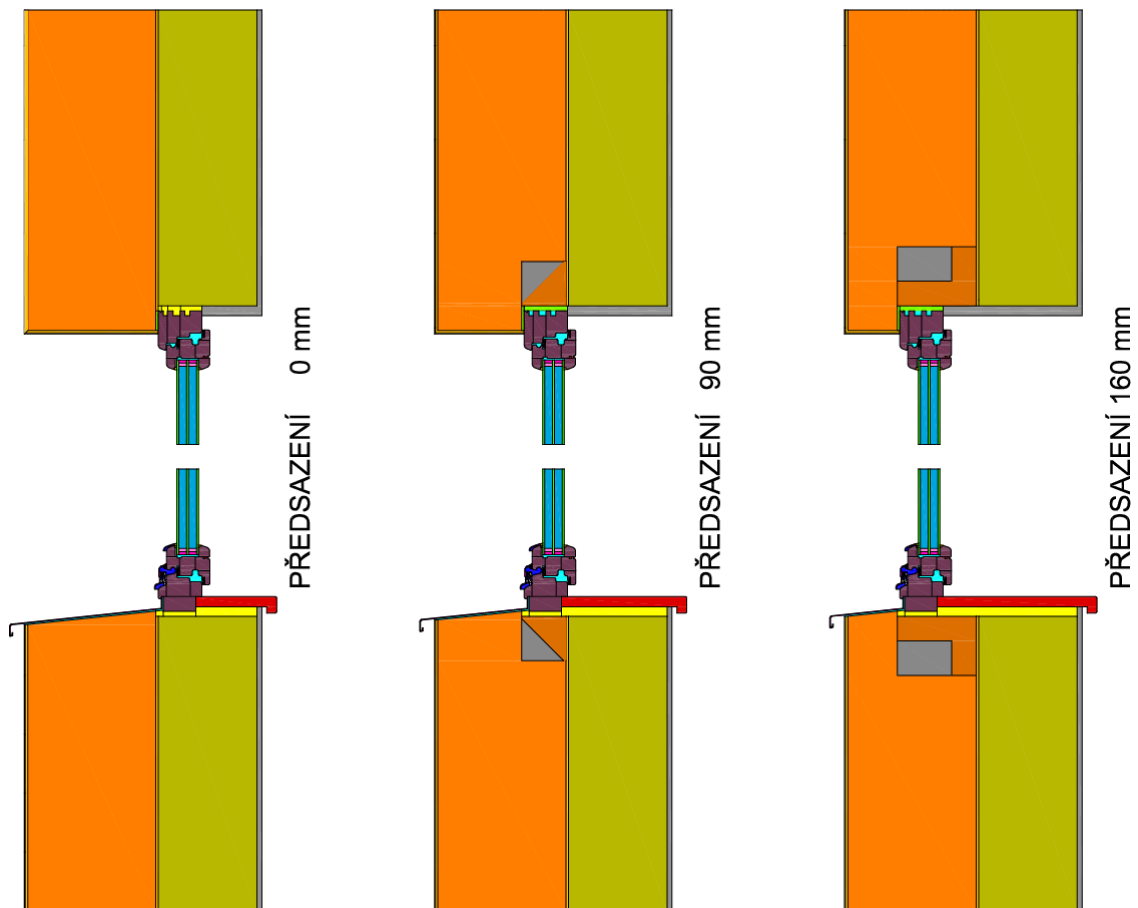
Tři z nich jsou shodné se skladbami v předběžné výpočetní analýze, s tím rozdílem, že zde jsou modelovány podrobně včetně omítek, stěrek a lepidel. U těchto skladeb je tedy možné srovnání se zjednodušeným modelem. Nově přidaná skladba je zdivo z vápenopískových cihel tloušťky 200 mm s izolací z expandovaného polystyrenu tloušťky 260 mm. Tato skladba byla přidána, protože se jedná o často používanou skladbu u pasivních domů. Obrázek 40 zobrazuje schéma kombinací oken a skladeb obvodového pláště, pro které byly prováděny výpočty ve 2D teplotním poli.

ŽBK 200 mm + EPS 260 mm	VPC 200 mm + EPS 260 mm	Pórobeton 250 mm + EPS 240 mm	ŽBK 200 mm + EPS 160 mm
<ul style="list-style-type: none"> •Plastové okno 71 •Plastové okno 88 •Plastové okno 88 + CF 	<ul style="list-style-type: none"> •Plastové okno 71 •Plastové okno 88 •Plastové okno 88 + CF •Dřevěné okno 88 •Hliníkové okno 86 + CF •Slavona Progression 115 	<ul style="list-style-type: none"> •Plastové okno 71 •Plastové okno 88 •Plastové okno 88 + CF 	<ul style="list-style-type: none"> •Plastové okno 71 •Plastové okno 88 + CF

Obrázek 40 - Schéma kombinací oken a skladeb obvodového pláště ve výpočtech



Všechny výše uvedené kombinace byly modelovány a počítány s předsazením 0 mm, 90 mm a 160 mm. Obrázek 41 zobrazuje schéma výpočetních modelů pro jednu vybranou kombinaci – dřevěné okno ve vápenopískovém zdivu. Jedná se o výřezy výpočetních modelů, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.



Obrázek 41 - Příklad výpočetních modelů pro jednu kombinaci (dřevěné okno 88 + vápenopískové zdivo)

U obou skladeb se železobetonovou stěnou byly uvažovány stejné detaily pro nadpraží i ostění. V případě vápenopískového zdiva byl také uvažován stejný detail pro nadpraží i pro ostění, a to z důvodu malého rozdílu hodnot součinitele tepelné vodivosti železobetonu a vápenopískových tvarovek, ze kterých se překlád skládá. U pórobetonového zdiva byl vzhledem k velkému rozdílu hodnot součinitele tepelné vodivosti železobetonu a pórobetonových tvarovek modelován i detail nadpraží s překladem. Lineární činitel byl v tomto případě počítán tak, aby zahrnoval pouze styk okenní výplně a stavební konstrukce, nikoliv překlád. (Při odečítání tepelné propustnosti stěny byla použita hodnota z výpočtu ve 2D teplotním poli, kde byla namodelována stěna s překladem o předpokládané délce.)

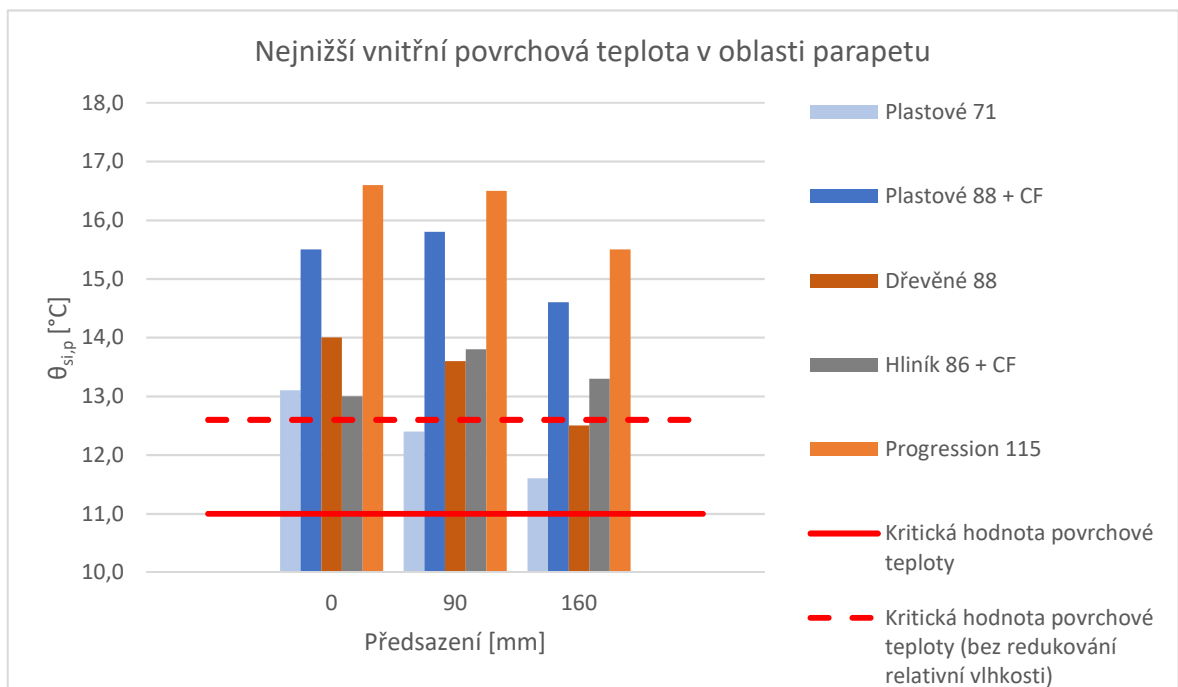
4.4.3 Vliv okenní výplně na sledované veličiny

Tato podkapitola hodnotí vliv okenní výplně na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu a na lineární činitel prostupu tepla u detailů s osazenou okenní výplní. Zkoumaná okna (viz 4.4.1) byla porovnávána při osazení do druhé varianty skladby obvodového pláště - tedy vápenopískového zdiva s tepelnou izolací. Vyhodnocení vlivu okenní výplně na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu v oblasti parapetu zobrazuje obrázek 42 a v oblasti nadpraží obrázek 43. U plastového okna 71 se potvrzuje zjištění z předběžné analýzy, a to že se nedoporučuje jeho použití pro předsazenou montáž z důvodu nízké hodnoty nejnižší vnitřní povrchové teploty stavební konstrukce, která je velice blízká hodnotě kritické povrchové teploty. Plastové okno 71 má z vybraných oken nejvyšší hodnotu součinitele prostupu tepla rámu, to je viditelné i při porovnání nejnižší vnitřní povrchové teploty v oblasti parapetu a v oblasti nadpraží, kde u nadpraží je hodnota výrazně vyšší. Výrazné zlepšení je způsobeno zejména překrytím rámu tepelnou izolací. Podobné zlepšení hodnot nejnižší vnitřní povrchové teploty v oblasti nadpraží oproti parapetu se nachází i u dřevěného okna. Zde je to výsledkem efektu překrytí rámu okna izolací a zároveň tím, že parapetní část okna má méně příznivou hodnotu součinitele prostupu tepla rámu oproti rámu u nadpraží a ostění.

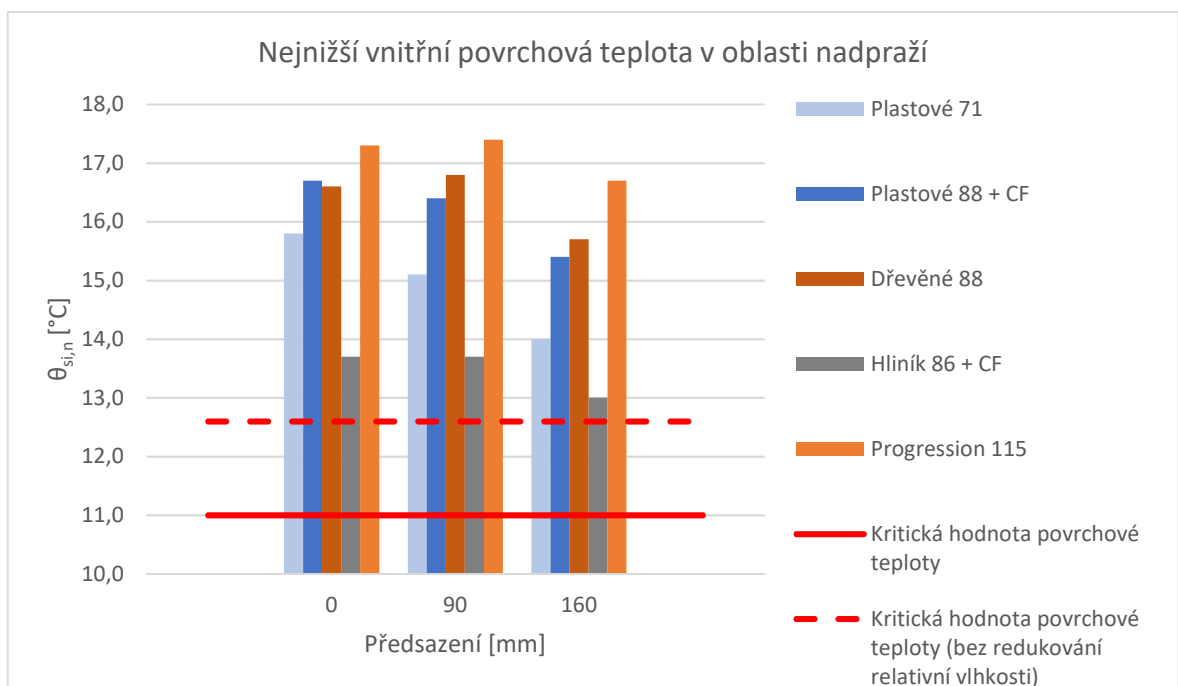
Hliníkové okno vykazuje celkově nižší povrchové teploty. U hliníkového okna jsou hodnoty nejnižších vnitřních povrchových teplot v oblasti parapetu podobné jako v oblasti nadpraží. Překrytí rámu okna izolací zde nezvyšuje hodnotu nejnižší vnitřní povrchové teploty vzhledem k hodnotě součinitele tepelné vodivosti hliníku, která je v porovnání s hodnotou pro tepelnou izolaci zhruba pět tisíckrát vyšší a hliník tedy i s přeizolováním teplo odvede.

Z hlediska nejnižších vnitřních povrchových teplot je nejlepší plastové okno 88 a Slavona Progression. Tato dvě okna dosahují velice vysokých hodnot diskutované veličiny již v oblasti parapetu a v oblasti nadpraží dochází pouze k drobnému zlepšení zejména vlivem přeizolování rámu. Pouze nepatrné zlepšení vlivem přeizolování svědčí v případě plastového okna 88 o kvalitním profilu rámu a zejména o kvalitním podkladním profilu (zde byl použit podkladní profil z Compacfoamu).

U okna Slavona Progression, které vykazuje nejlepší výsledky z hlediska povrchové teploty, je to ovlivněno také kvalitním profilem rámu a vhodným řešením detailů. Velice dobré řešení detailu spočívá v maximálním překrytí rámu okna izolací. Rám okna je v oblasti nadpraží a ostění překryt celý tepelnou izolací (přeizolování ≈ 90 mm) a v oblasti parapetu alespoň částečně tak, aby bylo možné bez problému osadit parapet.



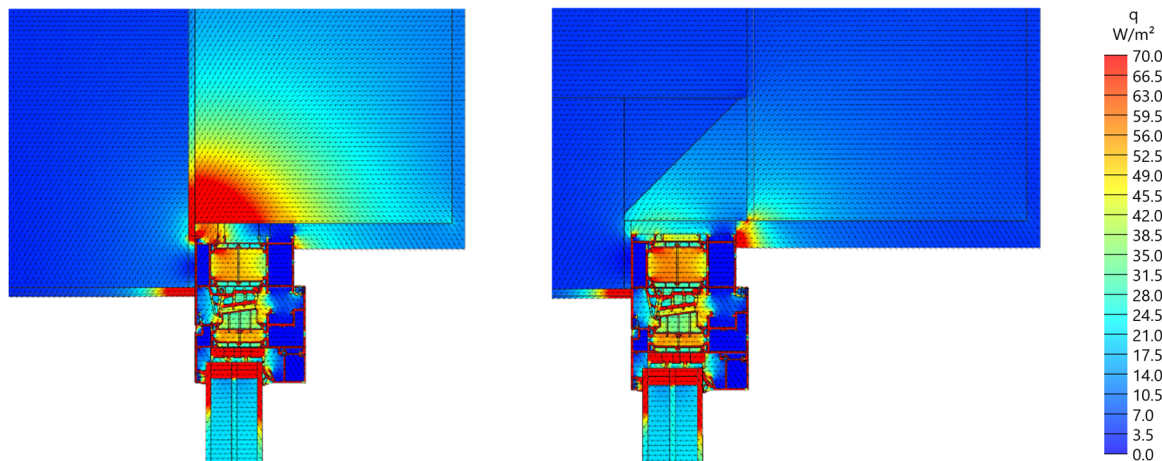
Obrázek 42 - Vliv okenní výplně na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu v oblasti parapetu



Obrázek 43 - Vliv okenní výplně na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu v oblasti nadpraží

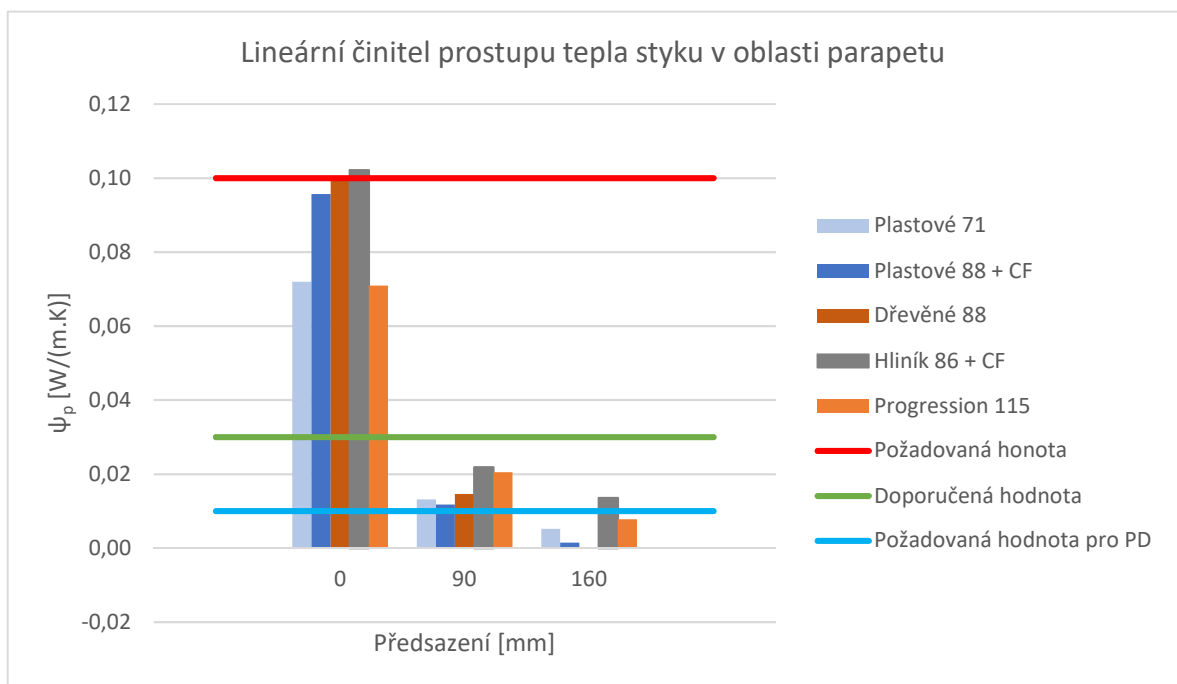
Vyhodnocení vlivu okenní výplně na lineární činitel prostupu tepla v oblasti parapetu zobrazuje obrázek 45 a v oblasti nadpraží obrázek 46. Detail s plastovým oknem 71 vykazuje nízký lineární činitel prostupu tepla. To je ale dáno tím, že má oproti ostatním oknům výrazně vyšší součinitel prostupu tepla, nikoliv kvalitou řešení detailu. Vyplývá to ze způsobu výpočtu (viz 3.2).

Dále se zde potvrzuje úvaha, že překrytí rámu izolací v případě hliníkového okna téměř neeliminuje tepelný tok v oblasti připojovací spáry a jediný způsob jak tepelný tok eliminovat je přesazení okna. To ilustruje obrázek 44 pomocí hustoty tepelných toků u klasické a přesazené montáže. Zejména u klasické montáže je dobře viditelné jak hliníkový profil „přemostňuje“ překrytí rámu izolací.

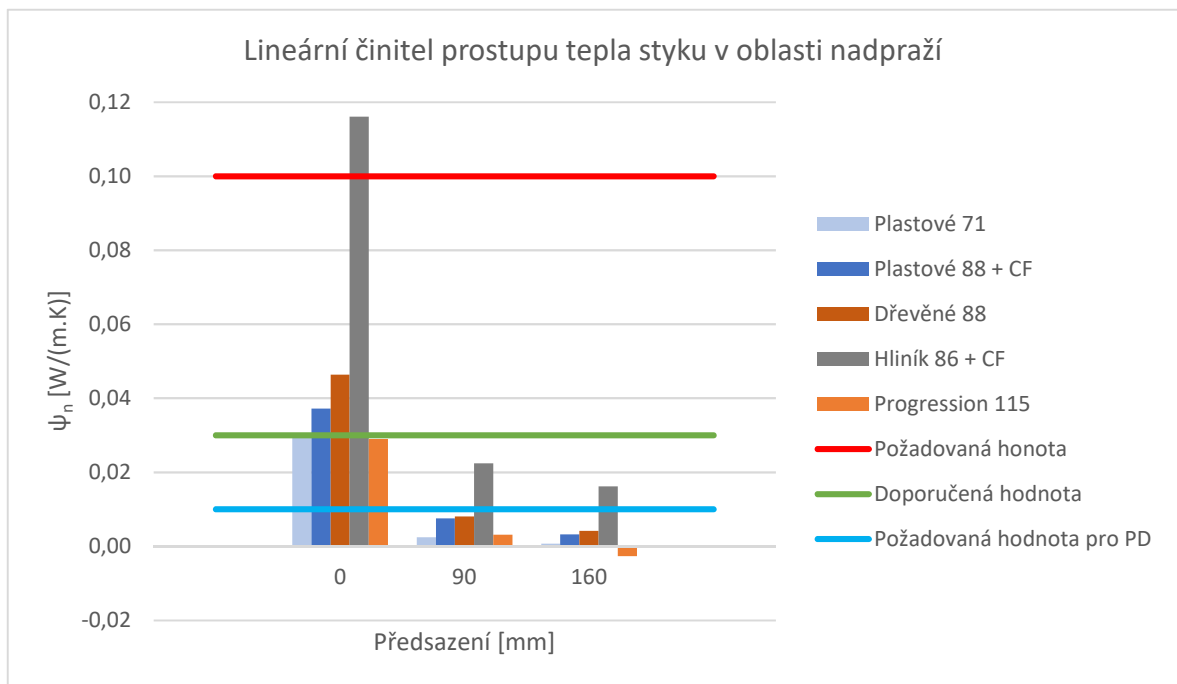


Obrázek 44 - Porovnání hustoty tepelných toků u hliníkového okna bez přesazení a s přesazením

Dle následujících grafů je lineární činitel prostupu tepla vyšší v oblasti nadpraží, tedy tam, kde je rám překryt izolací. Tento jev ale souvisí s podkladním profilem. V oblasti parapetu je modelován podkladní profil z Compacfoamu, který má nižší tepelnou vodivost než polyuretanová pěna, která tvoří výplň připojovací spáry u nadpraží.

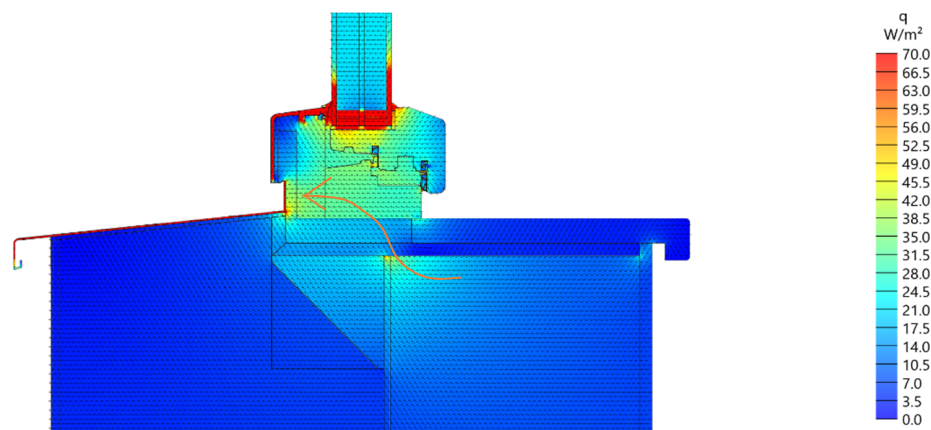


Obrázek 45 - Vliv okenní výplně na lineární činitel prostupu tepla styku v oblasti parapetu



Obrázek 46 - Vliv okenní výplně na lineární činitel prostupu tepla styku v oblasti nadpraží

Okno Slavona Progression má velice dobré řešení detailu parapetu, které u klasické montáže má v porovnání s ostatními nízkou hodnotu lineárního činitele prostupu tepla. Při předsazení 90 mm je tato hodnota v porovnání s ostatními okny horší, a to je pravděpodobně způsobeno větší stavební hloubkou, která není celá předsazená do prostoru tepelné izolace. Tím dochází ke zvýšení přidaného tepelného toku na styku okenní výplně a obvodové stěny jak ilustruje obrázek 47 na hustotě tepelného toku.



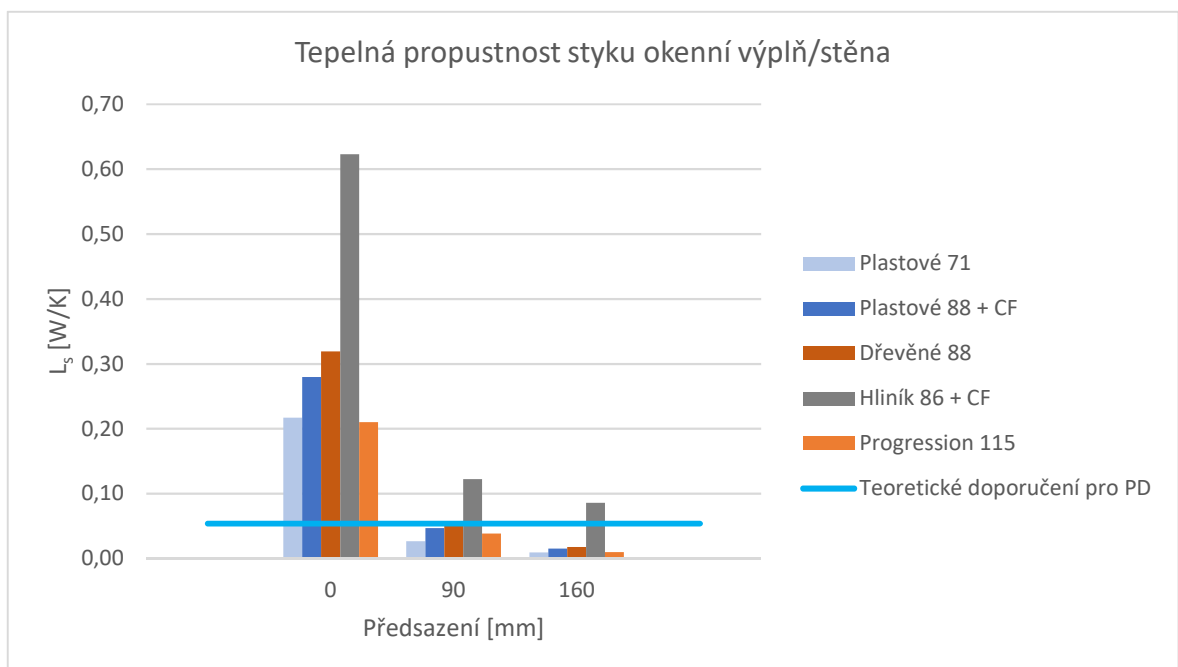
Obrázek 47 - Vyšší přidaný tepelný tok vlivem nepředsazení okna celou stavební hloubkou do tepelné izolace

Při zhodnocení lineárních činitelů prostupu tepla lze u detailu parapetu konstatovat, že u klasické montáže se dosahuje normou požadovaných hodnot. U předsazení 90 mm hodnoty lineárních činitelů klesají téměř na doporučenou hodnotu pro pasivní domy a při předsazení 160 mm je doporučení pro pasivní domy splněno. U detailu

nadpraží klasická montáž mírně překračuje doporučenou hodnotu lineárního činitele prostupu tepla a doporučení pro pasivní domy splňuje předsazení 90 mm i 160 mm. V této podkapitole byly doposud hodnoceny zvláště detaily parapetu a nadpraží (ostění). Při hodnocení lineárního činitele prostupu tepla pro předsazení 90 mm nesplnilo žádné okno doporučenou hodnotu pro pasivní domy. U detailu nadpraží (tedy i ostění) byla, s výjimkou hliníkového okna, tato hodnota naopak všemi ostatními okny s rezervou splněna.

Obrázek 48 však zobrazuje výsledky, které se vztahují k celému obvodu okenní výplně o rozměrech 1,48 m x 1,23 m (výpočet viz kapitola 3.4.1). Modrá úsečka značí hodnotu tepelné propustnosti připojovací spáry, která byla spočtena pro teoretickou okenní výplň, u které je lineární činitel prostupu tepla styku v oblasti parapetu, nadpraží i ostění roven doporučené hodnotě pro pasivní domy. Pokud bychom osazená okna (kromě hliníkového) při předsazení 90 mm hodnotili podle této hodnoty, tak by všechna okna vyhověla. Jednodušeji řečeno, přidaný tepelný tok styku v oblasti parapetu, který nesplňuje doporučení pro pasivní domy, vykompenzuje hodnota nižšího přidaného tepelného toku v oblasti nadpraží a ostění. Tato problematika je dále podrobněji řešena v kapitole 6.1.

Výsledky potvrzují, že nejefektivnější řešení z pohledu eliminace tepelných ztrát připojovací spárou nabízí okno Slavona Progression, zejména díky vhodnému řešení detailů s přeizolováním. Ovšem při předsazení okna jsou rozdíly v tepelné propustnosti připojovací spáry mezi jednotlivými typy oken nevýznamné s výjimkou hliníkového okna.



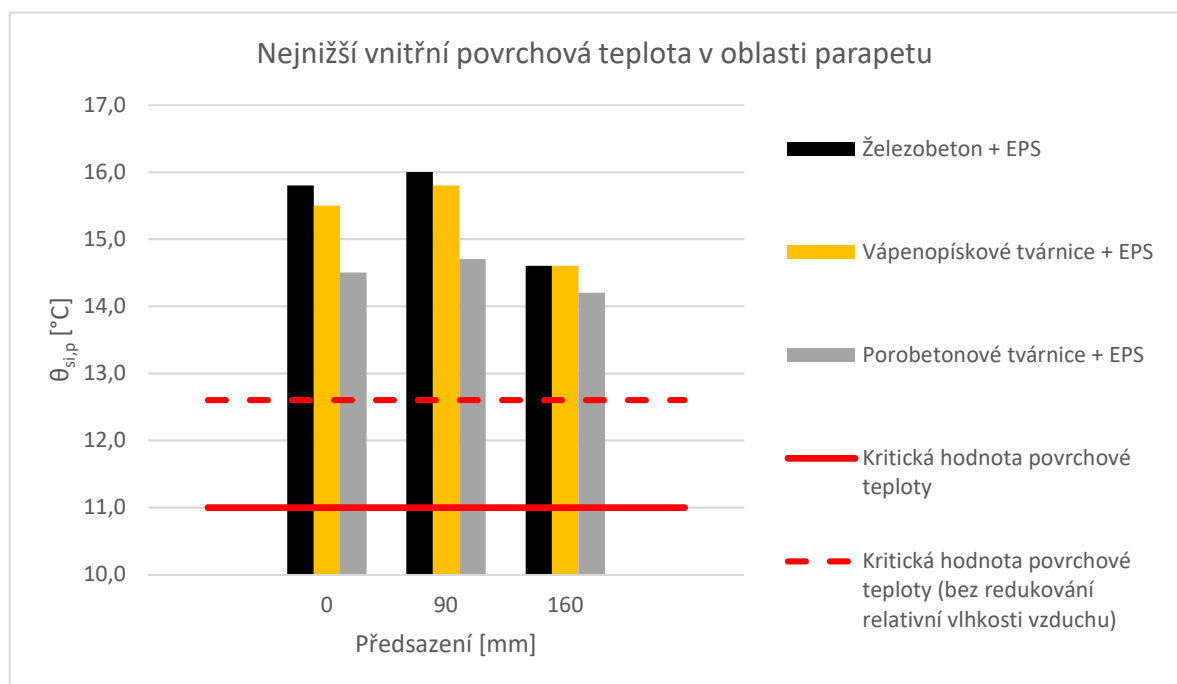
Obrázek 48 - Vliv okenní výplně na tepelnou propustnost styku po obvodu celého okna

4.4.4 Vliv materiálu nosné konstrukce na sledované veličiny

Tato podkapitola hodnotí vliv materiálu nosné konstrukce na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu a na lineární činitel prostupu tepla styku u detailů. Zde jsou zrekapitulovány vybrané materiály zdiva doplněné hodnotami součinitele tepelné vodivosti:

- Železobeton $\lambda = 1,58 \text{ W/(m.K)}$
- Vápenopískové zdivo $\lambda = 1,00 \text{ W/(m.K)}$
- Pórobetonové zdivo $\lambda = 0,20 \text{ W/(m.K)}$

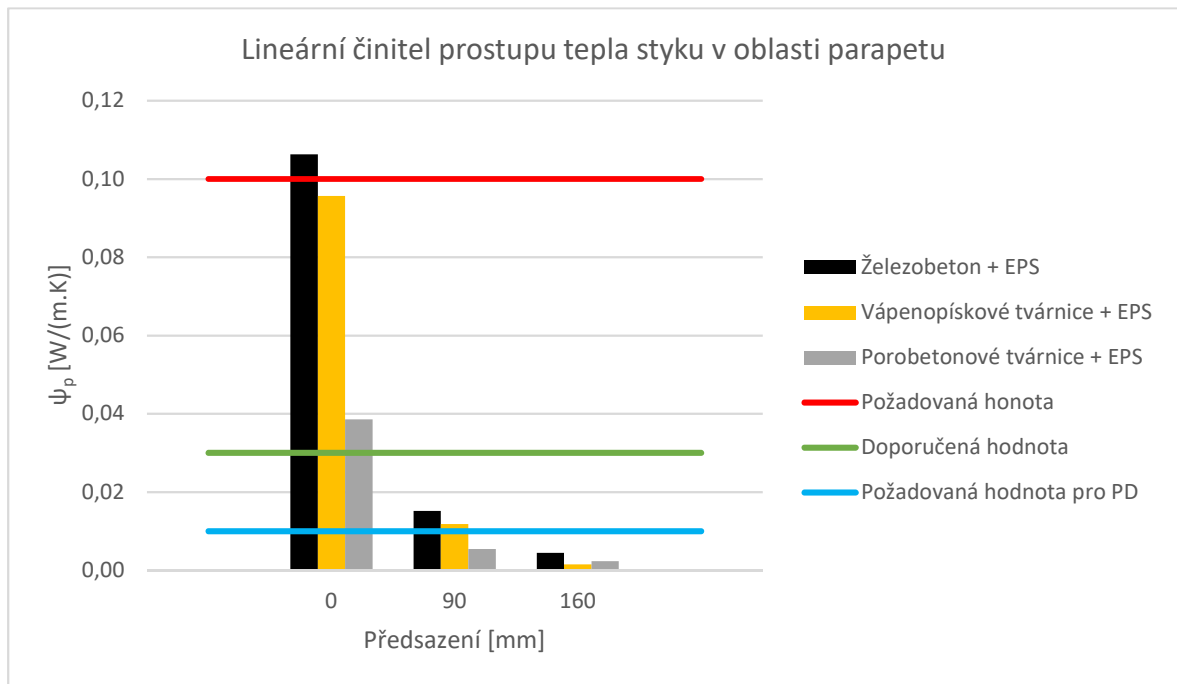
Pro porovnání vlivu materiálu zdiva bylo vybráno plastové okno 88 s podkladním profilem z Compacfoamu. Obrázek 49 zobrazuje vliv materiálu zdiva na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu u detailu parapetu. Z grafu je viditelné, že čím větší součinitel tepelné vodivosti materiál má, tím vyšší je povrchová teplota v oblasti parapetu, protože materiál lépe prohřívá sledovanou oblast. V případě předsazení o 160 mm, kdy je okno vysazeno vnitřním lícem rámu 72 mm od vnějšího líce zdiva, jsou rozdíly nejnižší vnitřní povrchové teploty nevýznamné.



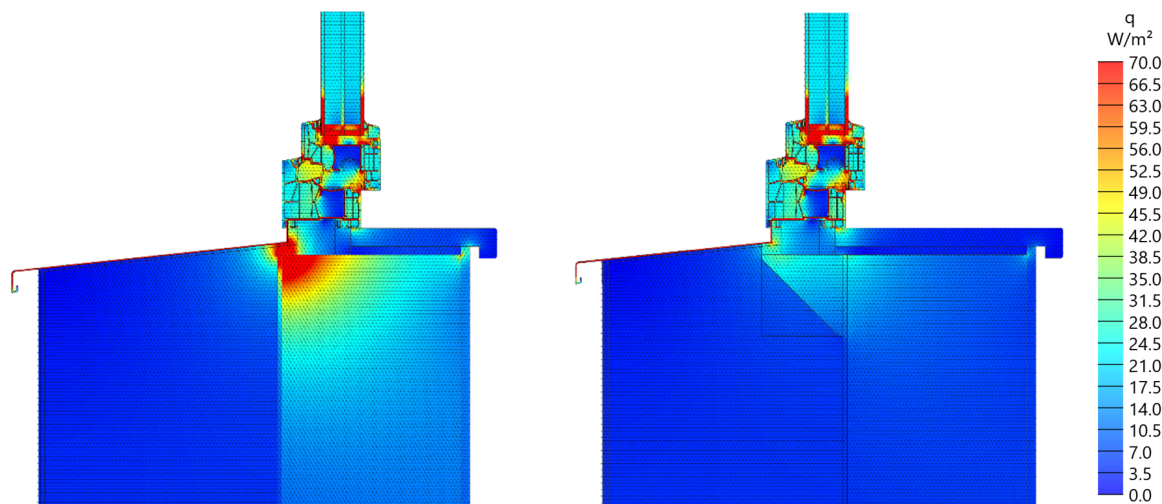
Obrázek 49 - Vliv materiálu zdiva na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu v oblasti parapetu

Vyhodnocení nejnižší vnitřní povrchové teploty pro detail nadpraží je srovnatelné s detailem parapetu, pouze s rozdílem, že v případě nadpraží jsou všechny teploty přibližně o 1°C vyšší vlivem přeizolování rámu okna. Graf je uveden v příloze (Příloha 8). Obrázek 50 zobrazuje vliv materiálu zdiva na lineární činitel prostupu tepla styku u detailu parapetu. Oproti železobetonu a vápenopískovému zdivu jsou zde vidět příznivé výsledky u pórobetonového zdiva, kde lze bez předsazení téměř dosáhnout doporučené hodnoty u detailu parapetu. Významné rozdíly jsou zde dle očekávání pouze u nulového předsazení, kde je vstup tepla na styku okenní výplně a obvodové stěny

výrazně ovlivněn materiálem zdiva, jak ilustruje obrázek 51 pomocí tepelných toků detailem ve variantě se železobetonovou stěnou.

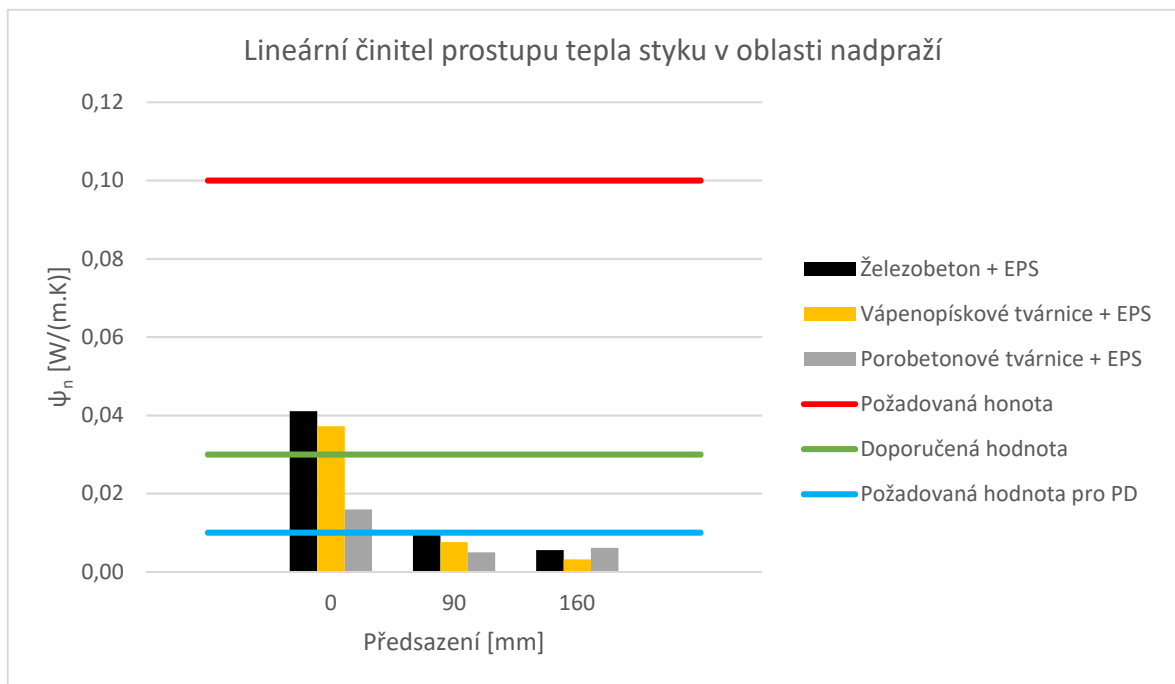


Obrázek 50 - Vliv materiálu zdiva na lineární činitel prostupu tepla styku v oblasti parapetu



Obrázek 51 - Vliv materiálu zdiva a zvýšený tepelný tok u styku okenní výplně a obvodové stěny

Obrázek 52 zobrazuje vliv materiálu zdiva na lineární činitel prostupu tepla styku u detailu nadpraží. Rozdíly hodnot lineárního činitele prostupu tepla jsou z výše popsaného důvodu také největší u nulového předsazení. Oproti detailu parapetu jsou rozdíly výrazně nižší a to vlivem přeizolování okenního rámu.



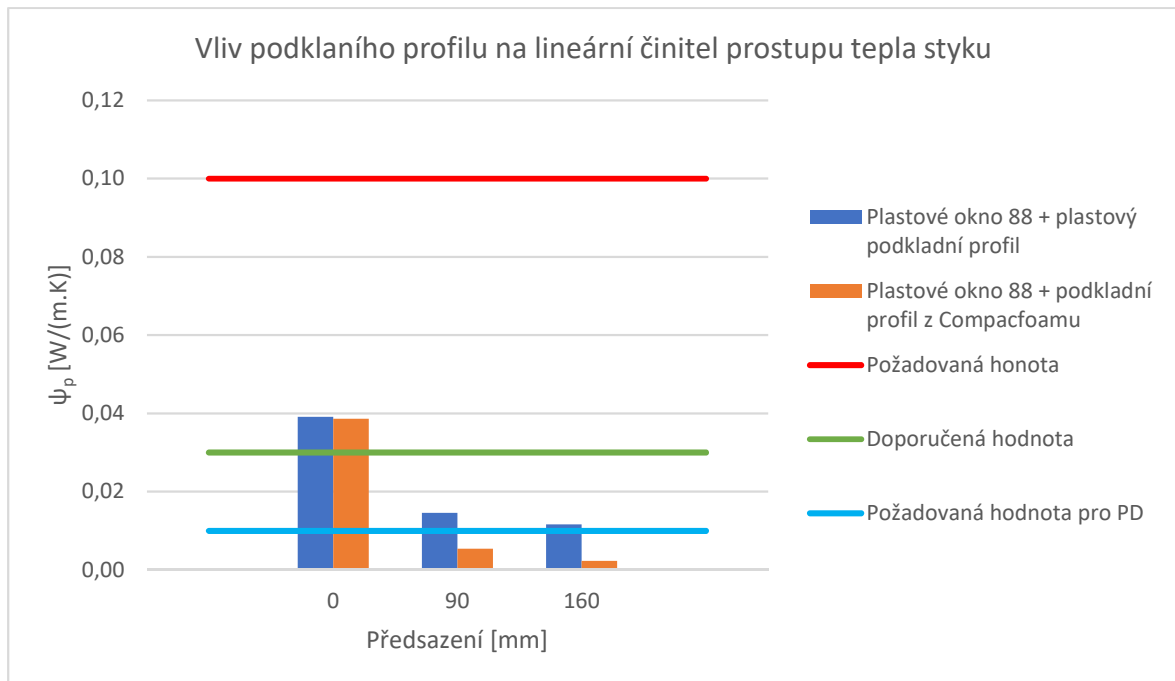
Obrázek 52 - Vliv materiálu zdiva na lineární činitel prostupu tepla v oblasti nadpraží

4.4.5 Vliv podkladního profilu

Tato podkapitola hodnotí vliv podkladního profilu zejména na lineární činitel prostupu tepla u detailu parapetu. Již v předchozích kapitolách byl zjištěn jeho pozitivní vliv na povrchovou teplotu, nyní je třeba více rozebrat možnou eliminaci prostupu tepla. Z provedených výpočtů vyplývá, že při použití podkladního profilu například z Compacfoamu, který má nižší tepelnou vodivost než klasický komorový podkladní profil dodávaný s oknem, můžeme částečně snížit přidaný tepelný tok na styku okenní výplně a stěnové konstrukce v případě předsazené montáže. U klasické montáže není jeho použití efektivní vzhledem k nesouvislé rovině tepelné izolace.

Obrázek 53 vyhodnocuje použití dvou zmíněných podkladních profilů u varianty se skladbou, kde nosnou konstrukci tvoří pórobetonové tvárnice. I přes to, že se jedná o vhodný materiál z hlediska nízké tepelné vodivosti, není zde v případě klasické montáže viditelný efekt eliminace přidaného tepelného toku. Je to také ovlivněno výškou připojovací spáry. Při použití běžného řešení, a to komorového podkladního profilu s polyuretanovou pěnou, je připojovací spára vyšší než v případě, že ji tvoří pouze podkladní profil z Compacfoamu. U klasické montáže je také ukládání okna na podkladní profil z Compacfoamu problematické z důvodu obtížného dodržení rovinnosti a vodorovnosti podkladu – parapetu okenního otvoru.

Výměna podkladního profilu u klasické montáže, tedy nevede k výraznému zlepšení lineárního činitele prostupu tepla, protože většina přidaného tepelného toku vlivem osazení okna prochází materiálem zdiva, jak zobrazuje obrázek 51 vlevo, a ne přímo připojovací spárou.



Obrázek 53 - Vliv podkladního profilu na lineární činitel prostupu tepla styku

4.4.6 Shrnutí výsledků podrobné analýzy

Cílem podrobné výpočetní analýzy bylo vyhodnocení hodnot nejnižších vnitřních povrchových teplot a lineárních činitelů prostupu tepla získaných z podrobných výpočetních modelů.

Z podrobné výpočetní analýzy vyplývá:

- 1) Plastové okno 71 se nedoporučuje pro předsazenou montáž z důvodu nízké hodnoty nejnižší vnitřní povrchové teploty v oblasti parapetu, která je blízká kritické vnitřní povrchové teplotě.
- 2) U hliníkového okna nelze eliminovat hodnotu lineárního činitele prostupu tepla a zvýšit hodnotu nejnižší vnitřní povrchové teploty překrytím rámu izolací. V případě klasické montáže je hodnota lineárního činitele prostupu tepla styku jak u parapetu, tak u nadpraží i ostění vysoká. Účinně lze lineární činitel eliminovat pouze předsazením, nicméně při předsazení nelze dosáhnout výsledků jako u ostatních typů oken.
- 3) Okno Slavona Progression má u posuzovaných detailů nejpříznivější hodnoty sledovaných veličin z oken, která byla zahrnuta do výpočtu. Nejnižší vnitřní povrchové teploty stavební konstrukce u detailů s touto okenní výplní dosahují vysokých hodnot. Hodnota tepelné propustnosti styku po celém obvodu okenní výplně má nejnižší hodnotu ze všech oken. To je dáno zejména vhodným řešením detailů překrytím rámu okna izolací. V oblasti nadpraží a ostění je rám překryt v celé šířce a v oblasti parapetu alespoň částečně tak, aby bylo možné bez problému osadit parapet.

- 4) Čím je materiál nosné konstrukce vodivější, tím vyšší je hodnota nejnižší vnitřní povrchové teploty stavební konstrukce. S předsazením se tento vliv snižuje.
- 5) U klasické montáže je lineární činitel prostupu tepla styku v oblasti parapetu ovlivněn zejména materiálem nosné konstrukce (viz obrázek 51). Záměna podkladního profilu za podkladní profil s nižší tepelnou vodivostí příliš nezlepší lineární činitel prostupu tepla styku. Přínosná v tomto případě může být úprava detailu parapetu, kde dojde k částečnému překrytí rámu izolací.
- 6) Přidaný tepelný tok u klasické montáže na styku okenní výplně a obvodové stěny, kde nosnou či výplňovou vrstvu tvoří pórobetonové tvárnice, je cca o 60 % nižší než u skladeb s železobetonem a vápenopískovým zdivem. Při předsazení se tento rozdíl snižuje.

Na základě výsledků lze také doporučit předsazení oken o 90 mm, a to z následujících důvodů:

- Nejnižší vnitřní povrchová teplota je v této pozici okna velmi příznivá.
- Zlepšení lineárního činitele prostupu tepla styku je významné oproti klasické montáži. Je to dáno tím, že většina oken je při tomto předsazení vysazena celou stavební hloubkou mimo nosnou (tepečně vodivější) konstrukci.
- Hodnota lineárního činitele prostupu tepla styku v oblasti parapetu sice nespĺňuje doporučení pro pasivní domy, ale vykompenzuje ji výrazně nižší hodnota lineárního činitele prostupu tepla styku v oblasti nadpraží a ostění.
- Toto předsazení (≈ 90 mm) umožňují všechny v České republice používané systémy pro předsazenou montáž. (viz kapitola 2.3.2)

Vybrané výsledky z této podrobné výpočetní analýzy jsou dále použity v kapitole Tepelná propustnost 6.1, kde jsou lineární činitele prostupu tepla přepočítávány na další veličiny, které souvisejí s celým obvodem okenní výplně o určitých rozměrech. Na základě výsledků jsou pak vysvětlovány další souvislosti.

4.5 Vliv změny R_{si} na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu

Třetí část a zároveň poslední část 2D výpočetní analýzy je věnována vlivu odporu při přestupu tepla na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu stavební konstrukce.

U tepelně technických výpočtů detailů s okenními výplněmi, kterými se tato práce zabývá, se používají, stejně jako u ostatních tepelně technických výpočtů, odpory při přestupu tepla. V těchto výpočtech počítáme pouze s vedením tepla, nikoliv s prouděním a sáláním. Z tohoto důvodu jsou zavedeny odpory při přestupu tepla, aby bylo možné do výpočtu zahrnout přestup tepla z vnitřního prostředí na vnitřní povrch konstrukce a také z vnějšího povrchu konstrukce do vnějšího prostředí.

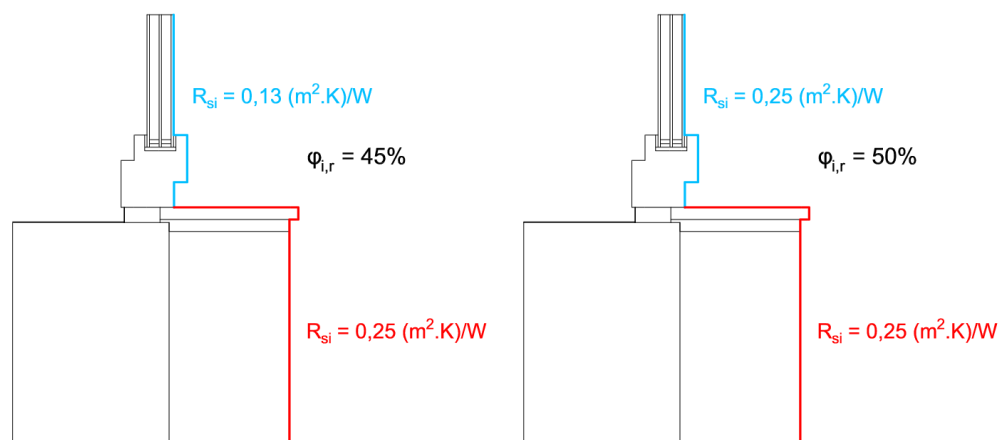
Hodnoty odporů při přestupu tepla na vnitřní straně, kterými se tato analýza zabývá, jsou pro výpočty nejnižší vnitřní povrchové teploty dány normou ČSN 73 0540-3: [11]

- Na vnitřní straně pro výplně otvoru: $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
- Na vnitřní straně pro stavební konstrukce: $R_{si} = 0,25 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$

Z experimentální studie tepelně technického chování balkonových dveří v oblasti parapetu vychází doporučení pro výpočetní hodnocení. Toto doporučení vzniklo na základě porovnání výsledků experimentu a výpočtů parametrické studie a navrhuje sjednocení hodnot odporů při přestupu tepla na vnitřní straně: [39]

- Na vnitřní straně pro výplně otvoru: $R_{si} = 0,25 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
- Na vnitřní straně pro stavební konstrukce: $R_{si} = 0,25 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$

Dále také tato studie doporučuje používat při výpočtu teploty odpovídající kritickému teplotnímu faktoru návrhovou relativní vlhkost vnitřního vzduchu v zimním období dle ČSN 73 0540-3 $\varphi_i = 50\%$ a nikoliv relativní vlhkost vnitřního vzduchu pro stanovení požadavku na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu konstrukce dle ČSN 73 0540-2, která v tomto případě je $\varphi_{i,r} = 45\%$.



Obrázek 54 - Výpočet dle normy (vlevo), výpočet dle doporučení na základě experimentu (vpravo)

Cílem této analýzy je výpočet vlivu odporu při přestupu tepla na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu stavební konstrukce a zároveň srovnání normového posouzení detailu a posouzení detailu na základě výše zmíněných doporučení.

4.5.1 Vyhodnocení výpočtů

Pro tento účel byl vybrán jeden detail z předchozí kapitoly, jednalo se o dřevěné okno 88 osazené ve skladbě s vápenopískovým zdivem a předsazené o 90 mm. U tohoto detailu byla sjednocena hodnota odporu při přestupu tepla na okenní výplni a stavební konstrukci a postupně měněna v rozsahu 0,13 – 0,40 (m².K)/W.

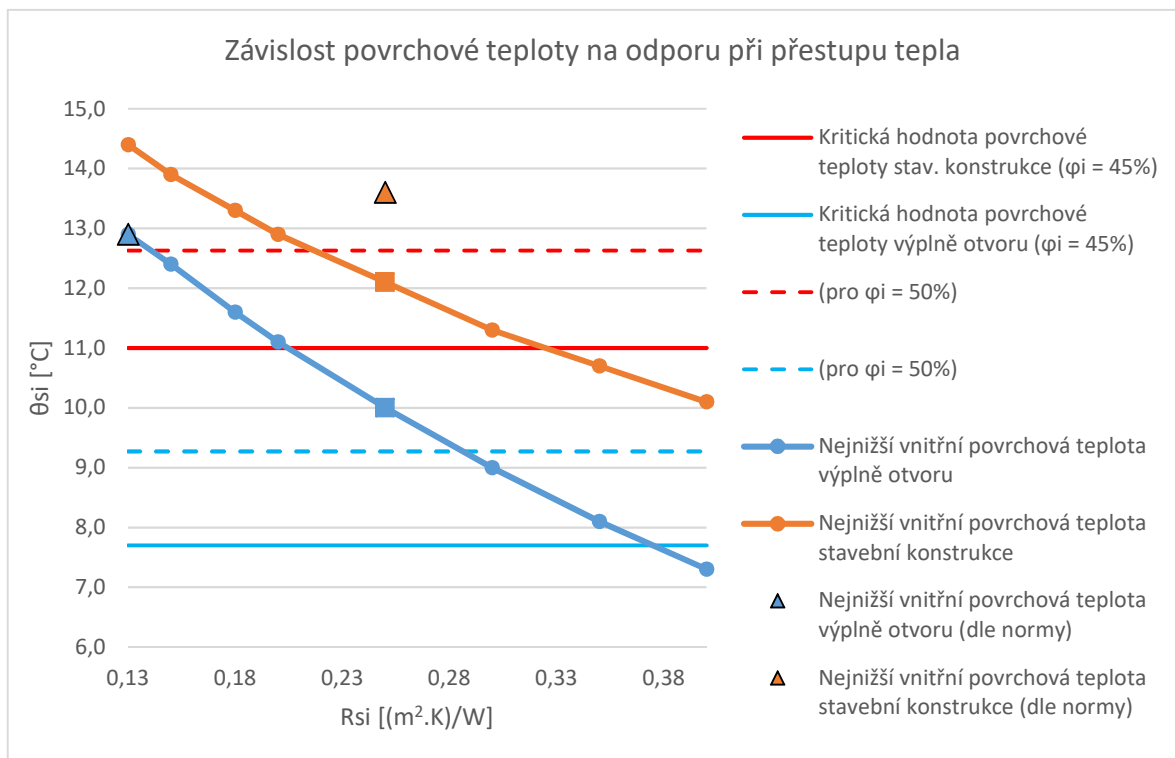
Obrázek 55 zobrazuje závislost nejnižší vnitřní povrchové teploty na odporu při přestupu tepla na vnitřní straně.

Vyhodnocení dle normy ČSN 73 0540-2:

Oranžový trojúhelník zobrazuje výslednou hodnotu nejnižší vnitřní povrchové teploty stavební konstrukce a červená plná čára hodnotu teploty odpovídající kritickému teplotnímu faktoru. Vypočtená povrchová teplota tedy splní požadavek normy s rezervou 2,6°C.

Vyhodnocení dle doporučení na základě experimentu:

Oranžový čtverec zobrazuje výslednou hodnotu nejnižší vnitřní povrchové teploty stavební konstrukce a červená čárkovaná čára hodnotu teploty odpovídající kritickému teplotnímu faktoru. Vypočtená povrchová teplota je zde nižší, a to v důsledku navýšení odporu při přestupu tepla na povrchu okenní výplně z $0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ na $0,25 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$. V důsledku tohoto navýšení okenní výplň méně prohřívá kritické místo, které je na styku okenní výplně a stavební konstrukce. Tedy vlivem navýšení odporu při přestupu tepla na vnitřní straně okenní výplně se redukuje tepelný tok okenní výplně a klesá povrchová teplota okenní výplně. Pokles teploty se projeví i ve sledované oblasti nejnižší vnitřní povrchové teploty stavební konstrukce, která je v těsné blízkosti povrchu okenní výplně. Dále je zde také díky vyšší hodnotě relativní vlhkosti vnitřního vzduchu vyšší požadovaná hodnota nejnižší vnitřní povrchové teploty. Nejnižší vnitřní povrchová teplota v tomto případě nevyhoví o $0,5^\circ\text{C}$.



Obrázek 55 - Vliv odporu při přestupu tepla na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu

4.5.2 Hodnocení výsledků

Odpor při přestupu tepla má značný vliv na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu. Vyjádření intenzity sdílení tepla mezi vnitřním prostředím a vnitřním povrchem u detailů s okenní výplní (stanovení hodnoty odporu při přestupu tepla na vnitřní straně) je celkem problematické, protože je ovlivněno celou řadou vlivů. Jedním z vlivů je například způsob sdílení tepla od systému vytápění. Jelikož však ve zmíněném experimentu nebylo pod parapetem umístěno otopné těleso, můžeme uvažovat doporučení jako bezpečná.

Mezi další vlivy patří také způsob využití parapetu. Ten ilustruje obrázek 56. Při způsobu využití, který je v pravé části obrázku se patrně zvýší hodnota odporu při přestupu tepla a tím také sníží nejnižší vnitřní povrchová teplota v oblasti parapetu. Pokud by bylo v pravé části obrázku okno, pro jehož detail parapetu byl výpočet prováděn na předchozím grafu, hodnota nejnižší vnitřní povrchové teploty v oblasti parapetu by se nacházela v pravé části oranžové křivky, kde jsou hodnoty nejnižších vnitřních povrchových teplot pro vyšší hodnoty odporu při přestupu tepla.

Je třeba, ale připomenout, že výpočet je prováděn pro extrémní hodnoty teploty venkovního vzduchu, které pokud během roku nastanou, tak trvají pouze krátký čas, za který pravděpodobně nedojde k růstu plísní.

Závěrem je třeba říci, že při vyhodnocení výpočtů nejnižší vnitřní povrchové teploty podle normy ČSN 73 0540-2 je vhodné splňovat požadavek normy s rezervou, která pokryje v případě správného užívání stavby nejistoty okrajových podmínek a případně odchylky v souvislosti s geometrickou přesností a skutečným provedením.



Obrázek 56 - Podmínky předpokládané výpočtem (vlevo), skutečné využití parapetu (vpravo) [Foto: autor]



5 Porovnání systémů předsazení

V kapitole, která představovala systémy předsazené montáže, již byly zmíněny dva přístupy či principy pro předsazení okna. Prvním je vytvoření sekundárního ostění, do kterého se následně provádí montáž okna podobným způsobem jako u klasické montáže do ostění nosného či výplňového zdiva. Druhým principem je montáž pomocí kotev, konzol či kotevních bodů. [3]

Cílem této kapitoly je porovnat dva systémy předsazené montáže z hlediska přídavného tepelného toku na styku okenní výplně a stěnové konstrukce. První, systém JB-D od firmy SFS Intec, řeší vykonzolování okna do roviny tepelné izolace pomocí ocelových konzol pro předsazenou montáž (obrázek 7). Druhým systémem je Tremco – illbruck, který byl již použit v podrobné výpočetní analýze, a vykonzolování okna řeší vytvořením sekundárního ostění z purenitových profilů (obrázek 9).

Vzhledem k tomu, že ocelová konzola je prostorový prvek, který je umisťován lokálně dle předepsaných vzdáleností, je nutné pro tuto výpočetní analýzu také použít výpočetní nástroj, který umožňuje výpočet ve 3D teplotním poli. Pro výpočty byl vybrán software CUBE 3D, který umožňuje výpočet třírozměrného stacionárního pole teplot. [40]

Tato výpočetní analýza byla rozdělena do třech částí:

- 1) Výpočet bodového činitele prostupu tepla pro konzolu v parapetu, ostění a nadpraží ve 3D teplotním poli
- 2) Výpočet lineárního činitele prostupu tepla styku okenní výplně a stěnové konstrukce pro oba dva systémy ve 2D teplotním poli
- 3) Výpočet tepelné propustnosti styku okenní výplně a obvodové stěny pro typickou velikost okna pro oba systémy a vzájemné porovnání

Na úvod jsou zde uvedeny součinitele tepelné vodivosti materiálů, které jsou důležité v této výpočetní analýze:

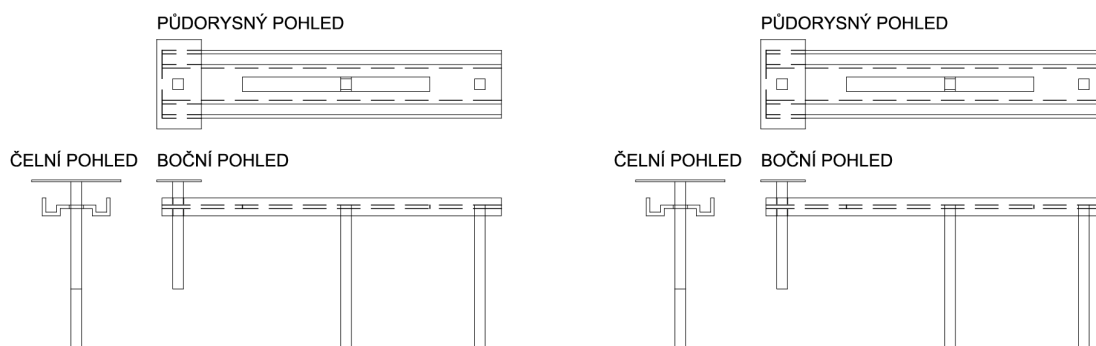
- Ocel $\lambda = 50,000 \text{ W}/(\text{m.K})$
- Purenit $\lambda = 0,080 \text{ W}/(\text{m.K})$
- Expandovaný polystyren $\lambda = 0,038 \text{ W}/(\text{m.K})$

5.1 Výpočet bodového činitele prostupu tepla konzoly

Pro výpočet bodového činitele prostupu tepla konzoly pro předsazenou montáž byl nejprve podle rozměrů vzorku vytvořen geometrický model konzoly. Celkem byly vytvořeny dva geometrické modely a jednalo se o nejpoužívanější typ konzol o délce 188 mm, který lze použít pro předsazení oken o 90 mm. První model je pro konzolu JD-DK, která se používá k upevnění okna v oblasti parapetu a druhý model je pro konzolu JB-D, která se používá pro upevnění okna u ostění a nadpraží. Obrázek 57 zobrazuje konzolu JB-DK a JB-D včetně upevňovacích prvků. Obrázek 58 zobrazuje schéma výpočetního modelu.

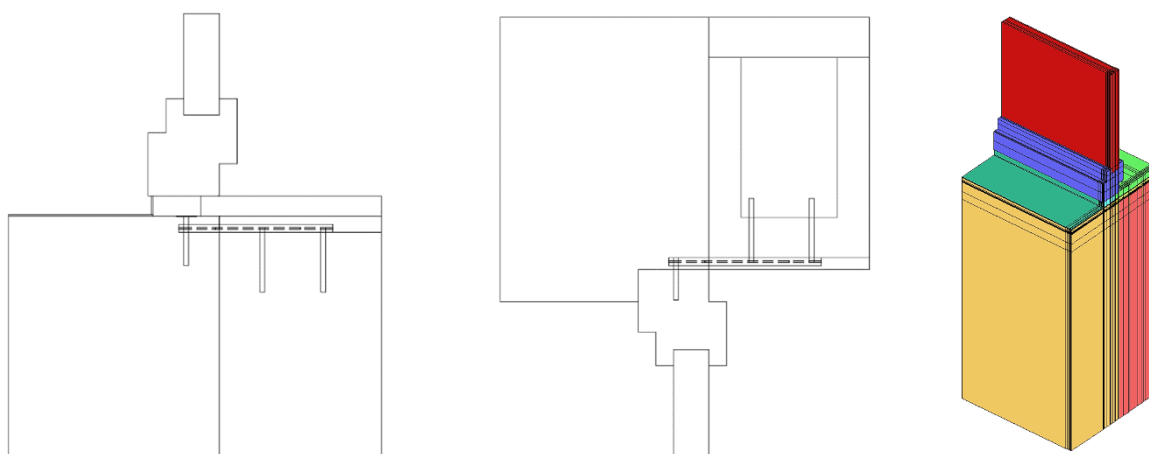


Obrázek 57 - Konzola JB-DK pro parapet (vlevo), konzola JB-D pro nadpraží a ostění (vpravo) [Foto: autor]



Obrázek 58 - Výpočetní model konzoly JB-DK (vlevo), výpočetní model konzoly JB-D (vpravo)

Pro účel výpočtu byl převzat zjednodušený výpočetní model z předběžné výpočetní analýzy s modelovým oknem 88 (kapitola 4.3). Bylo upraveno předsazení okna na 90 mm a geometrie byla dále zjednodušena, aby bylo možné detail jednoduše namodelovat a také aby byly efektivně využity osy výpočetní sítě v softwaru CUBE 3D. Tento upravený 2D výpočetní model byl „protažen“ do třetího rozměru jak ilustruje obrázek 59 vpravo a byl do něj vložen model konzoly. V oblasti mezi konzolou a rámem okna v prostoru tepelné izolace byla namodelována vzduchová dutina na šířku konzoly, protože je zřejmé, že při realizaci zateplení zde tato dutina vznikne při dotlačení tepelné izolace k rámu okna. Následně byly provedeny dva výpočty - jeden s konzolou a druhý bez konzoly (samozřejmě také bez dutiny). Odečtením tepelných propustností detailu s konzolou a detailu bez konzoly byla získána hodnota bodového činitele prostupu tepla konzoly. Zmíněný postup výpočtu byl použit u detailu parapetu, ostění a nadpraží. Obrázek 59 zobrazuje vlevo schéma umístění konzoly u detailu parapetu a u detailu nadpraží. V případě detailu ostění je umístění stejné, pouze zde není překlad. Vzhledem k symetrii konzoly nebyl modelován celý výsek styku okenní výplně a obvodového pláště s konzolou uprostřed, ale pouze symetrická polovina tohoto výseku, jejíž výsledná hodnota tepelné propustnosti byla pro účely výpočtu bodového činitele prostupu tepla násobena dvěma.



Obrázek 59 - Osazení konzoly ve výpočetním modelu parapetu a nadpraží (vlevo), pohled na 3D výpočetní model (vpravo)

Bodový číselník prostupu tepla konzoly pro předsazenou montáž:

- Pro detail parapetu $\chi_{\text{JB-DK}} = 0,003 \text{ W/K}$
- Pro detail nadpraží $\chi_{\text{JB-D}} = 0,006 \text{ W/K}$
- Pro detail ostění $\chi_{\text{JB-D}} = 0,006 \text{ W/K}$

Nízké hodnoty bodového číselníku prostupu tepla jsou dány tím, že ocelová konzola neprochází celou vrstvou tepelné izolace a do izolační vrstvy zasahuje jen částečně.

5.2 Výpočet lineárního číselníku prostupu tepla

Ve druhé části výpočtu byly počítány lineární číselníky prostupu tepla styku u obou systémových řešení pro detail parapetu, ostění a nadpraží. Výpočetní modely pro výpočet lineárních číselníků prostupu tepla byly vytvořeny ve stejné podrobnosti jako 3D model pro výpočet bodového číselníku prostupu tepla. Schémata všech výpočetních modelů jsou uvedena v příloze (Příloha 10). Tabulka 3 zobrazuje lineární číselníky prostupu tepla styku pro jednotlivé detaily.

Tabulka 3 - Lineární číselníky prostupu tepla detailů

Systém předsazené montáže	Detail	Tepelná propustnost detailu	Tepelná propustnost okna	Tepelná propustnost stěny	Lineární číselník prostupu tepla
		$L_{\text{det}} [\text{W}/(\text{m.K})]$	$L_{\text{okn}} [\text{W}/(\text{m.K})]$	$L_s [\text{W}/(\text{m.K})]$	$\psi [\text{W}/(\text{m.K})]$
Konzoly	Parapet	0,520	0,335	0,134	0,051
	Ostění	0,470	0,335	0,130	0,005
	Nadpraží	0,470	0,335	0,130	0,005
Sekundární ostění	Parapet	0,531	0,335	0,134	0,062
	Ostění	0,476	0,335	0,130	0,011
	Nadpraží	0,477	0,335	0,130	0,012

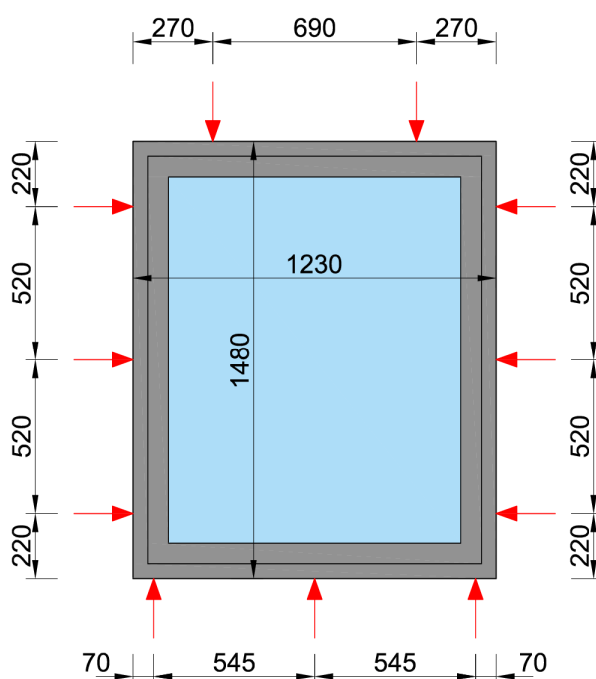
V této části byl zvolen odlišný způsob výpočtu lineárního činitele prostupu tepla než v části práce, která se zabývala 2D výpočetní analýzou. Ve 2D výpočetní analýze byla pomyslná hranice mezi okenní výplní a obvodovou stěnou vztahována vždy ke skla-
debným rozměrům, což je výhodné pokud hodnoty lineárních činitelů prostupu tepla slouží k využití pro energetické výpočty (viz kapitola 3.2).

Pro účel porovnání dvou systémů byla pomyslná hranice mezi okenní výplní a obvodovou stěnou vztažena již k okraji okenní výplně, a to z důvodu, že oba dva systémy mají odlišné řešení v oblasti připojovací spáry. Systém pro předsazenou montáž pomocí konzol se v praxi často provádí s „nulovou šířkou“ připojovací spáry (obrázek 59), ale u systému, který tvoří sekundární ostění, se provádí připojovací spára o šířce 10 – 15mm v závislosti na detailu.

5.3 Porovnání tepelných propustností

V poslední části výpočtů byly využity dosud získané hodnoty bodových a lineárních činitelů prostupu tepla pro porovnání dvou systémů předsazené montáže na okenní výplni, která má velikost normového okna (1,48 m x 1,23 m).

Pro uvažovaný rozměr okna bylo provedeno rozmístění konzol, jak zobrazuje obrázek 60, dle požadavků normy ČSN 74 6077 a v souladu s technickým listem výrobce.



Obrázek 60 - Schéma rozmístění konzol dle ČSN 74 6077 a technického listu výrobce

Bodové činitele prostupu tepla jednotlivých typů konzol byly vynásobeny počtem, který vyplývá ze schématu rozmístění (obrázek 60). Tabulka 4 zobrazuje výpočet, jehož výsledek vyjadřuje zvýšený tepelný tok konzolami.

Dále byla vypočtena tepelná propustnost styku okenní výplně a obvodové stěny po celém obvodu okenní výplně, a to sečtením vynásobených hodnot lineárních činitelů

prostupu tepla délkami příslušných lineárních tepelných vazeb (dle kapitoly 3.4.1). U systému předsazené montáže s konzolami byl ještě připočten zvýšený tepelný tok konzolami. Celý výpočet uvádí tabulka 5.

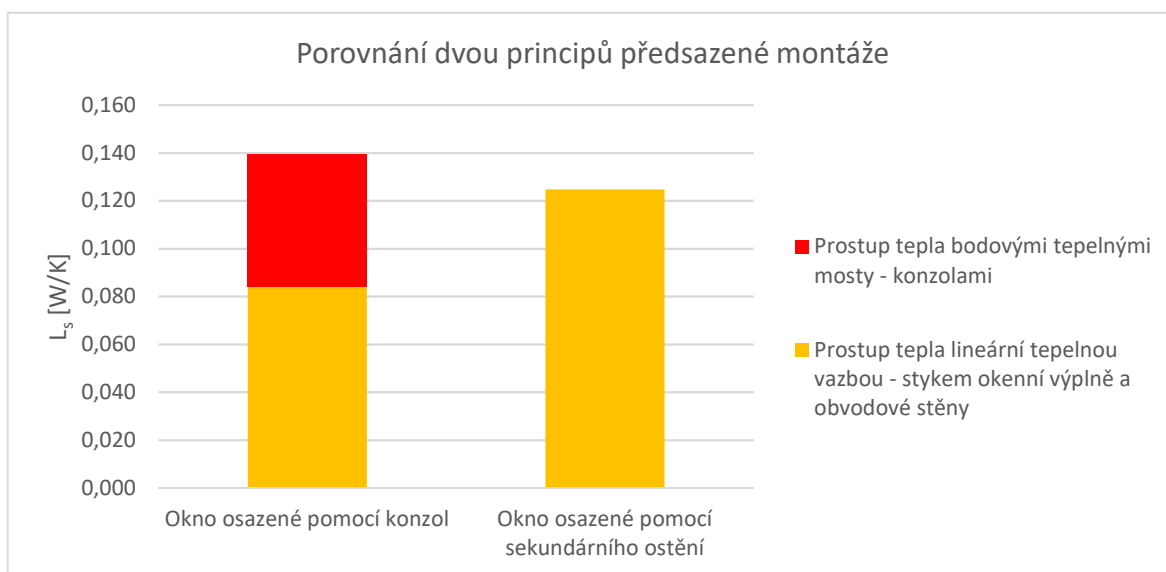
Tabulka 4 - Výpočet tepelného toku použitými konzolami

Typ konzoly (dle umístění)	Bodový činitel	Počet konzol	Součet
	χ [W/K]	[ks]	$\Sigma\chi_{\text{konzoly}}$ [W/K]
Parapet	0,003	3	0,008
Ostění	0,006	6	0,036
Nadpraží	0,006	2	0,012
Celkem			0,055

Tabulka 5 – Výpočet přidaného tepelného toku na styku okenní výplně a obvodové stěny

Systém montáže	Výška	Šířka	ψ_{parapet}	$L_{\text{par.}}$	$\psi_{\text{ostění}}$	$L_{\text{ost.}}$	$\psi_{\text{nadpraží}}$	$L_{\text{nadp.}}$	$\Sigma\chi$	L_s
	[m]	[m]	[W/(m.K)]	[W/K]	[W/(m.K)]	[W/K]	[W/(m.K)]	[W/K]	[W/K]	[W/K]
Konzoly	1,48	1,23	0,051	0,063	0,005	0,015	0,005	0,007	0,055	0,140
Sekund. ostění	1,48	1,23	0,062	0,076	0,011	0,034	0,012	0,015	-	0,125

Systém předsazené montáže pomocí konzol vykazuje větší tepelnou propustnost. Z toho vyplývá, že tepelné ztráty při použití tohoto systému budou mírně větší než při použití systému předsazené montáže, který vytváří sekundární ostění z purenitových profilů. Vzhledem k malému rozdílu hodnot tepelné propustnosti a také k tomu, že se jednalo o zjednodušený výpočet, můžeme oba dva systémy považovat za rovnocenné z pohledu prostupu tepla stykem okenní výplně a obvodové stěny.



Obrázek 61 - Porovnání systému předsazené montáže pomocí konzol a pomocí sekundárního ostění



5.4 Hodnocení výsledků

Cílem výpočtu bylo porovnat dva systémy předsazené montáže z hlediska přidaného tepelného toku na styku okenní výplně a stěnové konstrukce. Mezi dva nejdůležitější výsledky patří:

- Hodnoty bodových činitelů prostupu tepla
- Porovnání přidaného tepelného toku na styku okenní výplně a stěnové konstrukce

Nejdůležitějším výstupem nebyly přesné hodnoty veličin, ale získání představy o vlivu použití poměrně masivního ocelového prvku pro předsazenou montáž na tepelné ztráty stykem okenní výplně a stěnové konstrukce. Neméně důležité bylo také srovnání s použitím materiálu s hodnotou součinitele tepelné vodivosti blízkou tepelné izolaci, který není umístěn pouze lokálně, ale po celém obvodu okenní výplně. Jak již bylo uvedeno, vzhledem k malému rozdílu hodnot tepelné propustnosti připojovací spáry můžeme oba systémy považovat za srovnatelné.

Výsledky také dávají jistou představu vlivu ocelových prvků u ostatních systémů předsazené montáže. Nicméně u detailů, kde bude ocelová konzola či jiný prvek zasahovat více do vrstvy tepelné izolace, mohou být výsledky mnohem méně příznivé.

Možným pokračováním této analýzy může být zpřesnění výpočtu detailů ve 2D teplotním poli (s podrobností jako v podrobné výpočetní analýze v kapitole 4.4) pro získání přesnějších hodnot lineárních činitelů prostupu tepla. Následně dosazení získaných hodnot do výpočtu, který uvádí tabulka 5 s použitím již vypočtených bodových činitelů prostupu tepla.

6 Výpočet snížení tepelných ztrát

V podrobné výpočetní analýze v kapitole 4.4 bylo posouzeno velké množství detailů na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu a lineární činitel prostupu tepla. Ve vyhodnocení byly jednotlivé varianty detailů hodnoceny zejména z hlediska přidaného tepelného toku na styku okenní výplně a obvodové stěny (lineárním činitelem prostupu tepla), či případně byla vypočtena tepelná propustnost tohoto styku po celé délce okna. Tato kapitola navazuje na výsledky z podrobné výpočetní analýzy, vysvětluje jejich prostřednictvím další souvislosti a přepočítává je na „veličiny“, které jsou srozumitelnější a umožňují získání představy o možné úspoře i lidem nezabývajícím se problematikou stavební fyziky.

Hlavním cílem je vytvoření výpočetního nástroje (excelové kalkulačky), který vypočítá finanční úsporu v korunách za vytápění vlivem realizace předsazené montáže pro konkrétní dům. Prvním z důvodů pro vytvoření tohoto nástroje bylo kvantifikovat úsporu předsazené montáže. Druhým důvodem byla poptávka od jednoho z největších výrobců oken v České republice po kalkulačnický nástroj či výpočet, který bude kvantifikovat přínos předsazené montáže tak, aby to bylo srozumitelné pro zákazníky.

Tato kapitola odpovídá na poslední otázku ze seznamu v kapitole 1.3.

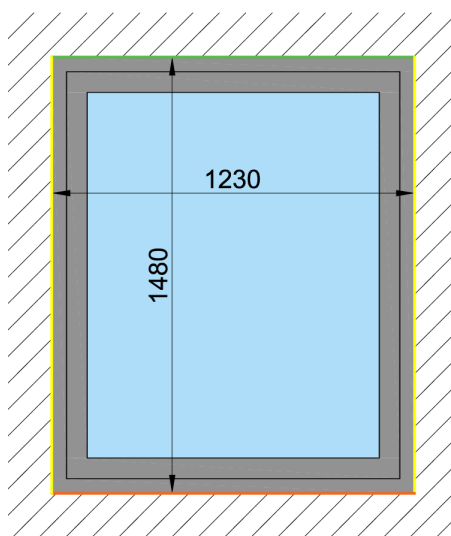
6.1 Tepelná propustnost styku okenní výplň/stěna

Tato podkapitola se zabývá tepelnou propustností styku okenní výplně a obvodové stěny (dále jen styku) a porovnává ji s tepelnou propustností celého okna – výrobku. Jedná se o porovnání jednotkových tepelných toků oknem a stykem při různém předsazení. Při hodnocení detailů v podrobné výpočetní analýze vykazoval vždy detail parapetu znatelně vyšší lineární činitel prostupu tepla než detail ostění či nadpraží. S tím byl spojený problém, že okno v určité poloze u detailu nadpraží splňovalo například doporučenou hodnotu pro pasivní domy, ale u detailu parapetu už nikoliv. Vzhledem k tomuto obtížnému hodnocení a také vzhledem k tomu, že tato kapitola již hodnotí tepelnou propustnost styku po celém obvodu okenní výplně je pro účel hodnocení zde zavedena hodnota „tepelné propustnosti styku pro okna normových rozměrů“ požadovaná, doporučená a doporučená pro pasivní domy. Tyto hodnoty uvádí tabulka 6 v pravém sloupci (L_s). Hodnota tepelných propustností vychází z požadavků normy na lineární činitele prostupu tepla. Tento způsob hodnocení byl pouze stanoven pro účely této práce, aby bylo možné hodnotit styk po celém obvodu okenní výplně. Schéma okna o normových rozměrech osazeného v konstrukci zobrazuje obrázek 62.



Tabulka 6 – Požadované a doporučené hodnoty „tepelných propustností styku pro okna normových rozměrů“

Normové okno	Výška	Šířka	Ψ_{parapet}	L_{parapet}	$\Psi_{\text{ostění}}$	$L_{\text{ostění}}$	$\Psi_{\text{nadpraží}}$	$L_{\text{nadpraží}}$	L_s
	[m]	[m]	[W/(m.K)]	[W/K]	[W/(m.K)]	[W/K]	[W/(m.K)]	[W/K]	[W/K]
Požadované	1,48	1,23	0,100	0,123	0,100	0,296	0,100	0,123	0,542
Doporučené	1,48	1,23	0,030	0,037	0,030	0,089	0,030	0,037	0,163
Dop. pro PD	1,48	1,23	0,010	0,012	0,010	0,030	0,010	0,012	0,054



Obrázek 62 - Okno normových rozměrů osazené do konstrukce

Při vyhodnocení výsledků vybraných variant z podrobné výpočetní analýzy (tabulka 7) dle požadavků, které definuje na základě výše zmíněných úvah tabulka 6, se dojde ke zjištění, že pro splnění hodnoty „tepelné propustnosti styku pro okna normových rozměrů“ doporučené pro pasivní domy postačí předsazení okna o 90 mm. Hodnoty, které vyhoví, jsou označeny zeleně.

Dále je v tabulce viditelné, že předsazením o 90 mm dochází k velkému snížení tepelné propustnosti styku po celém obvodu okenní výplně. U plastového okna 88 osazeného ve vápenopískovém zdivu se hodnota tepelné propustnosti styku při předsazení o 90 mm sníží o 82% z hodnoty tepelné propustnosti styku u klasické montáže. Při předsazení o 160 mm dojde také ke snížení tepelné propustnosti styku, ovšem přínos oproti předsazení o 90 mm není již tak znatelný.

Tabulka 7 zobrazuje také součinitele prostupu tepla pro okenní výplň se zahrnutím styku s obvodovou stěnou (U_{o+s}), které byly stanoveny pro skladebné rozměry okenního otvoru vzhledem k postupu výpočtu lineárních činitelů prostupu tepla (viz kapitola 3.2). Součinitel prostupu tepla okenní výplně se zahrnutím styku s obvodovou stěnou (U_{o+s}) je tedy stanoven pro stejnou oblast, ve které se při výpočtu lineárních činitelů prostupu tepla předpokládá okenní výplň s určitou hodnotou součinitele prostupu tepla okna (U_o). U_{o+s} zahrnuje i zvýšený tepelný tok stykem. Cílem stanovení tohoto

součinitele prostupu tepla bylo ukázat zvýšení prostupu tepla vlivem osazení okenních výplní na srozumitelné veličině.

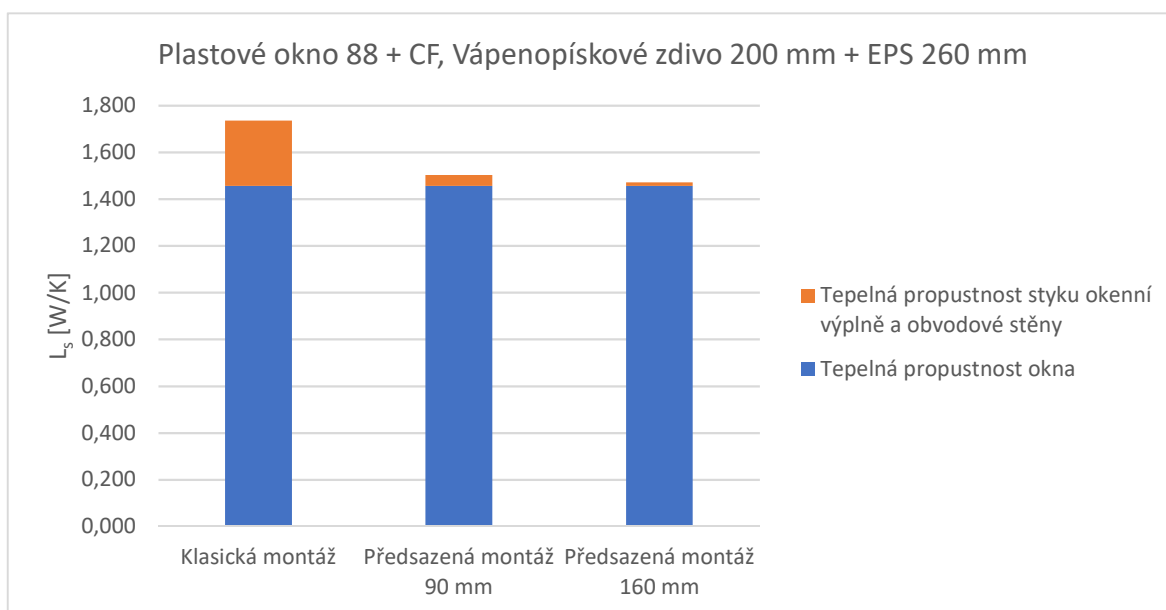
Z výsledků je tak viditelné, že klasická montáž poměrně výrazně zvyšuje prostup tepla okenní výplně, zahrne-li se přidaný tepelný tok stykem s obvodovou stěnou. Předsazením o 90 mm se hodnota U_{o+s} výrazně více přibližuje hodnotě U_o . Při předsazení o 160 mm dojde také k dalšímu přiblížení hodnot, ale již méně znatelnému. V případě již zmíněné varianty plastového okna 88 osazeného ve skladbě s vápenopískovým zdivem je při klasické montáži hodnota $U_{o+s} = 0,95 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, při předsazení o 90 mm pak $U_{o+s} = 0,82 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ což je výrazně bližší hodnota součiniteli prostupu tepla okna $U_o = 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Tabulka 7 - Porovnání tepelné propustnosti okna a styku okenní výplně a obvodové stěny

Skladba	Typ okna	Předsazení	Výška výrobku	Šířka výrobku	U_o	Ls	Zlepšení v porovnání s 0	L_{o+s}	U_{o+s}	Tep. ztráty – styk o.v./o.s.
		[mm]	[m]	[m]						
VPC (S2)	Slavona Progression	0	1,48	1,23	0,72	0,210	-	1,540	0,83	13,6
		90	1,48	1,23	0,72	0,038	82	1,369	0,74	2,8
		160	1,48	1,23	0,72	0,010	95	1,340	0,73	0,7
VPC (S2)	Plastové okno 88 + CF	0	1,48	1,23	0,80	0,279	-	1,800	0,95	15,5
		90	1,48	1,23	0,80	0,047	83	1,557	0,82	3,0
		160	1,48	1,23	0,80	0,016	94	1,525	0,81	1,0
Pórobeton (S3)	Plastové okno 88 + CF	0	1,48	1,23	0,80	0,121	-	1,642	0,86	7,4
		90	1,48	1,23	0,80	0,028	77	1,537	0,81	1,8
		160	1,48	1,23	0,80	0,027	78	1,537	0,81	1,8
ŽBK (S4)	Plastové okno 88 + CF	0	1,48	1,23	0,80	0,256	-	1,777	0,93	14,4
		90	1,48	1,23	0,80	0,022	91	1,532	0,81	1,4

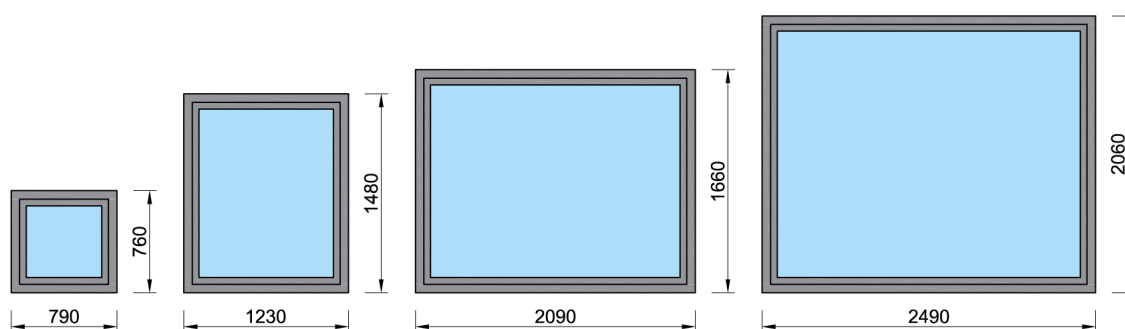
Obrázek 63 srovnává tepelnou propustnost okna a připojovací spáry. Je zde viditelný výše zmíněný závěr, že při předsazení o 90 mm se výrazně eliminuje tepelná propustnost styku. Zároveň je viditelné srovnání oproti tepelné propustnosti okna.

Porovnání bylo dosud zaměřeno na normový rozměr okna, který zároveň autor práce považuje za běžný rozměr okna.



Obrázek 63 – Porovnání tepelných propustností při různém předsazení

Následující porovnání bude také zaměřeno na okna různých rozměrů pro získání představ o vlivu přidaného tepelného toku na U_{o+s} . Rozměry uvažovaných oken pro lepší představu zobrazuje obrázek 64. Pro porovnání bylo vybráno plastové okno 88 osazené do skladby s vápenopískovým zdivem. Výsledky zobrazuje tabulka 8. Z výsledků je zřejmé větší nepříznivé ovlivnění přidaným tepelným tokem styku u menších oken, než je okno normových rozměrů. V tomto případě je ale významnější ovlivnění jiným poměrem plochy rámu k ploše zasklení u samotného okna – výrobku.



Obrázek 64 - Velikosti oken (výrobků), které byly použity ve výpočtu



Tabulka 8 - Vliv změny rozměru okna

Skladba	Typ okna	Předsazení	Výška výrobku	Šířka výrobku	U_o	L_s	L_{o+s}	U_{o+s}	Tep. ztráty – styk o.v./o.s.
		[mm]	[m]	[m]	[W/(m ² .K)]	[W/K]	[W/K]	[W/(m ² .K)]	[%]
VPC (S2)	Plastové okno 88 + CF	90	0,76	0,79	0,90	0,028	0,604	0,94	4,6
		90	1,48	1,23	0,80	0,047	1,557	0,82	3,0
		90	1,66	2,09	0,75	0,066	2,744	0,77	2,4
		90	2,06	2,49	0,73	0,080	3,912	0,75	2,0

6.2 Výpočetní nástroj pro porovnání tepelných ztrát

Tato kapitola se zabývá výpočetním nástrojem (excelovou kalkulačkou – Příloha 12), která umožňuje výpočet roční potřeby tepla na pokrytí tepelné ztráty tepelnou vazbou mezi okenní výplní a obvodovou stěnou pro dvě varianty osazení okna. Jedná se o klasickou montáž a o předsazenou montáž s předsazením o 90 mm. Kalkulačka vypočítá pro tyto dvě varianty roční náklady za dodané teplo potřebné k pokrytí tepelných ztrát tepelnou vazbou mezi okenní výplní a obvodovou stěnou. Vyčíslí rozdíl finanční úspory, kterého by bylo dosaženo při použití předsazené montáže s předsazením o 90 mm místo klasické montáže.

6.2.1 Princip výpočtu

Uživatel výpočetního nástroje zadává:

- Vnitřní teplotu
- Lokalitu
- Rozměry a počet oken
- Typ okna a obvodové konstrukce (výběr ze šesti kombinací)
- Cenu za kWh tepelné energie

Ve výpočetním nástroji jsou již zadány lineární činitele prostupu tepla tepelných vazeb mezi okenní výplní a obvodovou stěnou pro nabízené kombinace, které byly stanoveny v kapitole 4.4. Z těchto hodnot se následně podle zadaných rozměrů a počtů oken vypočte tepelná propustnost připojovací spáry (výpočet viz kapitola 3.4.1), Potřeba tepla k pokrytí tepelných ztrát zmíněnou tepelnou vazbou se vypočítá podle vztahu (13):

$$E_H = L_s \cdot (\theta_{i,set} - \theta_e) \cdot t \quad (14)$$

E_H množství tepla potřebné pro pokrytí tepelné ztráty tepelnou vazbou mezi okenní výplní a obvodovou stěnou [Wh]

L_s tepelná propustnost celého styku okenní výplně a stavební konstrukce [W/K]



$\theta_{i,set}$	požadovaná vnitřní teplota vytápěné zóny v otopném období [°C]
θ_e	teplota venkovního prostředí v daném časovém kroku [°C]
t	počet hodin časového kroku [h]

Časový krok výpočtu je jeden měsíc a roční potřeba tepla je součtem hodnot vypočítaných pro jednotlivé měsíce. Hodnotu vnitřní teploty zadává uživatel a hodnoty průměrných měsíčních venkovních teplot pro jednotlivé měsíce se dosadí v závislosti na výběru lokality. Tato klimatická data jsou převzata z veřejně dostupných zdrojů Českého hydrometeorologického ústavu. Roční potřeba tepla na pokrytí tepelné ztráty se počítá pouze pro otopné období od října do dubna. Finanční náklady tepelnou vazbou mezi okenní výplní a obvodovou stěnou se vypočítají podle vztahu (14)

$$N = E_H \cdot e \quad (15)$$

N	roční náklady na pokrytí tepelné ztráty tepelnou vazbou mezi okenní výplní a obvodovou stěnou [Kč]
E_H	roční potřeba tepla na pokrytí tepelné ztráty tepelnou vazbou mezi okenní výplní a obvodovou stěnou [kWh]
e	cena za jednu kWh tepelné energie [Kč]

6.2.2 Omezení výpočtu

Výpočet, který provádí kalkulačka v MS excelu je zjednodušený a má řadu omezení. Prvním omezením výpočtu je pevné stanovení otopného období, přestože se jeho počátek i konec může v závislosti na lokalitě či typu budovy lišit. Dalším omezením je nezapočítání vlivu trojrozměrného šíření tepla v koutech styku parapetu s ostěním a ostění s nadpražím.

Zvýšení solárních zisků vlivem předsazení okna není také započítáváno, vzhledem k tomu, že tento efekt není možné jednoduše započítat na úrovni jednoho okna. Pro započítání tohoto efektu by se musel provést výpočet potřeby tepla na vytápění na úrovni budovy. Posledním omezením tohoto nástroje oproti podrobnému výpočtu potřeby tepla na vytápění je změna poměru tepelných ztrát a tepelných zisků při předsazení okna. S touto změnou souvisí změna faktoru využitelnosti tepelných zisků. Tento efekt musí být také započítán na úrovni budovy.

Při jistém nadhledu nad zmíněnými omezeními lze říci, že první dvě omezení (délka otopného období a trojrozměrné šíření tepla) ovlivňují výsledky obou variant montáže, a tím se rozdíl, finanční úspora, výrazně nemění. Další dvě omezení (solární zisky a vliv faktoru využitelnosti) již ovlivňují zejména hodnotu rozdílu. Pozitivní je, že nezahrnutím zvýšených solárních zisků u předsazené montáže se hodnota rozdílu podhodnocuje a vlivem nepočítání s faktorem využitelnosti se naopak tento rozdíl nadhodnocuje a nedochází tak k ještě větší nepřesnosti vlivem kumulace těchto dvou omezení.

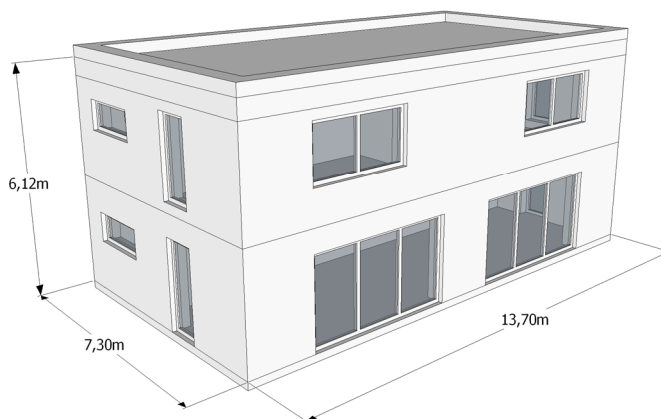
Výpočet lineárních činitelů prostupu tepla byl stanoven u skladeb s danou tloušťkou izolace, nicméně lze konstatovat, že při změně tloušťky tepelné izolace nedojde k výrazné změně hodnoty lineárního činitele. Proto lze konstatovat, že výpočetní nástroj lze použít i pro sklady, které mají odlišnou tloušťku izolační vrstvy, ale nesmí se okenní

výplň při předsazení nacházet vnějším lícem rámu v blízkosti vnějšího líce izolace. Toto potvrzuje vyhodnocení, které zobrazuje obrázek 35 a obrázek 36 v kapitole 4.3.5. Na závěr výčtu omezení je důležité zmínit základní myšlenku, kterou je srozumitelné vyjádření rozdílu při realizaci předsazené montáže oproti klasické s malým množstvím vstupů a tím rychlou možností výpočtu.

6.2.3 Kontrola výpočtu

Pro kontrolu výpočetního nástroje a zároveň pro zjištění vlivu jednoho ze zmíněných omezení, kterým je vliv faktoru využitelnosti, bylo provedeno porovnání s výpočtem potřeby tepla na vytápění konkrétní budovy. Solární zisky zde nebyly zahrnuty do výpočtu potřeby tepla na vytápění, protože tento výpočet vyžaduje pro získání podrobných hodnot podrobnější analýzu.

Jedná se o modelový dům běžné velikosti s jednoduchou geometrií. Obrázek 65 zobrazuje modelový dům v axonometrii se základními kótami.



Obrázek 65 - Modelový rodinný dům [41]

Vnitřní teplota: 20°C

Lokalita: Česká republika

Rozměry a počet oken:

- O1: 4,15 x 2,40 m; 2 ks (Slavona Progression)
- O2: 2,80 x 1,50 m; 2 ks (Slavona Progression)
- O3: 1,00 x 2,40 m; 3 ks (Slavona Progression)
- O4: 1,80 x 0,80 m; 12 ks (Slavona Progression)

Základní cena za kWh tepelné energie: 2 Kč

Ve výpočtu byla uvažována okna Slavona Progression osazená v obvodové stěně s vápenopískovým zdivem. Hodnota součinitele prostupu tepla okna a stěny byla uvažována stejná jako ve výpočtu ve 2D teplotním poli. Ostatní hodnoty součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí byly zvoleny tak, aby průměrný součinitel prostupu tepla

vyhověl hodnotě pro pasivní domy. Ostatní vstupní parametry výpočtu jsou uvedeny v příloze (Příloha 13).

Tabulka 9 uvádí porovnání výpočetního nástroje a výpočtu potřeby tepla na vytápění. Z výsledků je viditelné, že hodnota rozdílu vypočtená pomocí výpočetního nástroje je o cca 16 % nadhodnocená, a to díky nezahrnutí vlivu faktoru využitelnosti při poklesu tepelných ztrát. Při zaměření se na výsledky výpočtu potřeby tepla na vytápění je zřejmé, že předsazením oken u tohoto objektu lze ušetřit 7 % z potřeby tepla na vytápění.

Tabulka 9 - Porovnání výpočetního nástroje s výpočtem potřeby tepla na vytápění

Výpočet	Potřeba tepla na vytápění (celá budova)		Potřeba tepla na vytápění (tepelná vazba)		Rozdíl	Podíl úspory na ztrátách objektu
	Klasická	Předsazená	Klasická	Předsazená		
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[%]
Výpočetní nástroj	-	-	467,33	91,49	375,84	-
Potřeba tepla na vytápění	4549,50	4225,80	-	-	323,70	7,12

Pro zpřesnění výsledků výpočetního nástroje by bylo možné na základě většího množství srovnávacích výpočtů s různými modelovými objekty stanovit součinitel, který by empiricky zahrnoval vliv faktoru využitelnosti.

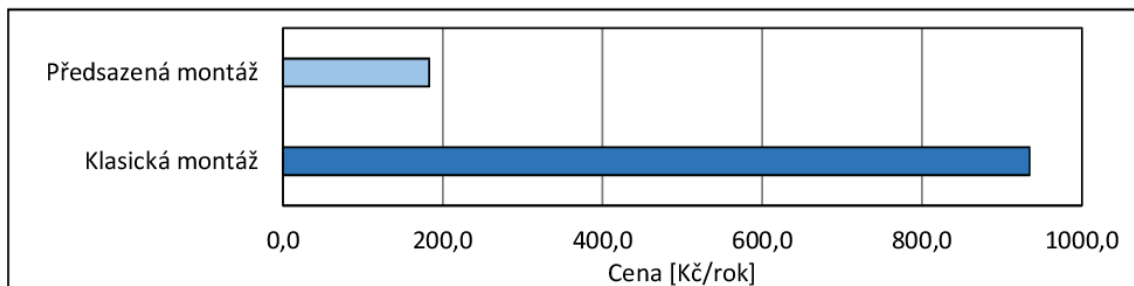
Nicméně, při nezahrnutí zvýšených solárních zisků u předsazené montáže v kalkulačním nástroji je pravděpodobné, že je nadhodnocení nižší, či je dokonce hodnota podhodnocena. Je tedy možné, že se nadhodnocení výsledku z výpočetního nástroje pokryje vyššími solárními zisky. Nicméně jejich výpočet vyžaduje sofistikovanější analýzu a není možné je zahrnout do tohoto výpočetního nástroje, jehož cílem je rychlý výpočet s malým množstvím vstupů. Závěrem této kontroly lze konstatovat, že přesnost výpočetního nástroje je pro rychlé vyjádření rozdílu s malým množstvím vstupů dostatečná.

Obrázek 66 zobrazuje závěrečnou část výstupu z výpočetního nástroje. Finanční úspora, které by bylo dosaženo při použití předsazené montáže s předsazením o 90 mm místo klasické montáže u modelového rodinného domu, činí dle výpočetního nástroje 751,66 Kč/rok. Za dvacetileté období, které je standardně uvažováno v energetických auditech jako doba návratnosti u oken, by teoreticky vznikla úspora 15 033,20 Kč. Tato úspora činí čtvrtinu ceny systému předsazené montáže podle hrubého odhadu autora práce na základě cen z konkrétních nabídek. Pokud by se tedy realizace předsazené montáže posuzovala z hlediska návratnosti investice, tak vychází nevýhodná. Závěrem této úvahy nelze říci, že se předsazená montáž nevyplácí, protože investice může být posuzována i podle jiných kritérií než je návratnost (např. dosažení dotací).



Řoční úspora realizací předsazené montáže

Úspora 751,66 Kč/rok



Obrázek 66 – Závěrečná část výstupu z výpočetního nástroje (Příloha 12)

6.3 Shrnutí

Z podrobnějšího vyhodnocení výsledků podrobné výpočetní analýzy vyplývá následující:

- 1) Předsazením okna o 90 mm dochází k významnému snížení přidaného tepelného toku po celém obvodu styku okenní výplně a obvodové stěny oproti klasické montáži přibližně o 80 %. Při větším předsazení už není přínos tak znatelný.
- 2) Z hodnocení součinitele prostupu tepla okna se zahrnutím styku s obvodovou stěnou (U_{o+s}) vyplývá, že u klasické montáže je jeho hodnota přibližně o $0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ horší než hodnota součinitele prostupu tepla okna. Při předsazení o 90 mm dojde k výraznému přiblížení hodnoty součinitele prostupu tepla okenní výplně, která zahrnuje i přidaný tepelný tok stykem okenní výplně a obvodové stěny, k hodnotě součinitele prostupu tepla okna.

Byl vytvořen nástroj pro srozumitelné vyjádření rozdílu při realizaci předsazené montáže oproti klasické. Na základě porovnání výpočetního nástroje s výpočtem potřeby tepla na vytápění modelové budovy a rozboru vlivů, které vnášejí do výsledků jisté odchylky, lze konstatovat, že se jedná o relativně přesný nástroj vzhledem k účelu použití, kterým je rychlé vyjádření rozdílu s malým množstvím vstupů.

7 Závěr

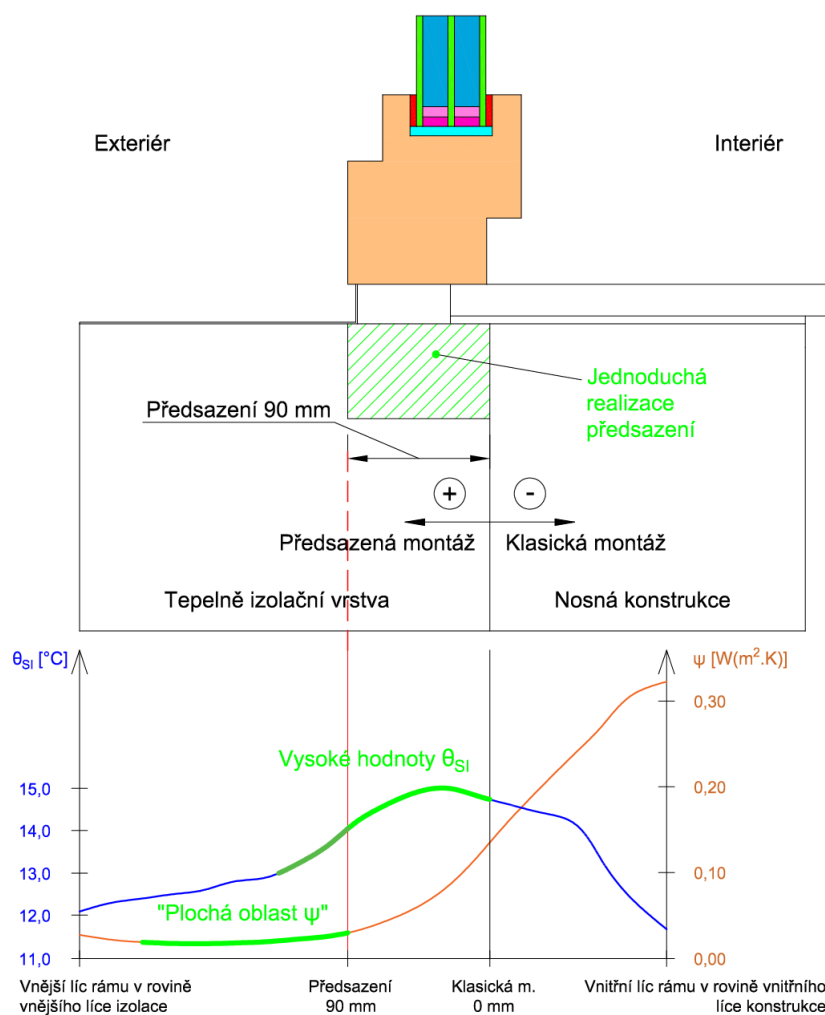
Tato práce se zabývala předsazenou montáží oken u obvodových stěn skládajících se z nosné konstrukce a z vnější tepelně izolační vrstvy. Výsledky práce ukazují, že předsazením oken do roviny hlavní tepelně izolační vrstvy lze výrazně eliminovat tepelné ztráty tepelnou vazbou styku okenní výplně a obvodové stěny, a to až o 95 % oproti klasické montáži, kdy je vnější líc rámu ve stejné rovině jako vnější líc nosné konstrukce. Při správném návrhu a provedení detailů je tedy vhodné zvolení hloubky osazení okna v konstrukci velice účinným opatřením pro eliminaci tepelných ztrát tepelnou vazbou styku okenní výplně a obvodové stěny.

Závislost veličin na hloubce osazení okna

Z výsledků je zřejmé, že při posunu okna v rámci celé hloubky obvodové konstrukce dochází k výrazné změně lineárního činitele prostupu tepla. S posunem okna z interiéru až do polohy předsazení, kdy je okno celou stavební hloubkou v rovině tepelné izolace, lineární činitel prostupu tepla klesá. Čím bližší je hodnota součinitele tepelné vodivosti materiálu zděné či monolitické konstrukce hodnotě součinitele tepelné vodivosti tepelně izolační vrstvy, tím je pokles hodnoty lineárního činitele prostupu tepla méně strmý. Vhodné hloubky osazení z hlediska **eliminace tepelných ztrát tepelnou vazbou styku okenní výplně a obvodové stěny** lze tedy dosáhnout předsazením okenní výplně do roviny tepelné izolace tak, aby **celá stavební hloubka rámu okna** byla umístěna **v prostoru tepelné izolace**. Při předsazování okenní výplně v tepelně izolační vrstvě dále do exteriéru už nedochází k tak významnému zlepšení – nachází se zde „plochá oblast“ (obrázek 67).

Při posunu okna od vnitřního líce nosné konstrukce směrem do exteriéru dochází ke strmému nárůstu povrchové teploty. **Nejvyšší hodnoty nejnižší vnitřní povrchové teploty** lze dosáhnout **při částečném předsazení okna** (obrázek 67), kdy konstrukce stěny přivádí teplo do kritického místa. Zároveň je částečně eliminována tepelná ztráta styku okenní výplně a obvodové konstrukce částečným předsazením. Při posunu dále do exteriéru povrchová teplota pozvolna klesá. U skladeb s nosnou konstrukcí s nižším součinitelem tepelné vodivosti jsou změny nejnižší vnitřní povrchové teploty zanedbatelné a hodnoty nižší než u skladeb s nosnou konstrukcí s vysokým součinitelem tepelné vodivosti.

Popsané závislosti dvou sledovaných veličin platí pro detail parapetu i pro detail ostění a nadpraží. S rozdílem, že u detailu nadpraží a ostění jsou rozdíly mezi hodnotami sledovaných veličin v různých hloubkách osazení okenní výplně menší vlivem přeizolování rámu okna. Výše zmíněné závislosti popisuje obrázek 67 na styku okenní výplně a obvodové stěny v oblasti parapetu. Graf v dolní části obrázku je typický pro skladby s nosnou konstrukcí s vysokým součinitelem tepelné vodivosti, jako je například železobeton.



Obrázek 67 - Schéma vhodné vzdálenosti předsazení s grafem typickým pro skladbu s běžnou tepelnou izolací a železobetonovou nosnou konstrukcí

Vhodná poloha okenní výplně

Na základě provedené výpočetní analýzy lze doporučit předsazení oken o 90 mm z následujících důvodů (schéma - obrázek 67):

- Hodnota nejnižší vnitřní povrchové teploty je v této pozici velmi příznivá.
- Dochází k významnému zlepšení hodnoty lineárního činitele prostupu tepla styku okenní výplně a obvodové stěny v oblasti parapetu, ostění i nadpraží v porovnání s klasickou montáží. Zlepšení zmíněné hodnoty je dáno tím, že většina oken je při předsazení o 90 mm celou stavební hloubkou umístěna v rovině hlavní tepelně izolační vrstvy.
- Celková tepelná propustnost styku okenní výplně a obvodové stěny po celém obvodu okenní výplně poklesne přibližně o 80 % v porovnání s klasickou montáží. Při větším předsazení není možné už dosáhnout dalšího výrazného poklesu tepelné propustnosti.

- Hodnota lineárního činitele prostupu tepla nesplňuje v oblasti parapetu normou doporučenou hodnotu pro pasivní domy. Nicméně, vykompenzuje ji výrazně nižší hodnota lineárního činitele prostupu tepla v oblasti nadpraží a ostění, pokud se posoudí tepelná propustnost styku okenní výplně a obvodové stěny po celém obvodu okenní výplně.
- Předsazení o tuto vzdálenost umožňují všechny systémy pro předsazenou montáž.
- Systémové prvky pro předsazenou montáž s větším předsazením než 90 mm jsou zpravidla výrazně dražší.

Porovnání klasické a předsazené montáže

Předsazenou montáž je vhodné porovnat s klasickou montáží, kdy je vnější líc rámu ve stejné rovině jako vnější líc nosné konstrukce.

Úpravou detailů okenní výplně osazené klasickou montáží nelze eliminovat tepelné ztráty styku s obvodovou stěnou tak účinně jako předsazením okenní výplně. Přidaný tepelný tok zmíněnou tepelnou vazbou je u klasické montáže ovlivněn zejména materiálem nosné konstrukce. Například při záměně železobetonové konstrukce za pórobetonové zdivo poklesne v případě klasické montáže tepelná propustnost styku okenní výplně a obvodové konstrukce o 60 %. Také záměna podkladního profilu za podkladní profil s nižší tepelnou vodivostí příliš nezlepší hodnotu lineárního činitele prostupu tepla tepelné vazby v oblasti parapetu.

Nejnižší vnitřní povrchová teplota stavební konstrukce je u klasické montáže ovlivněna materiálem nosné konstrukce. Čím vodivější materiál zdiva je, tím vyšší je hodnota nejnižší vnitřní povrchové teploty stavební konstrukce.

Při předsazení se tyto zmíněné vlivy snižují. Klesá ovlivnění přidaného tepelného toku materiálem nosné konstrukce. Jak již bylo uvedeno v úvodu kapitoly, lze eliminovat tepelné ztráty tepelnou vazbou styku okenní výplně a obvodové stěny až o 95 % oproti klasické montáži. Zvyšuje se účinnost podkladního profilu s nižší tepelnou vodivostí. Nejnižší vnitřní povrchová teplota od polohy částečného předsazení při posunu okna směrem k exteriéru pozvolna klesá.

Specifika různých typů oken při předsazení

Pro předsazenou montáž se nedoporučuje použití okna s hodnotou součinitele prostupu tepla rámu $U_f = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Důvodem je nízká hodnota nejnižší vnitřní povrchové teploty v oblasti parapetu, která je blízká kritické povrchové teplotě.

Okna se součinitelem prostupu tepla $U_w = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ jsou vhodná pro předsazenou montáž. Tato okna mají zpravidla hodnotu součinitele prostupu tepla rámu $U_f = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Hodnoty nejnižších vnitřních povrchových teplot s rezervou vyhoví. Pokud je takové okno osazeno klasickou montáží, tepelná ztráta styku okenní výplně a obvodové stěny tvoří přibližně 15 % z celkových tepelných ztrát okenní výplně včetně tepelné vazby po celém jeho obvodu. Při vhodném předsazení můžeme redukovat tuto hodnotu přibližně na 1%.

U hliníkových oken se doporučuje předsazená montáž, protože vzhledem k vysoké tepelné vodivosti hliníku nelze snížit přidaný tepelný tok stykem okenní výplně a obvodové stěny překrytím rámu okna tepelnou izolací. V případě klasické montáže hliníkového okna je tepelná propustnost jeho styku s obvodovou stěnou velice vysoká oproti oknům z jiných materiálů. Vysoká tepelná propustnost tepelné vazby je dána zejména detailem nadpraží a ostění, kde nedochází k eliminaci přidaného tepelného toku při izolování rámu okna. Při předsazení se hodnota tepelné propustnosti zmíněného styku sníží, nikoliv však na tak nízkou hodnotu jako u plastových a dřevěných oken. Okno Slavona Progression má nejpříznivější výsledky z oken, která byla zahrnuta do výpočtu. Nejnižší vnitřní povrchové teploty stavební konstrukce u detailů s touto okenní výplní dosahují vysokých hodnot. Hodnota tepelné propustnosti celého styku okenní výplně a obvodové stěny má nejnižší hodnotu ze všech zkoumaných okenních výplní, to je dáno zejména vhodným řešením detailů. Okenní rám je u ostění a nadpraží celý překryt tepelnou izolací a u parapetu je provedeno částečné překrytí tepelnou izolací.

Vliv R_{si} na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu

Změna hodnoty odporu při přestupu tepla výrazně ovlivňuje hodnotu nejnižší vnitřní povrchové teploty stavební konstrukce. Při posouzení detailu parapetu podle doporučení, které bylo stanoveno experimentálně, byla výsledná hodnota nejnižší vnitřní povrchové teploty o 1,5°C nižší než při posouzení detailu dle normy ČSN 73 0540-2. Důvodem tohoto snížení byl zvýšený odpor při přestupu tepla na okenní výplni, která vlivem tohoto zvýšení méně „prohřívala“ kritické místo detailu. Tedy vlivem navýšení odporu při přestupu tepla na vnitřní straně okenní výplně se sníží tepelný tok okenní výplně a klesá povrchová teplota okenní výplně. Pokles teploty se projeví i ve sledované oblasti nejnižší vnitřní povrchové teploty stavební konstrukce, která je v těsné blízkosti povrchu okenní výplně.

Na základě výpočetní analýzy autor doporučuje splňovat normový požadavek s rezervou, která pokryje v případě správného užívání stavby nejistoty okrajových podmínek a případně odchylky v souvislosti s geometrickou přesností a skutečným provedením.

Porovnání předsazení pomocí konzol a pomocí sekundárního ostění

Další částí práce bylo také porovnání systémů předsazené montáže z důvodu odlišného řešení předsazení okna do roviny tepelné izolace. První systém řeší předsazení okna pomocí lokálně umístěných ocelových konzol a druhý vytvořením sekundárního ostění z purenitových profilů.

Větší tepelnou propustnost vykazuje systém předsazené montáže pomocí konzol. Tepelné ztráty při použití tohoto systému lze očekávat mírně větší než při použití systému předsazené montáže, který vytváří sekundární ostění z purenitových profilů. Vzhledem k malému rozdílu hodnot tepelné propustnosti a také k tomu, že se jednalo o zjednodušený výpočet, můžeme oba dva systémy považovat za rovnocenné z pohledu prostupu tepla stykem okenní výplně a obvodové stěny.

Nízké hodnoty bodových činitelů prostupu tepla konzol ukazují, že tento poměrně masivní ocelový prvek pro předsazenou montáž zasahující do tepelné izolace jen z malé části nezpůsobuje výrazný tepelný most.

Kvantifikace tepelných ztrát vlivem předsazení

Z výsledků výpočtů na modelovém rodinném domě vychází, že předsazením oken o 90 mm lze ušetřit 7 % z potřeby tepla na vytápění. Nicméně, z hlediska doby návratnosti 20 let úspora v tomto konkrétním případě tvoří přibližně čtvrtinu ceny systémového řešení pro předsazenou montáž. Je ovšem možné více přístupů s jinými kritérii ekonomického hodnocení, dále je také možné použít levnějších třeba i nesystémových řešení předsazené montáže.

Z tohoto důvodu byl vytvořen na základě potřeby praxe výpočetní nástroj, který vypočítá finanční úsporu v korunách za vytápění vlivem realizace předsazené montáže pro konkrétní dům. Finanční úspora je stanovena z výpočtu roční potřeby tepla na pokrytí tepelné ztráty tepelnou vazbou styku okenní výplně a obvodové stěny pro dvě varianty osazení okna - klasickou montáž a předsazenou montáž s předsazením o 90 mm. Jedná se o zjednodušený postup výpočtu, který mírně nadhodnocuje přínos předsazené montáže.

Základní myšlenkou je srozumitelné vyjádření rozdílu při realizaci předsazené montáže oproti klasické montáži, a to s malým množstvím vstupů a tím rychlou možností výpočtu. Investor se tak může na základě výsledků z výpočetního nástroje rozhodnout sám, jestli bude investovat do předsazené montáže oken.

Možné pokračování této práce

Z řešené problematiky v této práci vyplývají následující čtyři témata, která jsou zcela jistě vhodná pro další pokračování.

Prvním tématem je porovnání systému předsazené montáže s lokálně umístěnými ocelovými konzolami a se sekundárním ostěním z purenitových profilů. Možným pokračováním je zopakování této analýzy s provedením výpočtů ve 2D teplotním poli na podrobných výpočetních modelech pro získání přesnějších hodnot lineárních činitelů prostupu tepla. Dle názoru autora je možné pro poslední část výpočetní analýzy použít opět hodnoty bodového činitele prostupu tepla ze zjednodušeného 3D výpočtu.

Druhým tématem je provedení výpočtů potřeby tepla na vytápění různými metodami pro vybrané budovy či jejich části s variantou klasické a předsazené montáže. Na základě většího množství výsledků ukázat možnou úsporu vlivem realizace předsazené montáže a zpřesnit výpočetní nástroj pro výpočet finanční úspory.

Třetím tématem je vyšetření vlivu trojrozměrného šíření tepla v koutech styku parapetu s ostěním a ostění s nadpražím. Bylo by dobré na základě 3D výpočetní analýzy kvantifikovat přidaný tepelný tok vlivem trojrozměrného šíření tepla v koutech styků a určit, jak je možné tento vliv přibližně započítat, případně je-li možné ho zanedbat.

Posledním tématem je analýza vlivu R_{si} na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu, u které by bylo vhodné doplnění dlouhodobým měřením in-situ, provedením parametrické studie a následným porovnáním.



Seznam použité literatury

- [1] HÁJEK, Václav, Luděk NOVÁK a Jindřich ŠMEJCKÝ. *Konstrukce pozemních staveb 30: kompletační konstrukce*. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-010-2506-3.
- [2] CULKA, Miroslav. Jedinečný ucelený systém předsazené montáže okenních výplní. In: *Tzb info* [online]. Praha, 2015 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-okna/12569-jedinecny-uceleny-system-predsazene-montaze-okennich-vyplni>
- [3] *Ročenka ČKLOP: Souhrn odborných znalostí a pravidel pro realizaci lehkých obvodových plášťů a otvorových výplní*. Praha: Česká komora lehkých obvodových plášťů, 2014. ISBN 978-80-905654-1-8.
- [4] MISIOPECKI, Cezary, Marine BOUQUIN, Arild GUSTAVSEN a Bjorn JELLE. Thermal modeling and investigation of the most energy-efficient window position. *Energy and Buildings*. 2018, (158), 1079-1086.
- [5] ČSN 74 6077. *Okna a vnější dveře - Požadavky na zabudování*. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [6] WIESNER, Jakub. Předsazená montáž oken a dveří. *Konstrukce: Odborný časopis pro stavebnictví a strojírenství* [online]. Ostrava: KONSTRUKCE Media, s.r.o., 2013 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/predsazena-montaz-oken-a-dveri/>
- [7] KASAL, Pavel. *Vliv geometrické přesnosti zabudování výplní otvorů do stavby na vnitřní povrchovou teplotu*. Praha, 2017. Bakalářská práce. ČVUT, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb. Vedoucí práce Jiří Novák.
- [8] PETRÝL, Zdeněk a Roman ŠUBRT. *Moderní okna: [zasklení a úspora tepla, vzduchotěsnost a průvzdušnost, výměna, montáž a reklamace]*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012. Profi. ISBN 978-80-247-4286-1.
- [9] *Sborník ČKLOP: Souhrn odborných znalostí a pravidel pro realizaci lehkých obvodových plášťů a otvorových výplní*. Praha: Česká komora lehkých obvodových plášťů, 2017. ISBN 978-80-905654-4-9.
- [10] HAZUCHA, Juraj. *Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy: doporučení pro návrh a stavbu*. První vydání. Praha: Grada Publishing, 2016. ISBN 978-80-247-4551-0.
- [11] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [12] ŠTOK, Jaroslav. Předsazená montáž oken. In: *Izolace.cz* [online]. Praha: Izolace.cz, 2015 [cit. 2018-10-10]. Dostupné z: <https://www.izolace.cz/clanky/predsazena-montaz-oken/>



- [13] ŠTOK, Jaroslav. Montáž předsazených oken. *Materiály pro stavbu*. 2013, (2), 49-51.
- [14] SFS INTEC, . *Montážní návod pro systém JB - D*. Turnov, 2009.
- [15] Montážní postup: Instalace okna do prostoru tepelné fasádní izolace. *Realizace staveb*. Jaga Media, s. r. o., 2016, (52), 52-53. ISSN 1802-0631.
- [16] TREMCO - ILLBRUCK, . *Systém pro předsazenou montáž: Technický list*. Praha: Tremco - Illbruck, 2014.
- [17] Předsazené upevnění otvorových výplní EJOT-COMPACFOAM. In: *Tzb info* [online]. Praha, 2015 [cit. 2018-03-15]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/fasadni-okna/12805-predsazene-upevneni-otvorovych-vyplni-ejot-compacfoam>
- [18] EJOT - COMPACFOAM, . *Návod na montáž: Systém předsazené montáže oken a dveří*. Říčany: Ejot - Compacfoam, 2014.
- [19] ŠAFRÁNEK, Ivan. *Technické podklady: Předsazená montáž Dafe Purex*. 1. Jihlava: Dafe - plast, 2013.
- [20] DAFE PLAST, . *Technický list: Dafe Purex*. Jihlava: Dafe Plast, 2016.
- [21] ISO CHEMIE, . *Product data sheet: In front of wall installation system iso-top winframer "type 1"*. ISO Chemie, 2018.
- [22] WÜRTH, . *Fenster montage nach stand der technik: Professionelle Lösungen mit 10 Jahre Systemgarantie*. 1. 2016.
- [23] HANNO, . *Hanno Vorwandmontagesystem: Datenblätter*. 2016.
- [24] BLAUGELB, . Triotherm+ Profile. In: *Blaugelb.de* [online]. b.r. [cit. 2018-11-04]. Dostupné z: https://www.das-neue-blaugelb.de/no__cache/produktansicht/triotherm-profile.html
- [25] GreentecQ. In: *Greenteq.info* [online]. b.r. [cit. 2018-11-04]. Dostupné z: http://www.greenteq.info/vb/opencms/greenteQ/GB/Klima__Konform__System/index.html
- [26] FOPPE, . *Technische Information: Element-Montage-System EMS+SI*. 02/2017. Lengerich: Foppe, 2017.
- [27] Foppe+Foppe: PHI-Komponenten-Siegel für EMS+SI. In: *Haustec.de* [online]. Stuttgart: Haustec.de, 2018 [cit. 2018-11-03]. Dostupné z: <https://www.haustec.de/gebaeudehuelle/fenster-baelemente/foppefoppe-phi-komponenten-siegel-fuer-emssi>
- [28] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady*. 1. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2061-6.
- [29] ČSN EN ISO 10077-1. *Tepelné chování oken, dveří a okenic - Výpočet součinitele prostupu tepla - Část 1: Obecně*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [30] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.



- [31] ŠUBRT, Roman. *Tepelné mosty: pro nízkoenergetické a pasivní domy : 85 prověřených a spočítaných stavebních detailů*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN 978-80-247-4059-1.
- [32] SVOBODA, Zbyněk. *Lineární činitel prostupu tepla*. Praha: ČVUT, 2018.
- [33] HEBLER, Martin. Avoiding condensate and mould: Tips, duty of information and sample cases for avoiding damage in existing and new buildings. In: IFT ROSENHEIM, . *International Rosenheim Window & Facade Conference*. Rosenheim: ift Rosenheim, 2013, s. 35 - 40. ISBN 978-3-86791-356-0.
- [34] KLEČKA, Jan. Je kondenzace na výplních otvorů nekvalita? Ano či ne?. In: *Tzbinfo* [online]. Praha, 2013 [cit. 2017-03-24]. Dostupné z: <http://stavba.tzbinfo.cz/tepelnetechnicke-vlastnosti-oken-a-dveri/9528-je-kondenzace-na-vyplnich-otvoru-nekvalita-ano-ci-ne>
- [35] STANĚK, Kamil. *Potřeba tepla na vytápění: Podklady pro cvičení*. 1. Praha: Fsv ČVUT, 2010.
- [36] STANĚK, Kamil. *Průměrný součinitel prostupu tepla: Podklady pro cvičení*. 1. Praha: Fsv ČVUT, 2010.
- [37] HTflux. In: *Htflux.com* [online]. b.r. [cit. 2018-12-02]. Dostupné z: <https://www.htflux.com/en/features/>
- [38] ČSN EN ISO 10077-2. *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, 2018.
- [39] STANĚK, Kamil, Zdenko MALÍK a Vítězslav CALTA. *Experimentální studie tepelně-technického chování balkonových dveří v oblasti parapetu*. Buštěhrad, 2017.
- [40] SVOBODA, Zbyněk. *Cube 3D 2017*. 1. Kladno: K-CAD, 2017.
- [41] KOPECKÝ, Pavel a Kateřina SOJKOVÁ. *Agregované tepelné charakteristiky budov: Plocha solární apertury obálky budovy*. 1. Buštěhrad: UCEEB, 2018.

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Klasická montáž oken, schématický detail (vlevo), pohled na fasádu (vpravo) [Foto: autor].....	11
Obrázek 2 - Předsazená montáž oken, schématický detail (vlevo), pohled na fasádu (vpravo) [Foto: autor].....	11
Obrázek 3- Rozmístění kotvicích prvků [5]	12
Obrázek 4 - Rozmístění podložek [5].....	13
Obrázek 5 - Zóny připojovací spáry.....	14
Obrázek 6 - Příklad nevhodného nesystémového řešení předsazené montáže [Foto: autor]	16
Obrázek 7 - Příklad systémového řešení od firmy SFS Intec, osazená okenní výplň [Foto: autor]	17
Obrázek 8 - Výšková rektifikace okna (vlevo), osazená okenní výplň (vpravo) [Foto: autor]	18
Obrázek 9 - Příklady vytvoření sekundárního ostění systémem Tremco - Illbruck [Foto: autor]	19
Obrázek 10 - Aplikace komprimační pásky (vlevo), osazené okenní rámy (vpravo) [Foto: autor]	19
Obrázek 11 - Pohled na připojovací spáru z interiéru (vlevo) z exteriéru (vpravo) [Foto: autor]	19
Obrázek 12 - Okna osazená pomocí systému EJOT - Compacfoam (vlevo), upevňovací bod (vpravo) [17].....	20
Obrázek 13 - Okenní rám osazený systémem Dafe - Purex - Basic [Foto: autor]	21
Obrázek 14 - Okenní rám osazený systémem Dafe Purex Basic (vlevo), kotva pro ostění a nadpraží (vpravo) [Foto: autor]	21
Obrázek 15 - Systém předsazené montáže EMS + SI od firmy Foppe [27]	22
Obrázek 16 - Příklad teplotního pole pro klasickou montáž (vlevo) a pro předsazenou montáž (vpravo).....	23
Obrázek 17 - Zvýšený tepelný tok v napojení zasklení s distančním rámečkem na rám křídla	25
Obrázek 18 - Schématický detail ostění pro výpočet lineárního činitele prostupu tepla	26
Obrázek 19 - Schématický detail hranice šířek pro výpočet lineárního činitele prostupu tepla.....	26
Obrázek 20 - Příklad okenní výplně s kondenzací v oblasti zasklívací i připojovací spáry [Foto: autor].....	30
Obrázek 21 - Schéma osazené okenní výplně	32
Obrázek 22 - Schéma postupu výpočtu na vybraných teplotních polích detailu nadpraží	37
Obrázek 23 - Schéma pro stanovení součinitele prostupu tepla rámu	37
Obrázek 24 - Schéma pro výpočet lineárního činitele prostupu tepla styku rámu se zasklením.....	38

Obrázek 25 - Modelové okno 71 (vlevo), Modelové okno 88 (vpravo).....	39
Obrázek 26 - Geometrické schéma výpočetních modelů (výřez) včetně použitých skladeb	40
Obrázek 27 - Schéma předsazení okenní výplně.....	41
Obrázek 28 - Vyhodnocení veličin pro detail parapetu, ŽBK 200mm + EPS 260mm, okno 88	42
Obrázek 29 - Vyhodnocení veličin pro detail ostění a nadpraží, ŽBK 200mm + EPS 260mm, okno 88.....	43
Obrázek 30 – Vyhodnocení veličin pro detail parapetu, skladba ŽBK 200 mm + EPS 260 mm, okno 71	44
Obrázek 31 - Porovnání modelových oken, ŽBK 200 mm + EPS 260 mm.....	45
Obrázek 32 - Vyhodnocení veličin pro detail parapetu, pórobeton 250mm + EPS 240mm, okno 88.....	46
Obrázek 33 - Vyhodnocení veličin pro detail ostění a nadpraží, pórobeton 250mm + EPS 240mm, okno 88	47
Obrázek 34 - Porovnání tepelné propustnosti styku okenní výplně a obvodové stěny po celém obvodu okenní výplně 1,48 m x 1,23 m	47
Obrázek 35 - Vyhodnocení veličin pro detail parapetu, ŽBK 200mm + EPS 160mm, okno 88	48
Obrázek 36 - Vyhodnocení veličin pro detail nadpraží a ostění, ŽBK 200mm + EPS 160mm, okno 88.....	49
Obrázek 37 – Shrnutí předběžné výpočetní analýzy (typický graf pro ŽBK+EPS).....	51
Obrázek 38 - Výpočetní modely použitých oken pro nadpraží a ostění.....	53
Obrázek 39 - Teplotní pole výpočetních modelů použitých oken pro nadpraží a ostění	53
Obrázek 40 - Schéma kombinací oken a skladeb obvodového pláště ve výpočtech ..	54
Obrázek 41 - Příklad výpočetních modelů pro jednu kombinaci (dřevěné okno 88 + vápenopískové zdivo).....	55
Obrázek 42 - Vliv okenní výplně na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu v oblasti parapetu.....	57
Obrázek 43 - Vliv okenní výplně na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu v oblasti nadpraží	57
Obrázek 44 - Porovnání hustoty tepelných toků u hliníkového okna bez předsazení a s předsazením.....	58
Obrázek 45 - Vliv okenní výplně na lineární činitel prostupu tepla styku v oblasti parapetu.....	58
Obrázek 46 - Vliv okenní výplně na lineární činitel prostupu tepla styku v oblasti nadpraží	59
Obrázek 47 - Vyšší přidaný tepelný tok vlivem nepředsazení okna celou stavební hloubkou do tepelné izolace	59
Obrázek 48 - Vliv okenní výplně na tepelnou propustnost styku po obvodu celého okna	60

Obrázek 49 - Vliv materiálu zdiva na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu v oblasti parapetu.....	61
Obrázek 50 - Vliv materiálu zdiva na lineární činitel prostupu tepla styku v oblasti parapetu.....	62
Obrázek 51 - Vliv materiálu zdiva a zvýšený tepelný tok u styku okenní výplně a obvodové stěny.....	62
Obrázek 52 - Vliv materiálu zdiva na lineární činitel prostupu tepla v oblasti nadpraží	63
Obrázek 53 - Vliv podkladního profilu na lineární činitel prostupu tepla styku.....	64
Obrázek 54 - Výpočet dle normy (vlevo), výpočet dle doporučení na základě experimentu (vpravo)	66
Obrázek 55 - Vliv odporu při přestupu tepla na nejnižší vnitřní povrchovou teplotu..	67
Obrázek 56 - Podmínky předpokládané výpočtem (vlevo), skutečné využití parapetu (vpravo) [Foto: autor].....	68
Obrázek 57 - Konzola JB-DK pro parapet (vlevo), konzola JB-D pro nadpraží a ostění (vpravo) [Foto: autor].....	70
Obrázek 58 - Výpočetní model konzoly JB-DK (vlevo), výpočetní model konzoly JB-D (vpravo).....	70
Obrázek 59 - Osazení konzoly ve výpočetním modelu parapetu a nadpraží (vlevo), pohled na 3D výpočetní model (vpravo).....	71
Obrázek 60 - Schéma rozmístění konzol dle ČSN 74 6077 a technického listu výrobce	72
Obrázek 61 - Porovnání systému předsazené montáže pomocí konzol a pomocí sekundárního ostění.....	73
Obrázek 62 - Okno normových rozměrů osazené do konstrukce	76
Obrázek 63 – Porovnání tepelných propustností při různém předsazení.....	78
Obrázek 64 - Velikosti oken (výrobků), které byly použity ve výpočtu	78
Obrázek 65 - Modelový rodinný dům [41].....	81
Obrázek 66 – Závěrečná část výstupu z výpočetního nástroje (Příloha 12).....	83
Obrázek 67 - Schéma vhodné vzdálenosti předsazení s grafem typickým pro skladbu s běžnou tepelnou izolací a železobetonovou nosnou konstrukcí.....	85

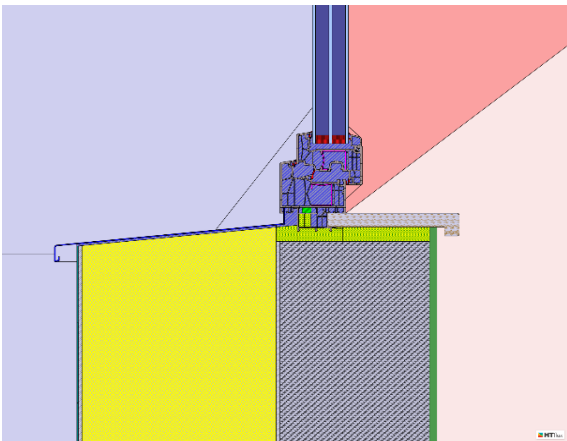
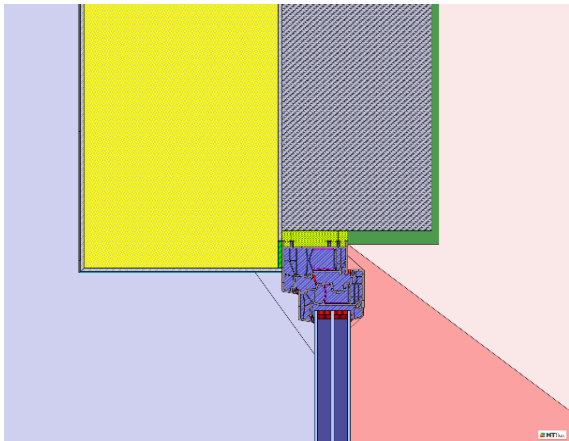
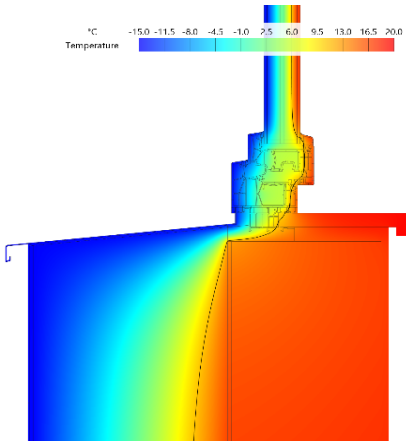
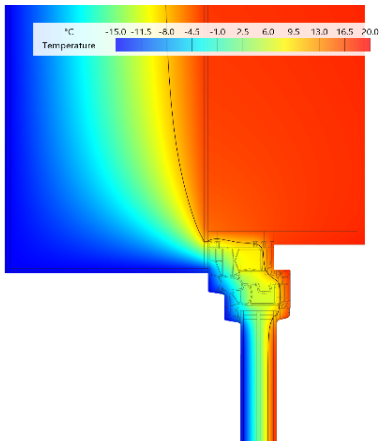


Seznam tabulek

Tabulka 1 - Šířka připojovací spáry.....	15
Tabulka 2 - Rozdíly hodnot povrchových teplot pro reálné podrobně modelované okno a pro modelové okno	39
Tabulka 3 - Lineární činitele prostupu tepla detailů	71
Tabulka 4 - Výpočet tepelného toku použitými konzolami	73
Tabulka 5 – Výpočet přidaného tepelného toku na styku okenní výplně a obvodové stěny	73
Tabulka 6 – Požadované a doporučené hodnoty "tepelných propustností styku pro okna normových rozměrů"	76
Tabulka 7 - Porovnání tepelné propustnosti okna a styku okenní výplně a obvodové stěny	77
Tabulka 8 - Vliv změny rozměru okna	79
Tabulka 9 - Porovnání výpočetního nástroje s výpočtem potřeby tepla na vytápění..	82

Přílohy

- 1) **Příloha 1 – Protokoly vybraných výpočtů z podrobné výpočetní analýzy** (tištěná příloha)
- 2) **Příloha 2 – Součinitelé tepelné vodivosti materiálů použitých v předběžné výpočetní analýze** (tištěná příloha)
- 3) **Příloha 3 – Součinitelé tepelné vodivosti materiálů použitých v podrobné výpočetní analýze** (tištěná příloha)
- 4) Příloha 4 – Výpočet součinitele prostupu tepla rámu – výstup (na CD)
- 5) Příloha 5 – Kontrola vytvořených modelů – výstup (na CD)
- 6) Příloha 6 – Tabulky a grafy z předběžné výpočetní analýzy (na CD)
- 7) Příloha 7 – Dokumentace průzkumu nabízených oken (na CD)
- 8) Příloha 8 – Tabulky a grafy z podrobné výpočetní analýzy (na CD)
- 9) Příloha 9 – Souhrnná tabulka výsledků podrobné výpočetní analýzy (na CD)
- 10) Příloha 10 – Schémata výpočetních modelů pro porovnání systémů předsazení (na CD)
- 11) Příloha 11 – Tabulky výpočtů z kapitoly 6.1 (na CD)
- 12) **Příloha 12 – Výpočetní nástroj** (na CD)
- 13) Příloha 13 – Výpočet potřeby tepla na vytápění (na CD)
- 14) Příloha 14 – Protokoly z podrobné výpočetní analýzy (na CD)
- 15) Příloha 15 – Protokoly z 3D výpočtů (na CD)

D001	Detail 1 - Plastové okno 88	strana 01																																		
<p>Popis: Skladba konstrukce: S1 - Železobeton 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm Okno: Plastové okno 88, $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ Montáž: Klasická (na vnější líc nosné konstrukce)</p>																																				
<p>Okrajové podmínky: Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2</p>																																				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Výsledky:</th> <th>Parapet</th> <th>Nadpraží</th> <th>Požadavky:</th> <th></th> <th>Vyhovuje:</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>θ_{si} (okenní výplň)</td> <td>12,8</td> <td>13,1</td> <td>7,7</td> <td>[°C]</td> <td rowspan="2" style="background-color: #008000; color: white; text-align: center;">ANO</td> </tr> <tr> <td>f_{Rsi} (okenní výplň)</td> <td>0,795</td> <td>0,803</td> <td>0,649</td> <td>[-]</td> </tr> <tr> <td>θ_{si} (stavební konstrukce)</td> <td>15,2</td> <td>17,0</td> <td>11,0</td> <td>[°C]</td> <td rowspan="2" style="background-color: #008000; color: white; text-align: center;">ANO</td> </tr> <tr> <td>f_{Rsi} (stavební konstrukce)</td> <td>0,862</td> <td>0,915</td> <td>0,744</td> <td>[-]</td> </tr> <tr> <td>ψ (styku ok. výp. a st. kce)</td> <td>0,09</td> <td>0,04</td> <td>0,10/0,03/0,01</td> <td>[W]/(m.K)]</td> <td style="background-color: #008000; color: white; text-align: center;">Požadované hodnotě</td> </tr> </tbody> </table>			Výsledky:	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:	θ_{si} (okenní výplň)	12,8	13,1	7,7	[°C]	ANO	f_{Rsi} (okenní výplň)	0,795	0,803	0,649	[-]	θ_{si} (stavební konstrukce)	15,2	17,0	11,0	[°C]	ANO	f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,862	0,915	0,744	[-]	ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,09	0,04	0,10/0,03/0,01	[W]/(m.K)]	Požadované hodnotě
Výsledky:	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:																															
θ_{si} (okenní výplň)	12,8	13,1	7,7	[°C]	ANO																															
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,795	0,803	0,649	[-]																																
θ_{si} (stavební konstrukce)	15,2	17,0	11,0	[°C]	ANO																															
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,862	0,915	0,744	[-]																																
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,09	0,04	0,10/0,03/0,01	[W]/(m.K)]	Požadované hodnotě																															
<p>Výpočetní modely detailů:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Parapet:</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Nadpraží a ostění:</p>  </div> </div> <p>Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.</p>																																				
<p>2D teplotní pole:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Parapet:</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Nadpraží a ostění:</p>  </div> </div> <p>Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).</p>																																				

D002	Detail 2 - Plastové okno 88	strana 02
-------------	------------------------------------	-----------

Popis:

Skladba konstrukce: S1 - Železobeton 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm
 Okno: Plastové okno 88, $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
 Montáž: Předšazená o 90 mm

Okrajové podmínky:

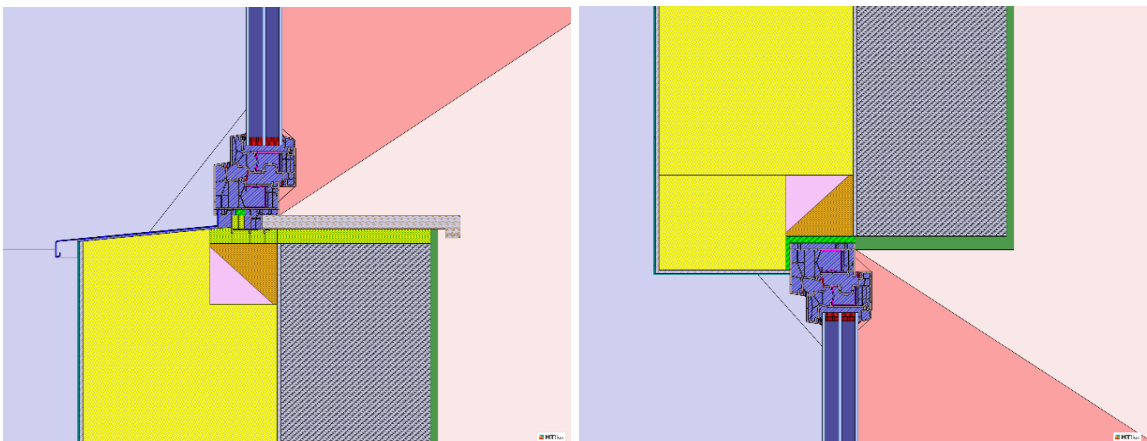
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2

Výsledky:	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	12,8	13,0	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,793	0,800	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	14,7	16,6	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,849	0,904	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,03	0,01	0,10/0,03/0,01	[W/(m.K)]	Doporučené hodnotě

Výpočetní modely detailů:

Parapet:

Nadpraží a ostění:

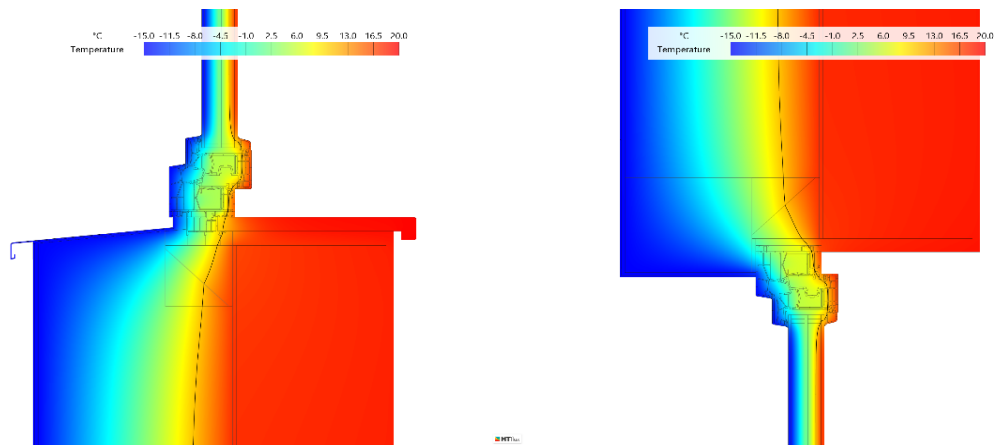


Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.

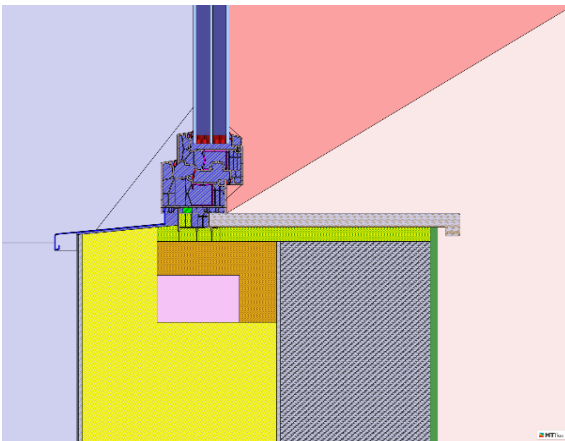
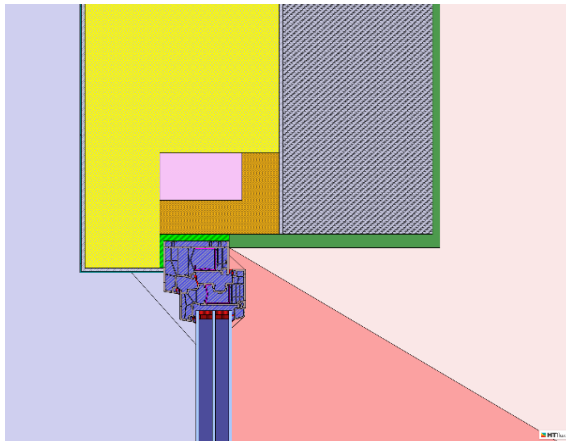
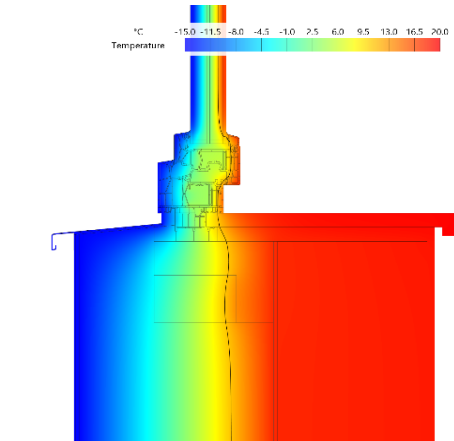
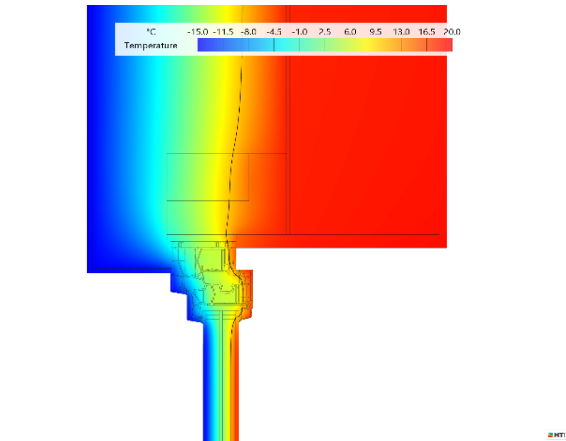
2D teplotní pole:

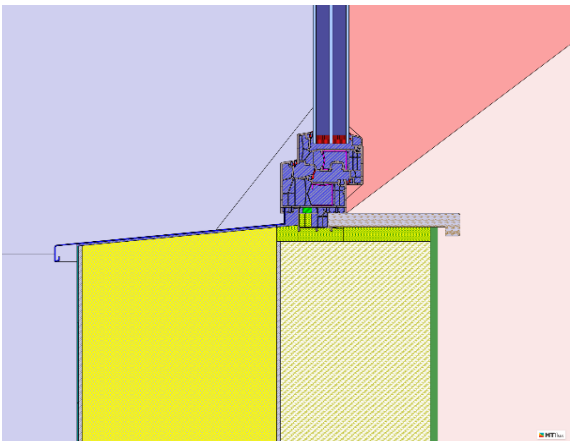
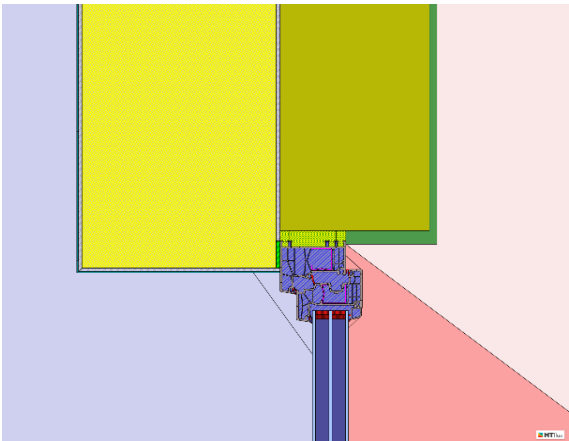
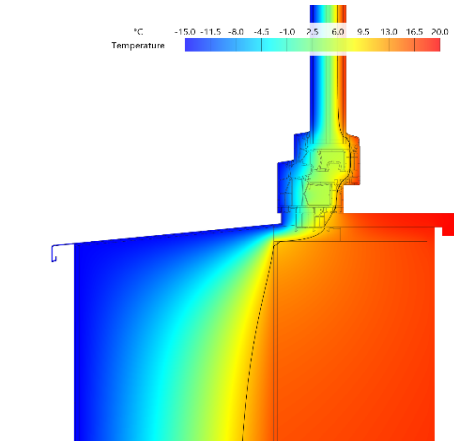
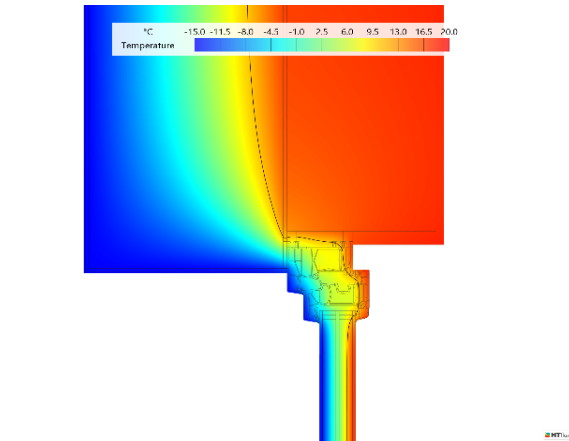
Parapet:

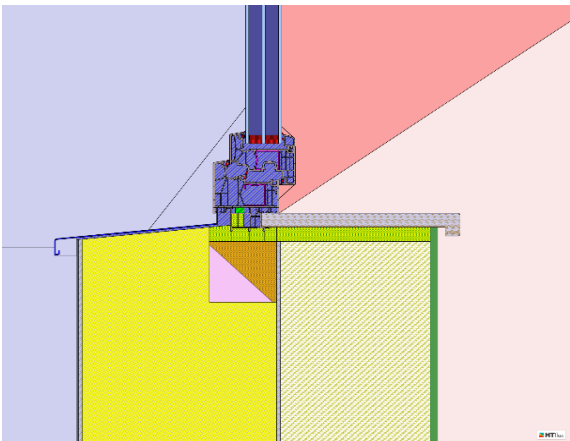
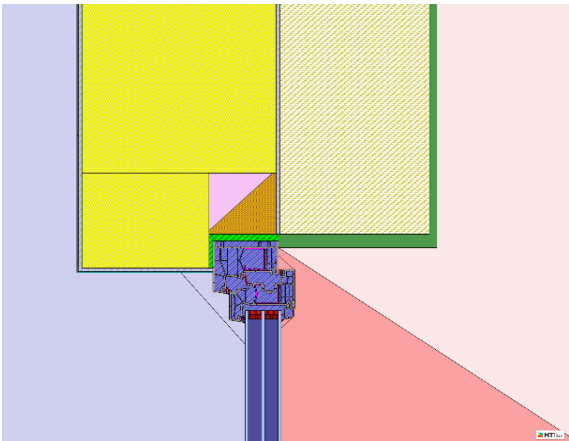
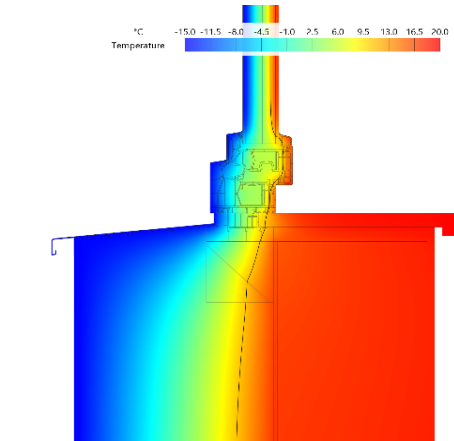
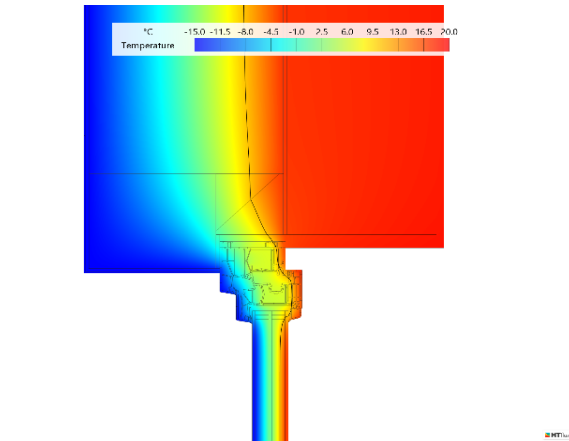
Nadpraží a ostění:



Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).

D003	Detail 3 - Plastové okno 88				strana 03
Popis:					
Skladba konstrukce: S1 - Železobeton 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm					
Okno: Plastové okno 88, U = 0,8 W/(m ² .K)					
Montáž: Předsazená o 160 mm					
Okrajové podmínky:					
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2					
Výsledky:					
	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	12,7	12,9	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,792	0,797	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	13,6	15,5	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,817	0,871	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,01	0,01	0,10/0,03/0,01	[W/(m.K)]	Dop. hodnotě pro PD
Výpočetní modely detailů:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.					
2D teplotní pole:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).					

D004	Detail 4 - Plastové okno 88				strana 04
Popis:					
Skladba konstrukce: S2 - Vápenopískové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm					
Okno: Plastové okno 88, $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$					
Montáž: Klasická (na vnější líc nosné konstrukce)					
Okrajové podmínky:					
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2					
Výsledky:					
	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	12,8	13,1	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,795	0,804	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	14,9	16,7	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,855	0,906	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,08	0,04	0,10/0,03/0,01	[W/(m.K)]	Požadované hodnotě
Výpočetní modely detailů:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.					
2D teplotní pole:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).					

D005		Detail 5 - Plastové okno 88			strana 05
Popis:					
Skladba konstrukce:		S2 - Vápenopískové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm			
Okno:		Plastové okno 88, $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$			
Montáž:		Předsazená o 90 mm			
Okrajové podmínky:					
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2					
Výsledky:					
	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	12,8	13,0	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,793	0,800	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	14,5	16,4	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,844	0,897	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,02	0,01	0,10/0,03/0,01	[W]/(m.K)]	Doporučené hodnotě
Výpočetní modely detailů:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.					
2D teplotní pole:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).					

D006	Detail 6 - Plastové okno 88	strana 06
-------------	------------------------------------	-----------

Popis:

Skladba konstrukce: S2 - Vápenopískové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm
 Okno: Plastové okno 88, $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
 Montáž: Předsazená o 160 mm

Okrajové podmínky:

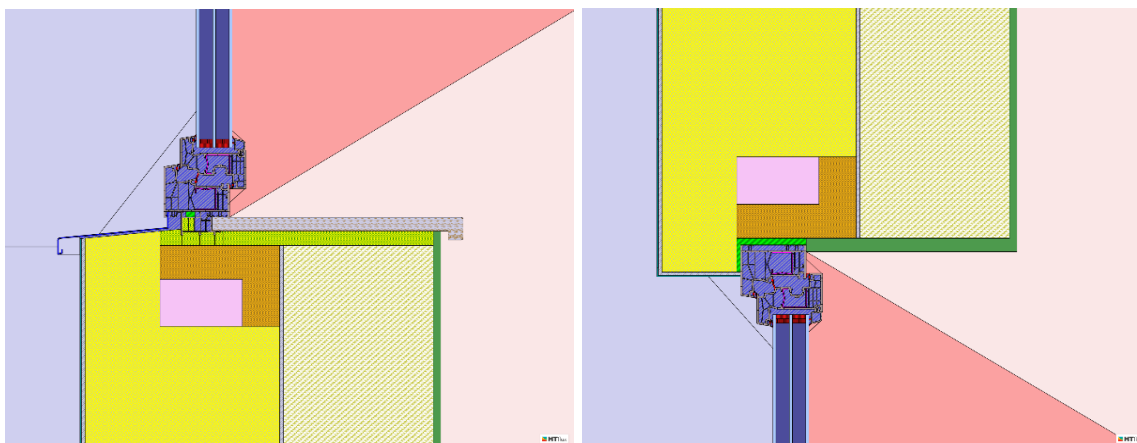
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2

Výsledky:	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	12,7	12,9	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,792	0,797	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	13,5	15,4	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,815	0,868	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,01	0,00	0,10/0,03/0,01	[W]/(m.K)]	Dop. hodnotě pro PD

Výpočetní modely detailů:

Parapet:

Nadpraží a ostění:

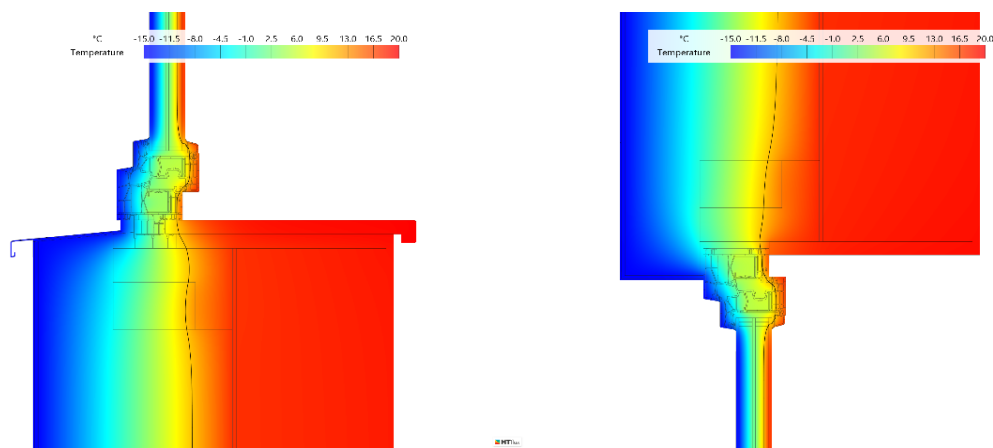


Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.

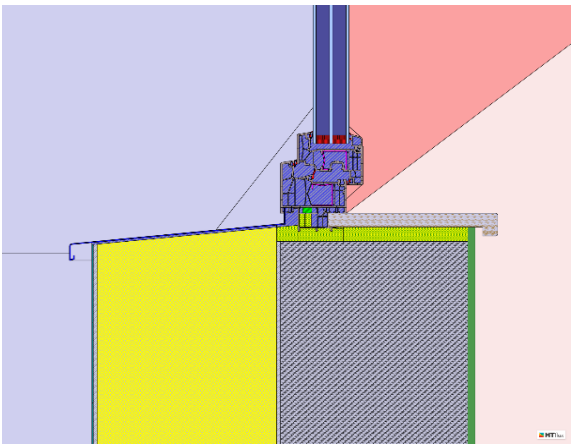
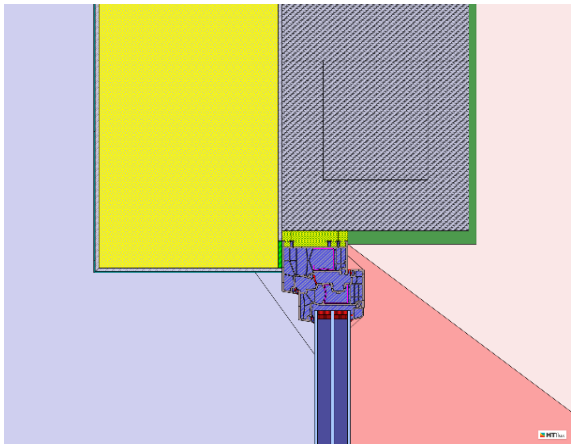
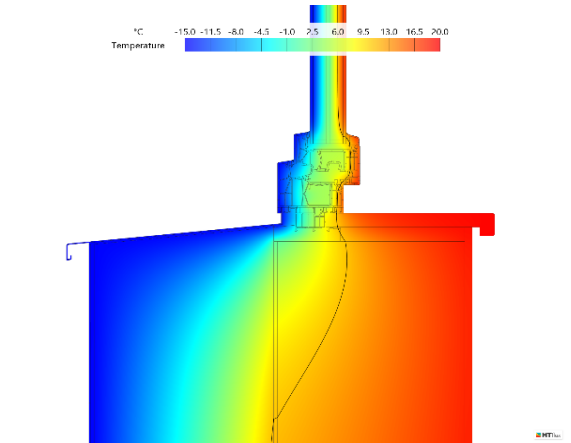
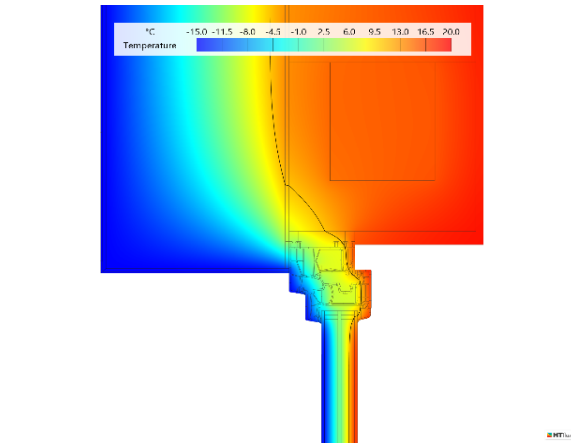
2D teplotní pole:

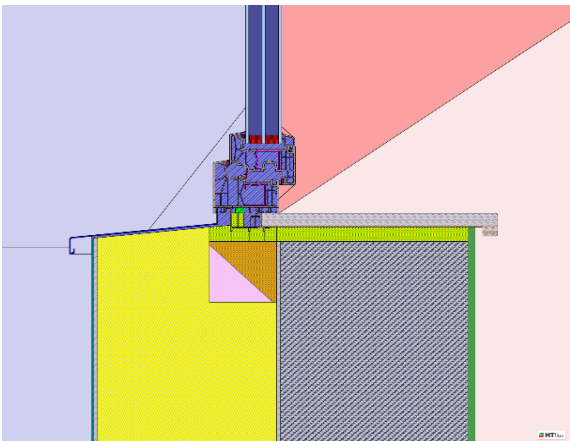
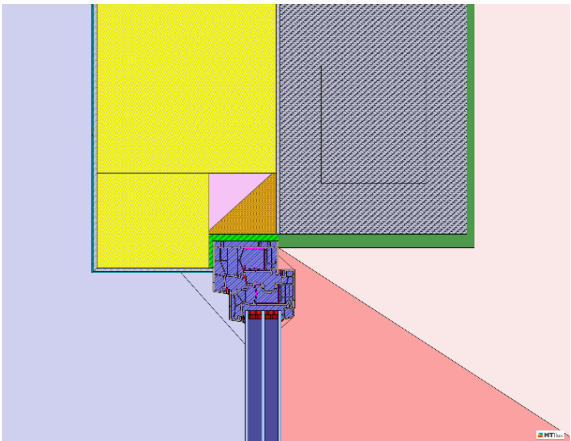
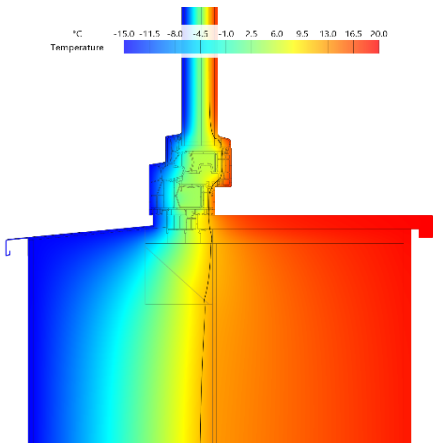
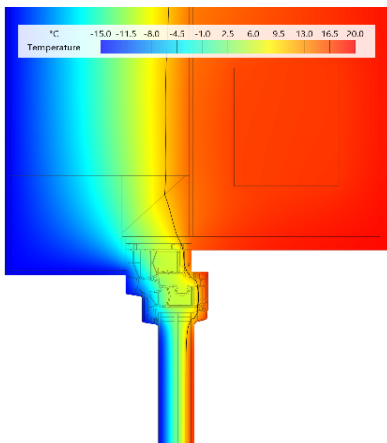
Parapet:

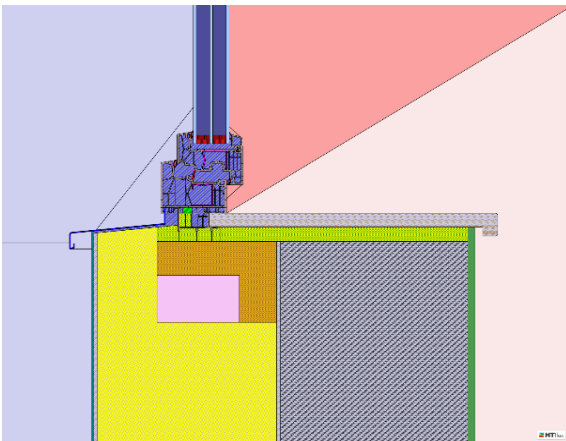
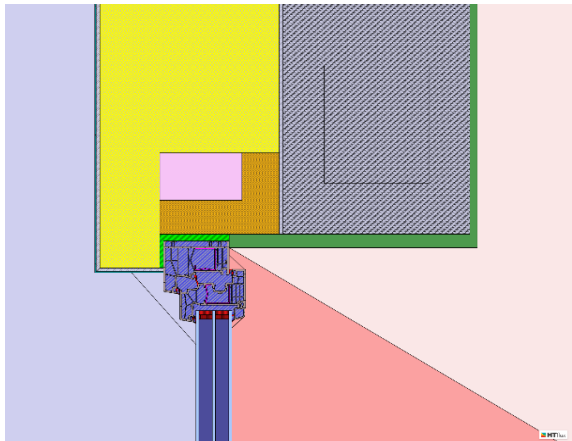
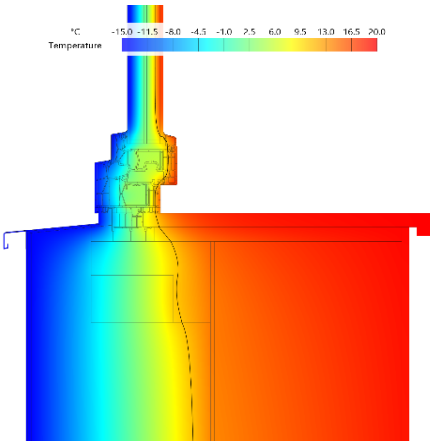
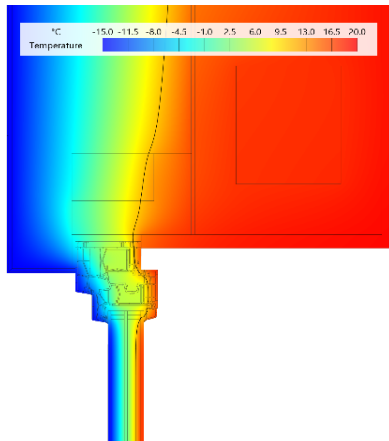
Nadpraží a ostění:

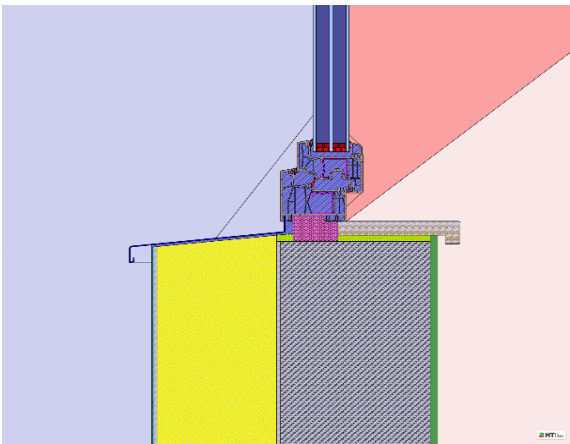
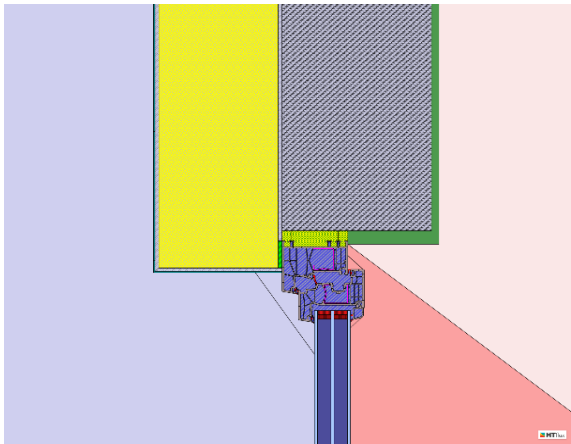
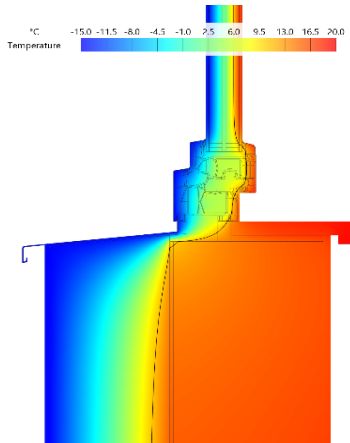
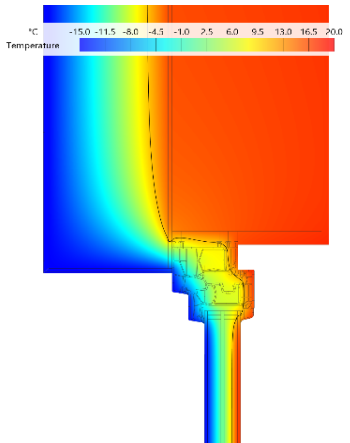


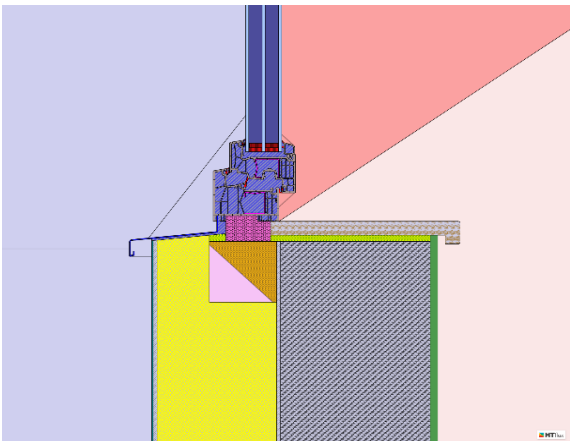
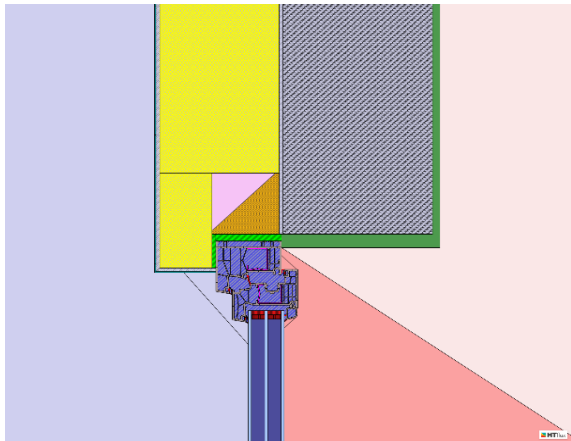
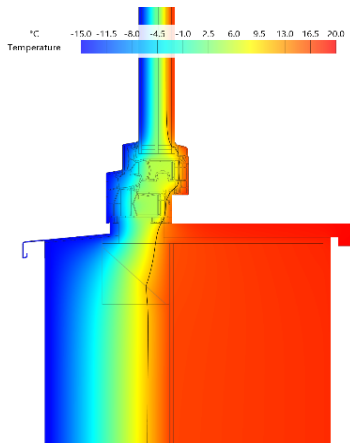
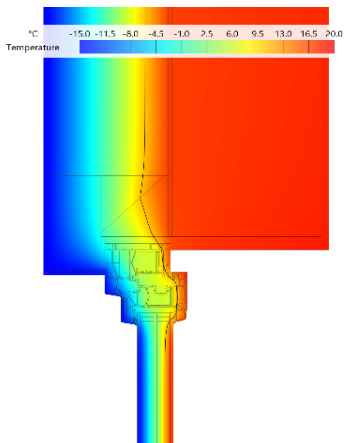
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).

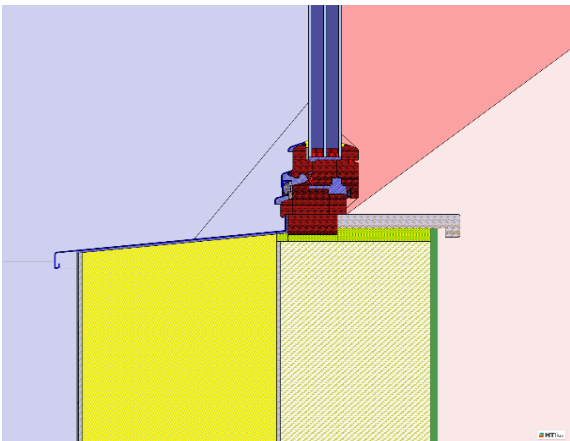
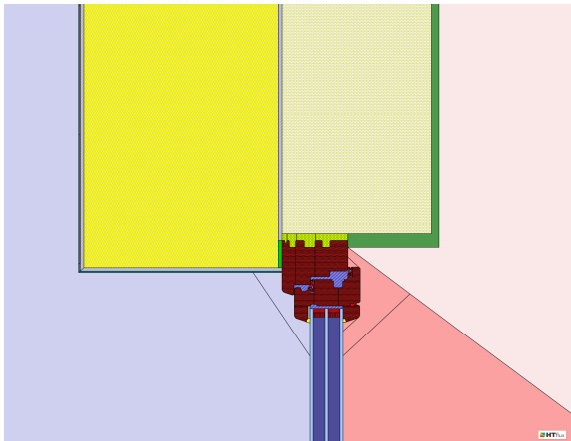
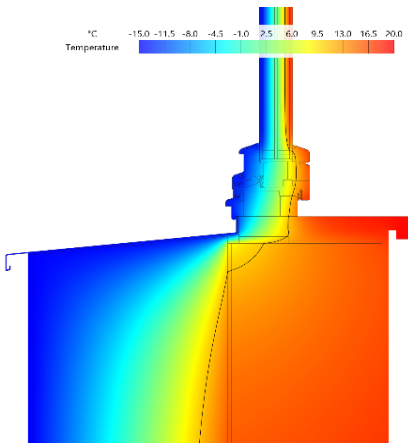
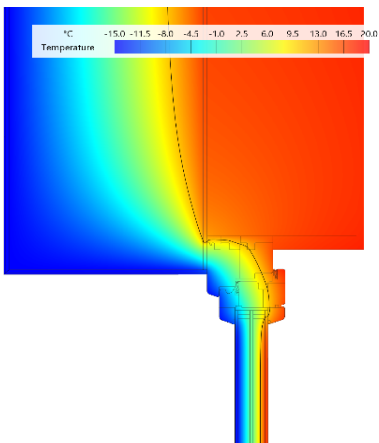
D007	Detail 7 - Plastové okno 88				strana 07
Popis:					
Skladba konstrukce: S3 - Pórobetonové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 240 mm					
Okno: Plastové okno 88, $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$					
Montáž: Klasická (na vnější líc nosné konstrukce)					
Okrajové podmínky:					
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2					
Výsledky:					
	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	12,7	13,0	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,793	0,801	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	13,8	16,2	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,822	0,891	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,04	0,02	0,10/0,03/0,01	[W]/(m.K)]	Požadované hodnotě
Výpočetní modely detailů:					
Parapet:			Nadpraží:		
					
Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.					
2D teplotní pole:					
Parapet:			Nadpraží:		
					
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).					

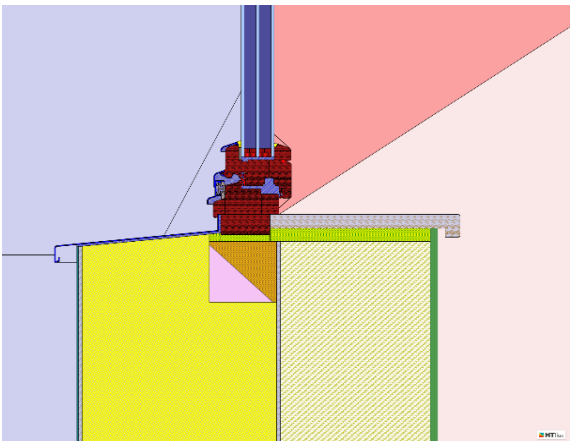
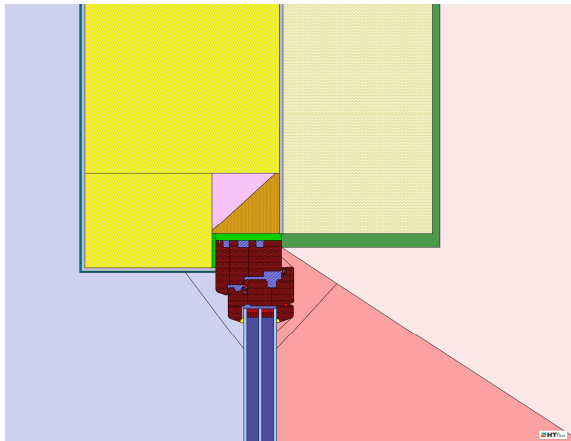
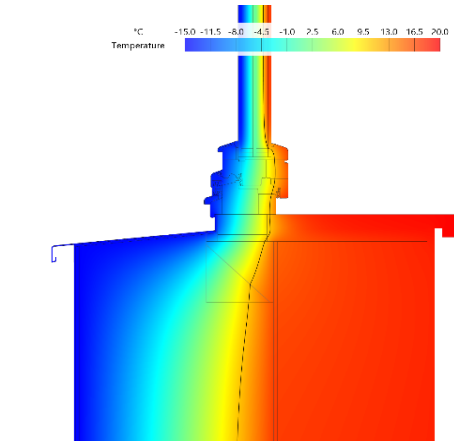
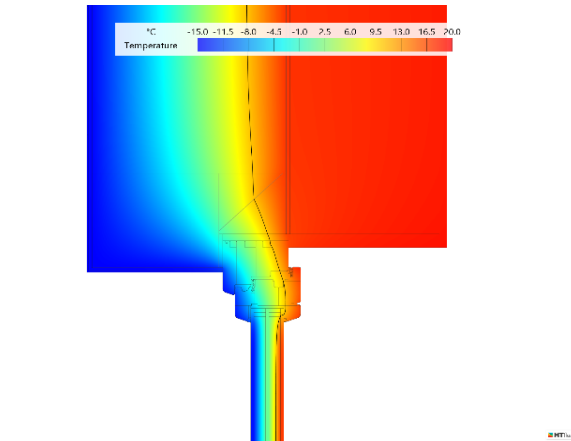
D008		Detail 8 - Plastové okno 88			strana 08	
Popis:						
Skladba konstrukce:		S3 - Pórobetonové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 240 mm				
Okno:		Plastové okno 88, $U = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$				
Montáž:		Předsazená o 90 mm				
Okrajové podmínky:						
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2						
Výsledky:						
		Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)		12,7	12,9	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)		0,792	0,798	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)		13,7	15,7	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)		0,819	0,878	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)		0,02	0,01	0,10/0,03/0,01	[W]/(m.K)]	Doporučené hodnotě
Výpočetní modely detailů:						
Parapet:			Nadpraží:			
						
Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.						
2D teplotní pole:						
Parapet:			Nadpraží:			
						
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).						

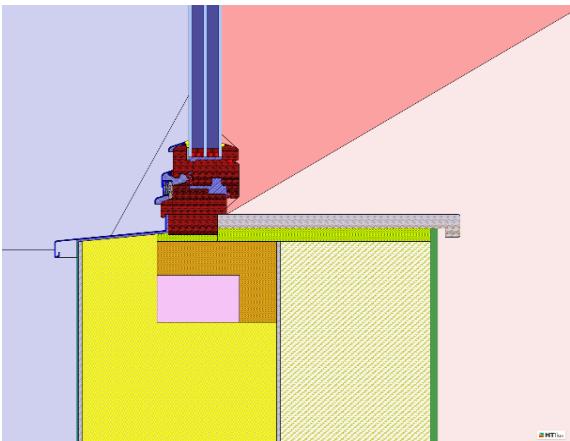
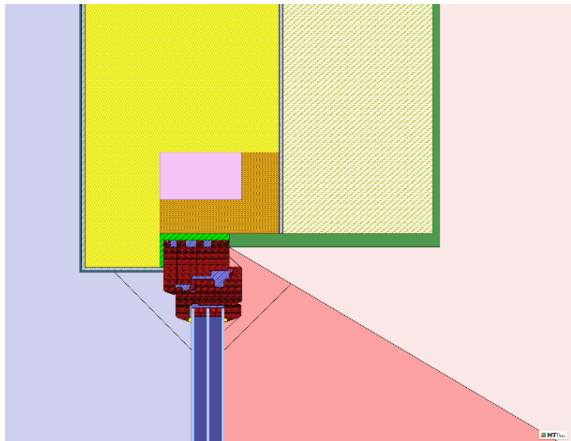
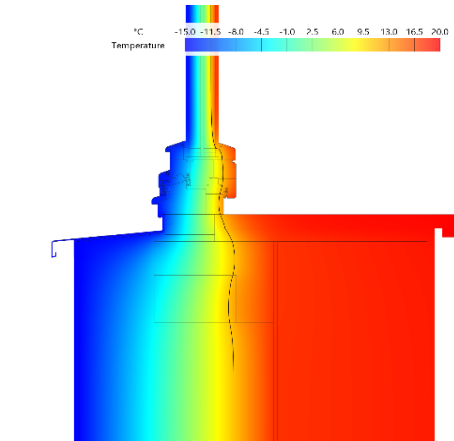
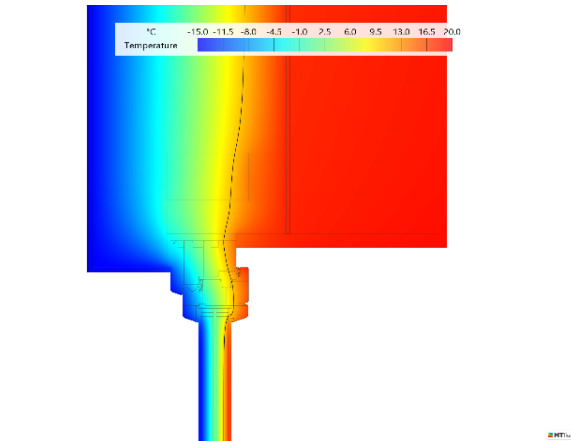
D009	Detail 9 - Plastové okno 88				strana 09
Popis:					
Skladba konstrukce: S3 - Pórobetonové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 240 mm					
Okno: Plastové okno 88, U = 0,8 W/(m ² .K)					
Montáž: Předsazená o 160 mm					
Okrajové podmínky:					
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2					
Výsledky:					
	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	12,7	12,9	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,792	0,796	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	13,2	15,3	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,806	0,866	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,01	0,01	0,10/0,03/0,01	[W/(m.K)]	Dop. hodnotě pro PD
Výpočetní modely detailů:					
Parapet:			Nadpraží:		
					
Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.					
2D teplotní pole:					
Parapet:			Nadpraží:		
					
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).					

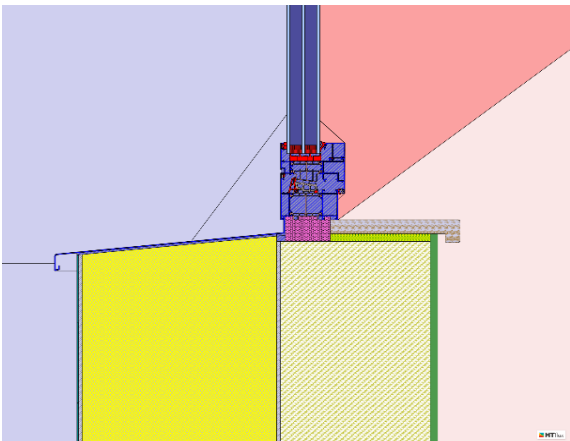
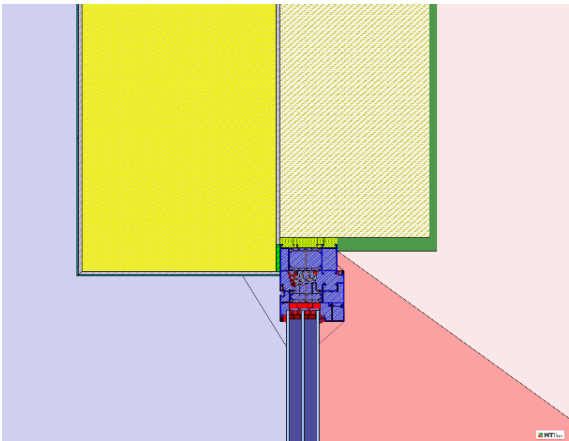
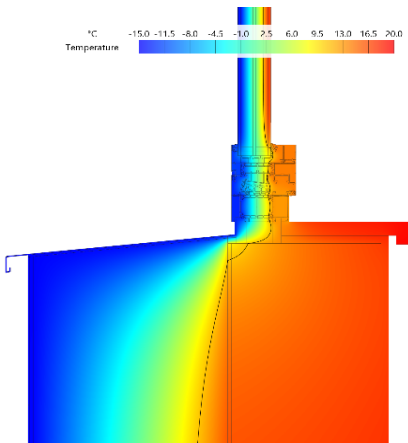
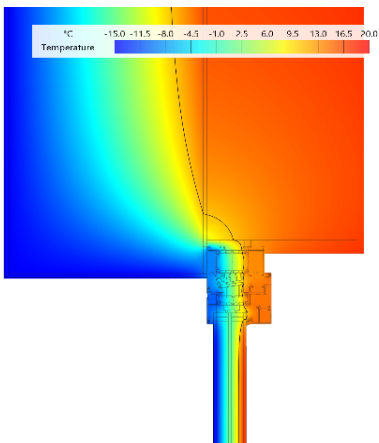
D010	Detail 10 - Plastové okno 88 + CF				strana 10
Popis:					
Skladba konstrukce: S4 - Železobeton 200 mm + Expandovaný polystyren 160 mm					
Okno: Plastové okno 88, U = 0,8 W/(m ² .K) + podkladní profil z Compacfoamu					
Montáž: Klasická (na vnější líc nosné konstrukce)					
Okrajové podmínky:					
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2					
Výsledky:					
	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	12,8	13,2	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,795	0,805	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	15,6	16,6	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,875	0,903	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,09	0,03	0,10/0,03/0,01	[W/(m.K)]	Požadované hodnotě
Výpočetní modely detailů:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.					
2D teplotní pole:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).					

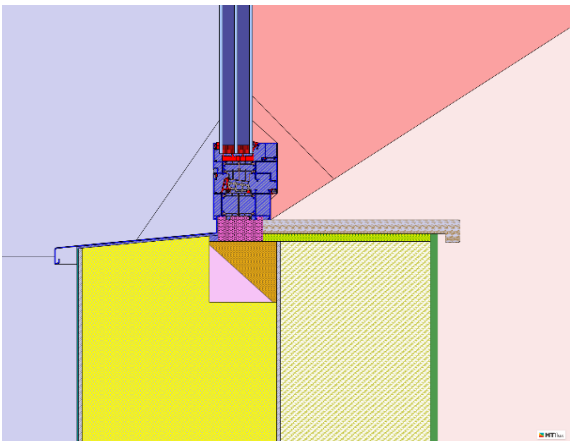
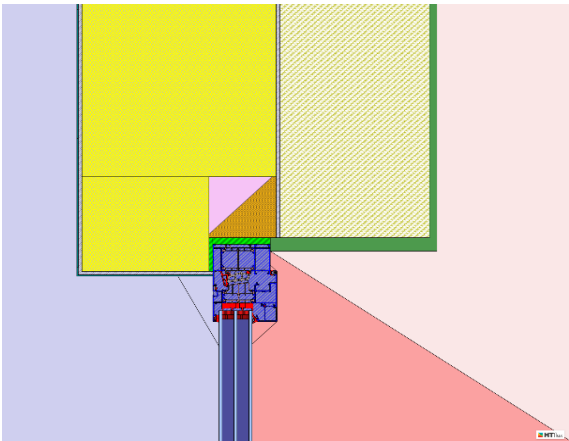
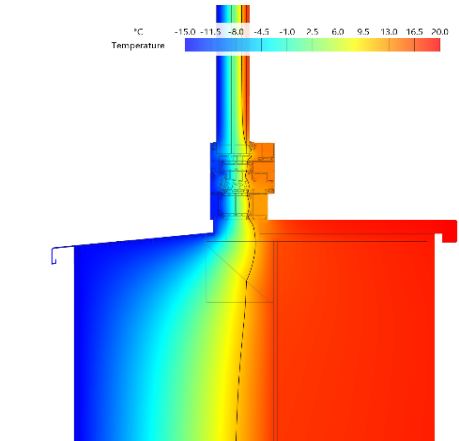
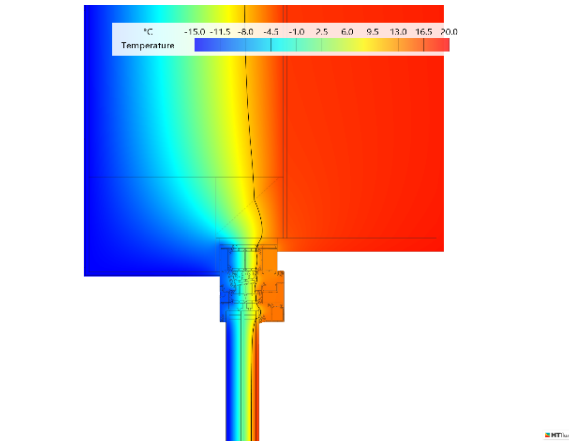
D011		Detail 11 - Plastové okno 88 + CF			strana 11
Popis:					
Skladba konstrukce:	S4 - Železobeton 200 mm + Expandovaný polystyren 160 mm				
Okno:	Plastové okno 88, U = 0,8 W/(m ² .K) + podkladní profil z Compacfoamu				
Montáž:	Předsazená o 90 mm				
Okrajové podmínky:					
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2					
Výsledky:					
	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	12,8	13,0	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,794	0,799	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	15,7	16,3	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,878	0,893	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,00	0,00	0,10/0,03/0,01	[W/(m.K)]	Dop. hodnotě pro PD
Výpočetní modely detailů:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.					
2D teplotní pole:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).					

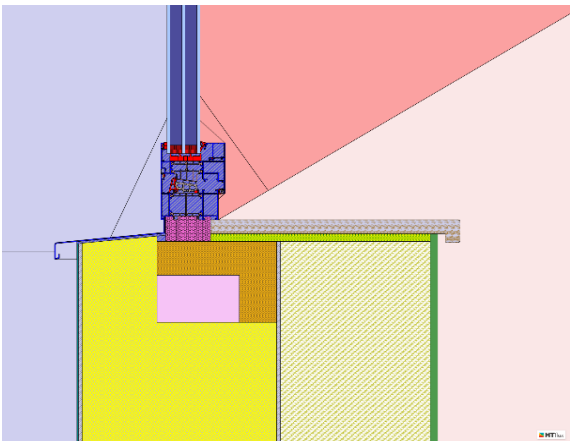
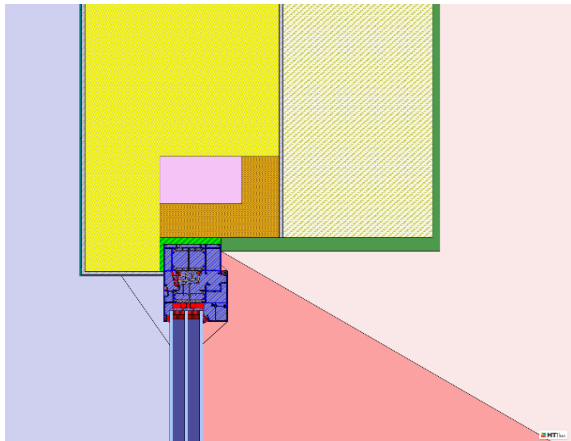
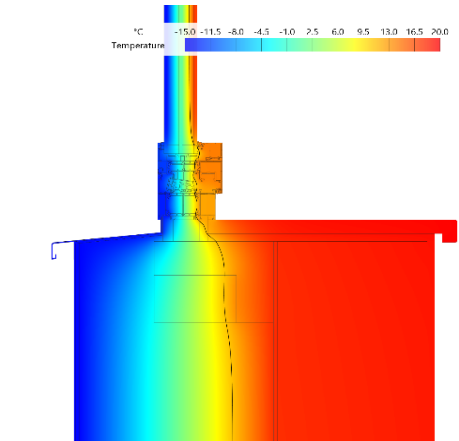
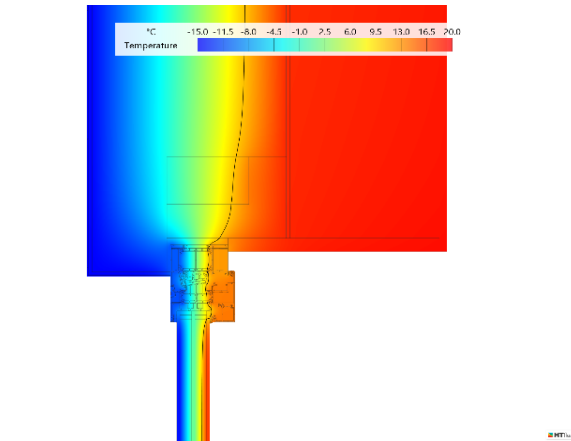
D012	Detail 12 - Dřevěné okno 88				strana 12
Popis:					
Skladba konstrukce: S2 - Vápenopískové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm					
Okno: Dřevěné okno 88, $U = 0,77 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$					
Montáž: Klasická (na vnější líc nosné konstrukce)					
Okrajové podmínky:					
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2					
Výsledky:					
	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	13,0	13,4	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,799	0,812	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	14,0	16,6	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,830	0,904	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,10	0,05	0,10/0,03/0,01	[W]/(m.K)]	Požadované hodnotě
Výpočetní modely detailů:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.					
2D teplotní pole:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).					

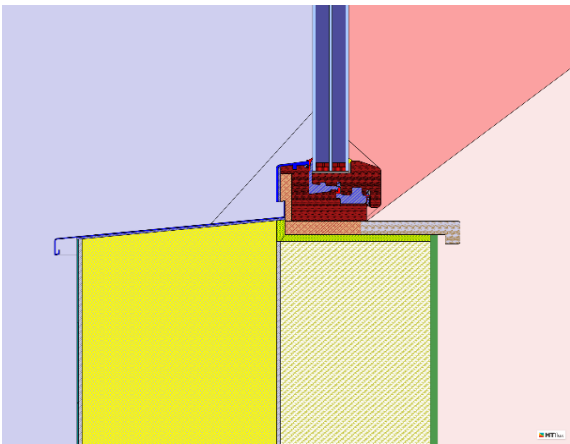
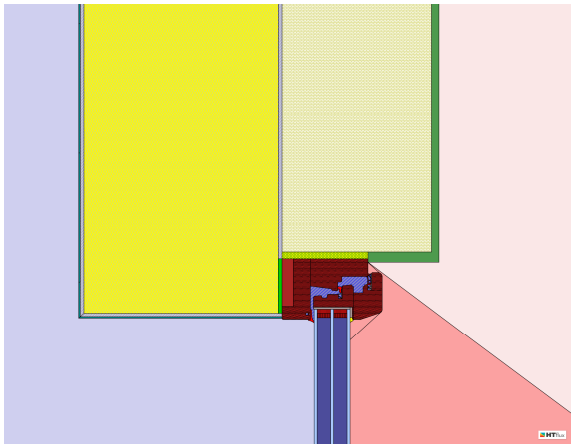
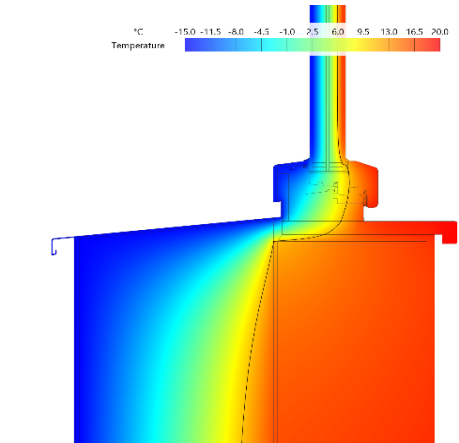
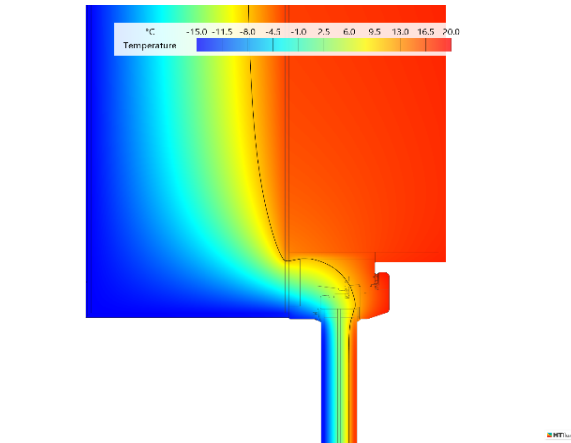
D013	Detail 13 - Dřevěné okno 88				strana 13
Popis:					
Skladba konstrukce: S2 - Vápenopískové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm					
Okno: Dřevěné okno 88, $U = 0,77 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$					
Montáž: Předsazená o 90 mm					
Okrajové podmínky:					
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2					
Výsledky:					
	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	12,9	13,3	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,798	0,809	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	13,6	16,8	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,818	0,909	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,02	0,01	0,10/0,03/0,01	[W/(m.K)]	Doporučené hodnotě
Výpočetní modely detailů:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.					
2D teplotní pole:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).					

D014	Detail 14 - Dřevěné okno 88	strana 14			
Popis:					
Skladba konstrukce:	S2 - Vápenopískové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm				
Okno:	Dřevěné okno 88, $U = 0,77 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$				
Montáž:	Předsazená o 160 mm				
Okrajové podmínky:					
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2					
Výsledky:	Parapet	Nadpraží	Požadavky:	Vyhovuje:	
θ_{si} (okenní výplň)	12,9	13,3	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,797	0,808	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	12,5	15,7	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,785	0,878	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,00	0,00	0,10/0,03/0,01	[W/(m.K)]	Dop. hodnotě pro PD
Výpočetní modely detailů:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.					
2D teplotní pole:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).					

D015	Detail 15 - Hliníkové okno 86 + CF	strana 15			
Popis:					
Skladba konstrukce:	S2 - Vápenopískové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm				
Okno:	Hliníkové okno 86, $U = 0,96 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ + podkladní profil z Compacfoamu				
Montáž:	Klasická (na vnější líc nosné konstrukce)				
Okrajové podmínky:					
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2					
Výsledky:					
θ_{si} (okenní výplň)	Parapet 12,7	Nadpraží 13,0	Požadavky: 7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,791	0,801	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	13,0	13,7	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,801	0,819	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,10	0,12	0,10/0,03/0,01	[W/(m.K)]	Požadované hodnotě
Výpočetní modely detailů:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.					
2D teplotní pole:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).					

D016	Detail 16 - Hliníkové okno 86 + CF				strana 16
Popis:					
Skladba konstrukce: S2 - Vápenopískové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm					
Okno: Hliníkové okno 86, $U = 0,96 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ + podkladní profil z Compacfoamu					
Montáž: Předšazená o 90 mm					
Okrajové podmínky:					
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2					
Výsledky:					
	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	12,7	12,9	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,790	0,798	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	13,8	13,7	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,823	0,821	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,02	0,02	0,10/0,03/0,01	[W/(m.K)]	Doporučené hodnotě
Výpočetní modely detailů:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.					
2D teplotní pole:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).					

D017	Detail 17 - Hliníkové okno 86 + CF				strana 17
Popis:					
Skladba konstrukce: S2 - Vápenopískové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm					
Okno: Hliníkové okno 86, $U = 0,96 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ + podkladní profil z Compacfoamu					
Montáž: Předšazená o 160 mm					
Okrajové podmínky:					
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2					
Výsledky:					
	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	12,6	12,8	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,789	0,795	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	13,3	13,0	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,808	0,799	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,01	0,02	0,10/0,03/0,01	[W/(m.K)]	Doporučené hodnotě
Výpočetní modely detailů:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.					
2D teplotní pole:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).					

D018	Detail 18 - Slavona Progression 115				strana 18
Popis:					
Skladba konstrukce: S2 - Vápenopískové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm					
Okno: Slavona Progression 115, $U = 0,72 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$					
Montáž: Klasická (na vnější líc nosné konstrukce)					
Okrajové podmínky:					
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2					
Výsledky:					
θ_{si} (okenní výplň)	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		ANO
	13,0	14,0	7,7	[°C]	
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,799	0,828	0,649	[-]	ANO
θ_{si} (stavební konstrukce)	16,6	17,3	11,0	[°C]	
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,903	0,923	0,744	[-]	Požadované hodnotě
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,07	0,03	0,10/0,03/0,01	[W/(m.K)]	
Výpočetní modely detailů:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.					
2D teplotní pole:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).					

D019	Detail 19 - Slavona Progression 115	strana 19
-------------	--	-----------

Popis:

Skladba konstrukce: S2 - Vápenopískové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm
 Okno: Slavona Progression 115, $U = 0,72 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
 Montáž: Předšazená o 90 mm

Okrajové podmínky:

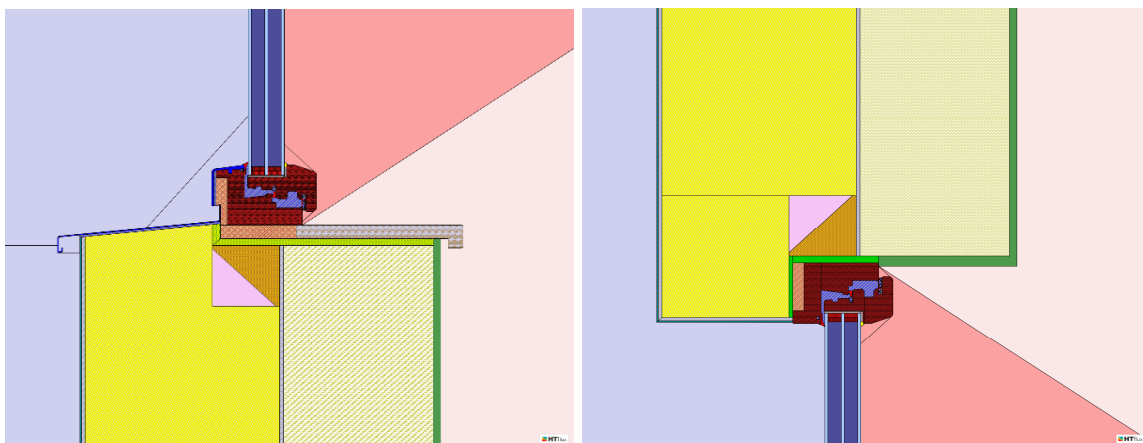
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2

Výsledky:	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	12,8	13,7	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,795	0,819	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	16,5	17,4	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,899	0,926	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,02	0,00	0,10/0,03/0,01	[W]/(m.K)]	Doporučené hodnotě

Výpočetní modely detailů:

Parapet:

Nadpraží a ostění:

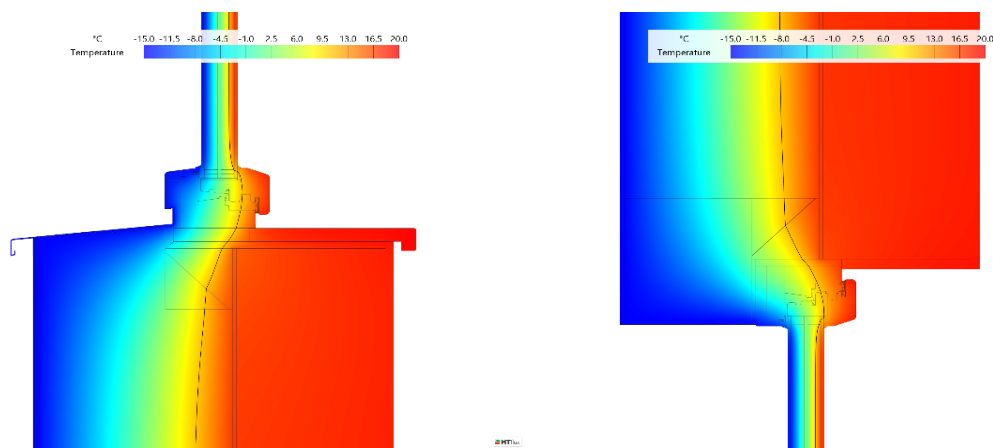


Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.

2D teplotní pole:

Parapet:

Nadpraží a ostění:



Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).

D020	Detail 20 - Slavona Progression 115	strana 20
-------------	--	-----------

Popis:

Skladba konstrukce: S2 - Vápenopískové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm
 Okno: Slavona Progression 115, $U = 0,72 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
 Montáž: Předšazená o 160 mm

Okrajové podmínky:

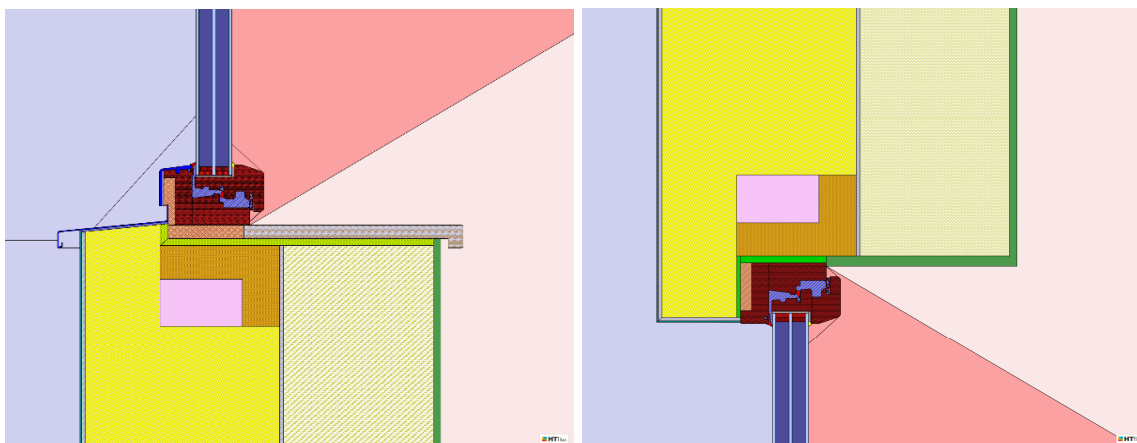
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2

Výsledky:	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	12,7	13,4	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,791	0,812	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	15,5	16,7	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,870	0,905	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,01	0,00	0,10/0,03/0,01	[W/(m.K)]	Dop. hodnotě pro PD

Výpočetní modely detailů:

Parapet:

Nadpraží a ostění:

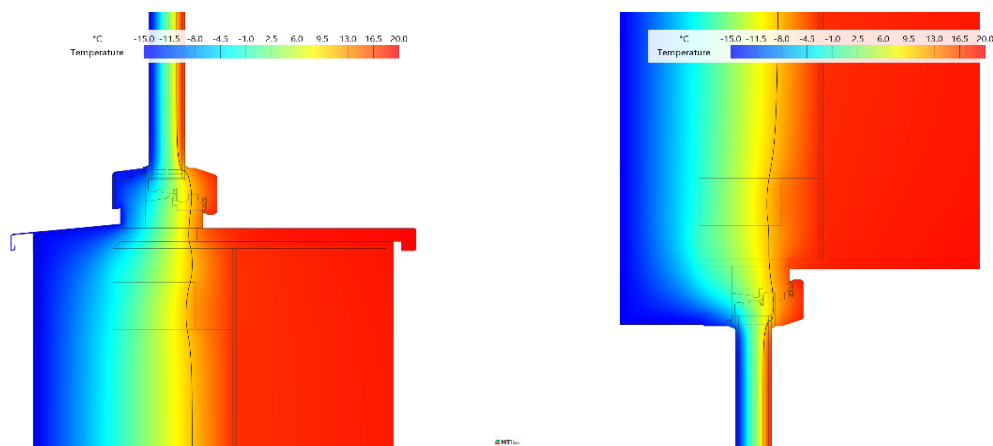


Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.

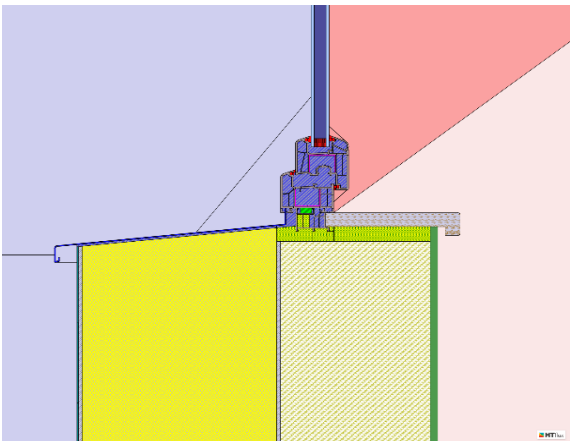
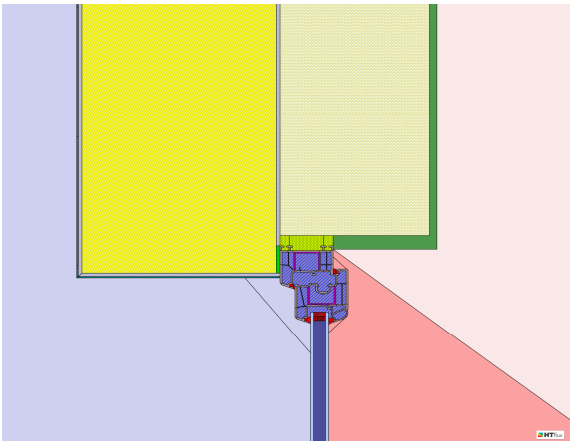
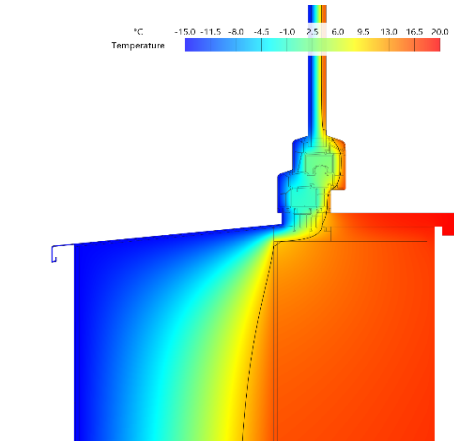
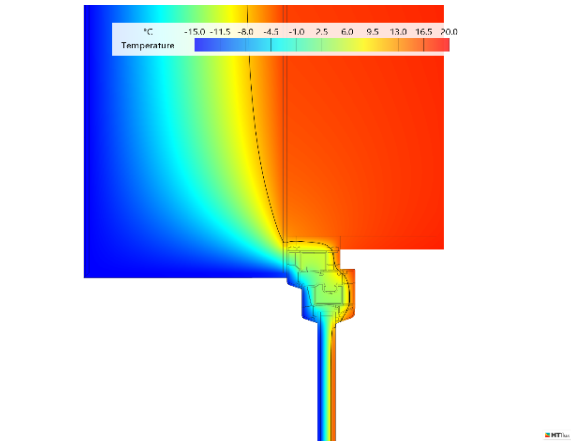
2D teplotní pole:

Parapet:

Nadpraží a ostění:



Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).

D021	Detail 21 - Plastové okno 71				strana 21
Popis:					
Skladba konstrukce: S2 - Vápenopískové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm					
Okno: Plastové okno 71, $U = 1,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$					
Montáž: Klasická (na vnější líc nosné konstrukce)					
Okrajové podmínky:					
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2					
Výsledky:					
	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	9,4	9,7	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,696	0,707	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	13,1	15,8	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,802	0,881	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,07	0,03	0,10/0,03/0,01	[W/(m.K)]	Požadované hodnotě
Výpočetní modely detailů:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.					
2D teplotní pole:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).					

D022	Detail 22 - Plastové okno 71	strana 22
-------------	-------------------------------------	-----------

Popis:

Skladba konstrukce: S2 - Vápenopískové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm
 Okno: Plastové okno 71, $U = 1,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
 Montáž: Předšazená o 90 mm

Okrajové podmínky:

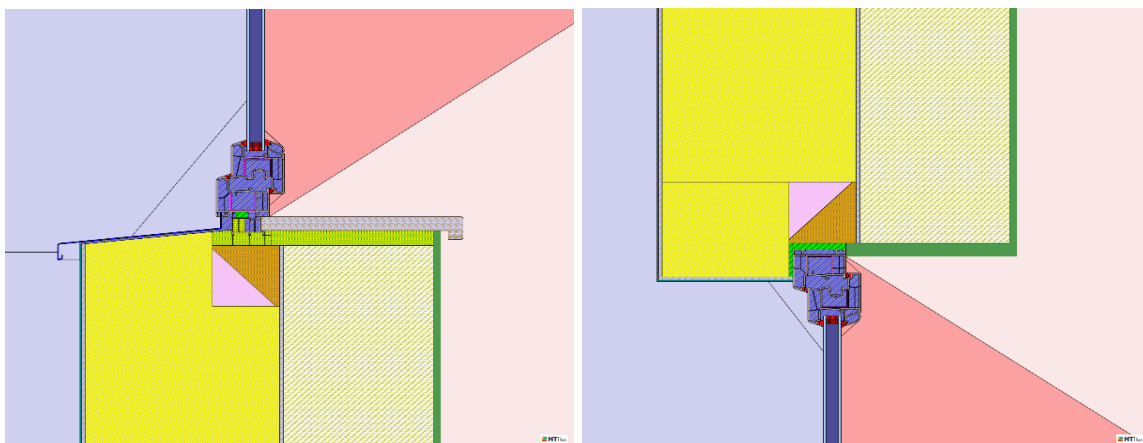
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2

Výsledky:	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	9,3	9,6	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,695	0,704	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	12,4	15,1	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,784	0,860	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,01	0,00	0,10/0,03/0,01	[W/(m.K)]	Dop. hodnotě pro PD

Výpočetní modely detailů:

Parapet:

Nadpraží a ostění:

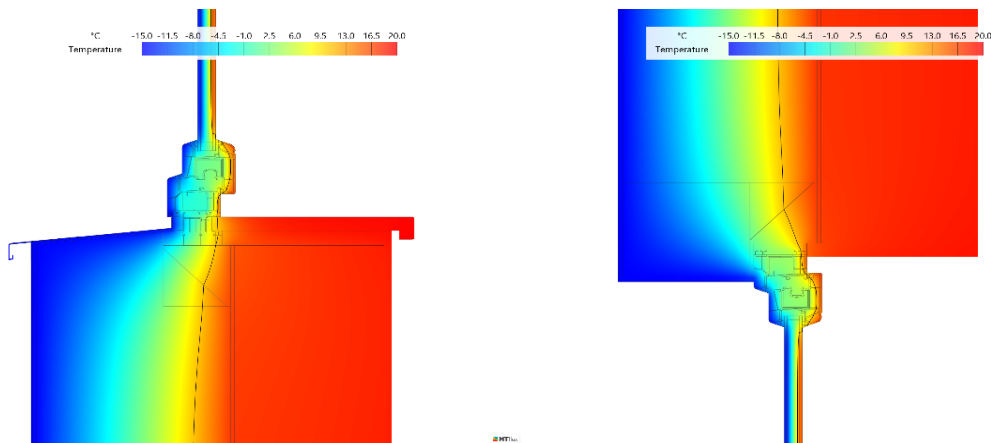


Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.

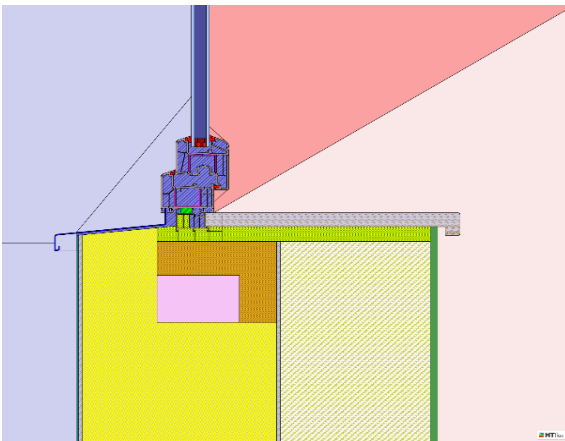
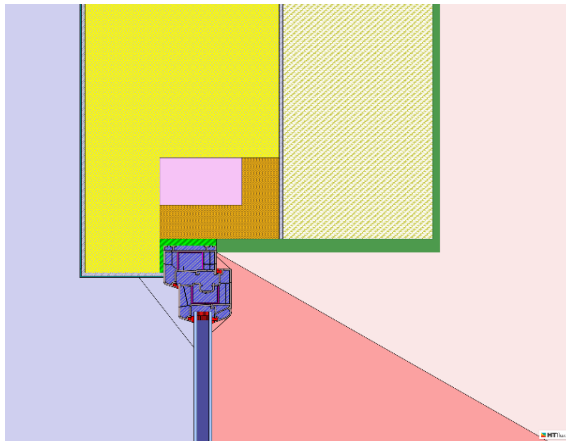
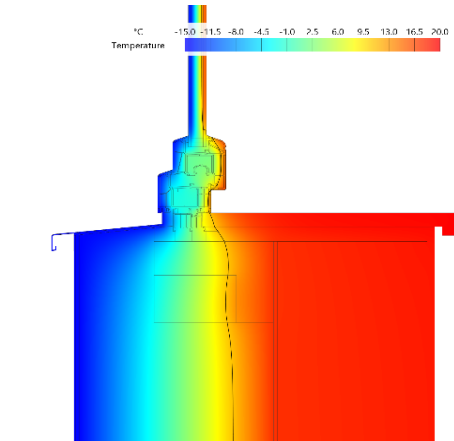
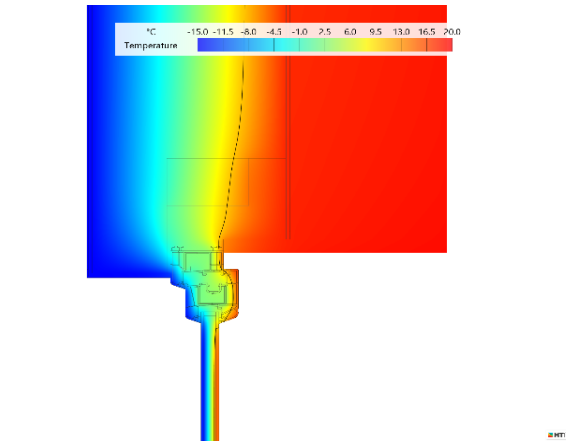
2D teplotní pole:

Parapet:

Nadpraží a ostění:



Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).

D023		Detail 23 - Plastové okno 71			strana 23
Popis:					
Skladba konstrukce:		S2 - Vápenopískové zdivo 200 mm + Expandovaný polystyren 260 mm			
Okno:		Plastové okno 71, $U = 1,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$			
Montáž:		Předsazená o 160 mm			
Okrajové podmínky:					
Okrajové podmínky a hodnoty odporů při přestupu tepla jsou uvedeny v kapitole 4.2.2					
Výsledky:					
	Parapet	Nadpraží	Požadavky:		Vyhovuje:
θ_{si} (okenní výplň)	9,3	9,6	7,7	[°C]	ANO
f_{Rsi} (okenní výplň)	0,695	0,703	0,649	[-]	
θ_{si} (stavební konstrukce)	11,6	14,0	11,0	[°C]	ANO
f_{Rsi} (stavební konstrukce)	0,759	0,827	0,744	[-]	
ψ (styku ok. výp. a st. kce)	0,01	0,00	0,10/0,03/0,01	[W/(m.K)]	Dop. hodnotě pro PD
Výpočetní modely detailů:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Jedná se o výřezy, skutečné výpočetní modely mají délku stěny 1100 mm a délku zasklení 400 mm.					
2D teplotní pole:					
Parapet:			Nadpraží a ostění:		
					
Izoterma odpovídá kritickému teplotnímu faktoru pro stavební konstrukce (11°C).					

