

PŘEDSAZENÁ MONTÁŽ OKEN

*Pavel Kasal, **

Katedra betonových a zděných konstrukcí, Fakulta stavební,
České vysoké učení technické v Praze, Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6, Česká republika.
pavel.kasal@fsv.cvut.cz

ABSTRAKT

Tento příspěvek se zabývá předsazenou montáží oken. 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. Je zde také zahrnuto porovnání systému, který řeší předsazení pomocí konzol se systémem, který vytváří sekundární ostění. Porovnává klasickou a předsazenou montáž z hlediska tepelných ztrát. Na výpočtu potřeby tepla na vytápění pro modelový dům ukazuje potenciál úspory vlivem realizace předsazené montáže a krátce představuje výpočetní nástroj pro výpočet finanční úspory za vytápění vlivem realizace předsazené montáže.

KLÍČOVÁ SLOVA

Předsazená montáž oken • Lineární činitel prostupu tepla • Nejnižší vnitřní povrchová teplota • 2D teplotní pole • Výplň otvoru

ABSTRACT

The paper dealing with thermally separated installation of windows. The main part of the paper 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 paper evaluates the lowest internal surface temperature and linear thermal transmittance. Based on the evaluation of analysis, the paper recommends a suitable window position and the suitable types of the window for thermally separated installation of windows. The paper also compares systems of steel cantilevers with secondary jambs. The paper 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.

KEYWORDS

Thermally separated installation of windows • Linear thermal transmittance • The lowest internal surface temperature • 2D temperature field • Infill of openings

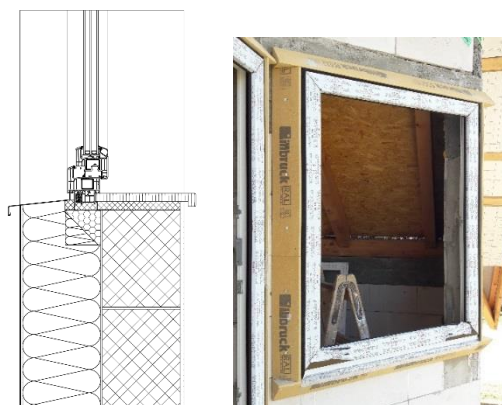
1. ÚVOD

Předmětem příspěvku jsou výsledky diplomové práce, která se zabývá předsazenou montáží oken. Příspěvek je takto zaměřen, protože výsledky dosažené v právě zahájeném doktorandském studiu zatím neumožňují prezentaci na workshopu doktorandů.

Okenní výplně v poslední době zaznamenávají výrazný pokrok a stává se více dominantní tepelná ztráta na styku okenní výplně a obvodové stěny. Snížení této tepelné ztráty je jedním z důvodů, proč se v poslední době častěji přistupuje k osazení okna do roviny tepelné izolace – k předsazené montáži. Používání předsazené montáže přineslo do stavební praxe řadu otázek a cílem odborné práce bylo na ně odpovědět.

1.1. Předsazená montáž

Zatímco u klasické montáže se osazuje okno do roviny nosné či výplňové konstrukce, u předsazené montáže se okno osazuje do roviny hlavní tepelné izolační vrstvy, tedy před rovinu nosné či výplňové konstrukce.



Obrázek 1: Příklad předsazené montáže.

* Školitel: prof. Ing. Jan L. Vítek, Csc., FEng.

Obrázek 1 zobrazuje příklad předsazené montáže pomocí systémového řešení Tremco – Illbruck s předsazením 90 mm u zděného rodinného domu v obci Sibřina u Prahy.

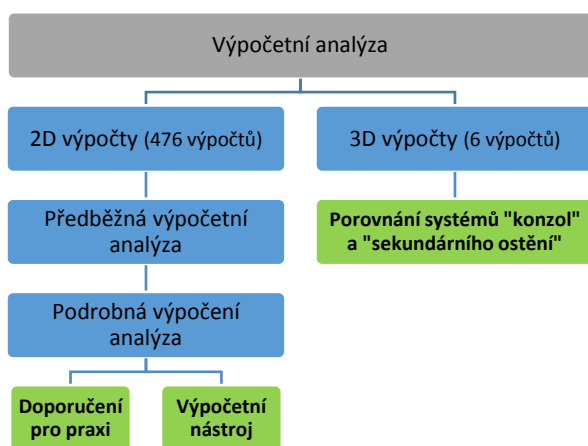
1.2. Cíl odborné práce

Cílem odborné práce bylo na základě rozsáhlé výpočtové analýzy odpovědět zejména na tyto konkrétní otázky:

- 1) O jakou vzdálenost je vhodné okno předsadit? Tedy stanovení hloubky osazení okna, použitelné pro různé varianty obvodových stěn, která bude vhodná z hlediska minimalizace tepelných ztrát, příznivých hodnot povrchových teplot a realizovatelnosti.
- 2) 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?
- 3) Jaké tepelně technické parametry má mít okno vhodné pro předsazenou montáž?
- 4) Jaký je rozdíl mezi systémem předsazené montáže pomocí „konzol“ a pomocí „sekundárního ostění“ z pohledu tepelné propustnosti styku okenní výplně a stavební konstrukce?
- 5) Jaký je přínos předsazené montáže z hlediska snížení tepelných ztrát budovy?

2. VÝPOČETNÍ ANALÝZA

Pro zodpovězení otázek byl na základě studia problematiky okenních výplní a podrobného se seznámení se systémy předsazené montáže sestaven postup výpočetní analýzy. Obrázek 2 zobrazuje schéma výpočetní analýzy.



Obrázek 2: Schéma výpočetní analýzy.

Největší část výpočetní analýzy je věnována výpočtům ve 2D teplotním poli. Pro tyto výpočty byl použit rakouský výpočetní software HTflux. Nejprve byla provedena předběžná výpočetní analýza s jednoduchými modely oken. Tato analýza obsahuje celkem 328 výpočtů. Na základě výsledků byly vybrány detaily, které byly dále posuzovány v podrobné výpočetní analýze s podrobnými modely oken a okolní konstrukce. V rámci této výpočetní analýzy bylo provedeno

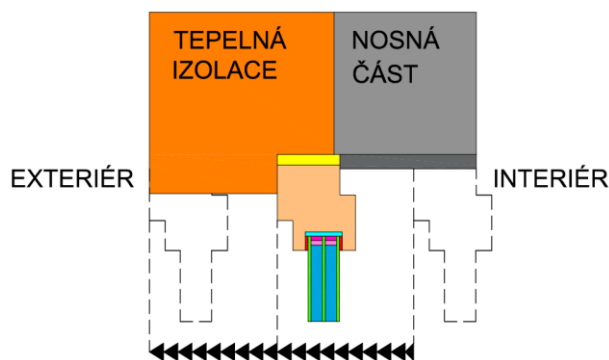
148 výpočtů. Na základě vyhodnocení výpočtů byly sepsány doporučení pro praxi a sestaven výpočetní nástroj pro výpočet finanční úspory vlivem realizace předsazené montáže.

Druhou částí výpočetní analýzy byla 3D výpočetní analýza, ve které byly porovnány dva systémy předsazené montáže z hlediska tepelné propustnosti styku okenní výplně a stavební konstrukce. První systém řeší předsazení pomocí ocelových konzol a druhý pomocí sekundárního ostění.

2.1. 2D výpočetní analýza

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 a dalších) na sledované veličiny – nejnižší vnitřní povrchovou teplotu a lineární činitel prostupu tepla.

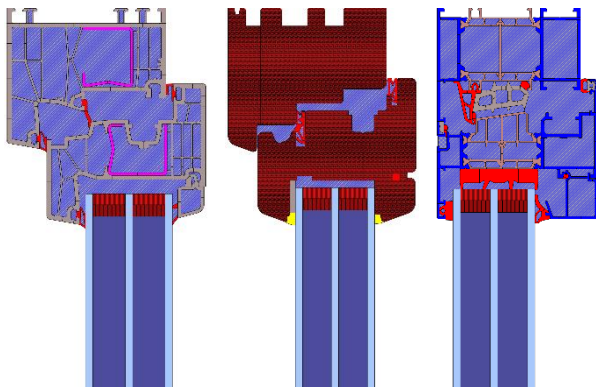
Předběžná výpočetní analýza je zaměřena na vysvětlení vzájemných souvislostí, nikoliv na porovnávání přesných hodnot. V této části analýzy jsou výpočty realizovány na dvou jednoduchých výpočetních modelech oken, které byly sestaveny tak, aby geometrie i průstup tepla v jednotlivých částech byl srovnatelný jako u podrobných modelů. Důvodem použití jednoduchých výpočetních modelů je možnost efektivního provedení velkého množství výpočtů. Dále jsou zde zastoupeny tři typy skladeb, vybrané tak, aby bylo možné zjistit vliv materiálu nosné konstrukce i různé tloušťky izolace. Výpočty byly prováděny pro detail parapetu a nadpraží. Detail ostění byl v rámci předběžné výpočetní analýzy uvažován jako shodný s detailem nadpraží. Ve výpočtech je výpočetní model okna postupně posouván od vnitřního líce stěny až k vnějšímu líci izolace a jsou prováděny výpočty nejnižších vnitřních povrchových teplot a lineárních činitelů prostupu tepla styku okenní výplně a obvodové stěny. Obrázek 3 zobrazuje schéma postupného posunu okna je zobrazen také jednoduchý model okna. Z výsledků jsou pak zjištěny vlivy již zmíněných faktorů a vybrány varianty detailů pro podrobný výpočet.



Obrázek 3: Schéma postupného posunu okna.

Podrobná výpočetní analýza je zaměřena na porovnávání přesných hodnot sledovaných veličin u tří poloh okna - klasické montáže, předsazené montáže s předsazením 90 mm a 160 mm. Předsazením se rozumí vzdálenost vnějšího líce nosné konstrukce a vnějšího líce okna. Na rozdíl od první části jsou okna i ostatní části detailu modelovány podrobně.

Výpočtu bylo podrobena pět oken (dvě plastová, jedno dřevěné, hliníkové a progresivní dřevěné okno) a čtyři skladby obvodové stěny v různých vzájemných kombinacích. Obrázek 4 zobrazuje příklady podrobných výpočetních modelů oken použitých ve výpočetní analýze.



Obrázek 4: Příklad tří podrobných výpočetních modelů oken (plastové, dřevěné, hliníkové).

2.2. 3D výpočetní analýza

Cílem této výpočetní analýzy je porovnání dvou systémů předsazené montáže z hlediska přidaného tepelného toku. Obrázek 5 zobrazuje srovnávané systémy. První systém řeší předsazení pomocí ocelových konzol. Druhý systém vytváří po obvodu okenní výplně sekundární ostění z profilu na bázi polyuretanu.



Obrázek 5: Porovnávané systémy montáže.

Vzhledem k tomu, že ocelová konzola je prostorový prvek umístěvaný lokálně, byl pro tuto výpočetní analýzu použit i software CUBE 3D, který umožňuje výpočty ve 3D teplotním poli.

Nejprve byl vypočten bodový činitel prostupu tepla pro konzolu v parapetu, ostění a nadpraží. Dále byl vypočten lineární činitel prostupu tepla styku okenní výplně a stěnové konstrukce pro oba dva systémy. Následně byly dopočteny tepelné propustnosti styku okenní výplně a obvodové stěny pro

typickou velikost okna pro oba dva systémy. Hodnoty těchto propustností byly nakonec porovnány pro určení, který systém dosahuje lepších výsledků z hlediska tepelné propustnosti posuzovaného styku.

2.3. Výpočetní nástroj pro porovnání tepelných ztrát

Cílem bylo vytvoření nástroje, který s malým množstvím vstupních údajů umožní získat srozumitelné a relevantní výsledky. Výpočetní nástroj využívá výsledky z podrobné výpočetní analýzy a umožňuje výpočet finanční úspory za vytápění vlivem realizace předsazené montáže místo klasické montáže pro konkrétní dům. Vstupními hodnotami, které musí uživatel zadat či vybrat z nabídky jsou: vnitřní teplota, lokalita, rozměry a počty oken, typ okna a obvodové konstrukce, cena za kWh tepelné energie. 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 90 mm. Jedná se o zjednodušený postup výpočtu, který mírně nadhodnocuje přínos předsazené montáže.

3. VÝSLEDKY

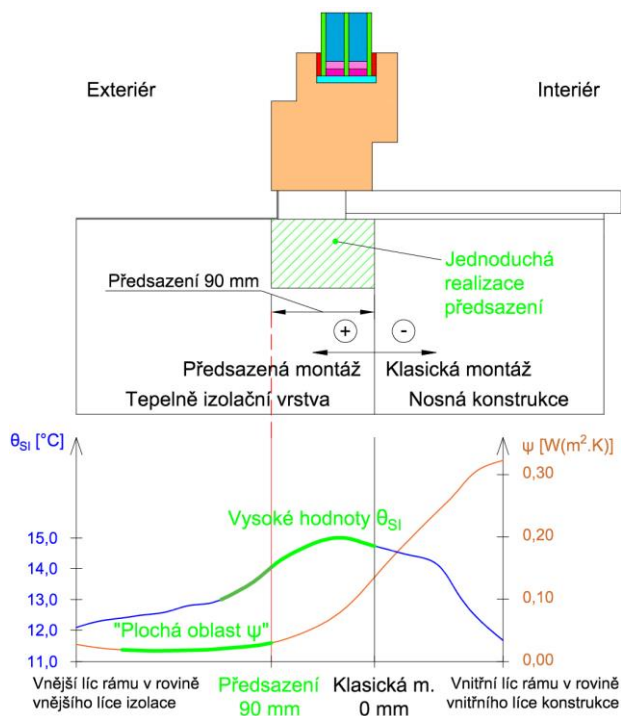
3.1. Závislost veličin na hloubce osazení

Z výsledků výpočetní analýzy vyplývá, 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 snížení 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 6).

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 6), kdy konstrukce stěny přivádí teplo do kritického místa. Zároveň je částečně redukována tepelná ztráta styku okenní výplně a obvodové stěny 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 6 na styku okenní výplně a obvodové stěny v oblasti parapetu. Graf na obrázek 6 je typický pro skladby s nosnou konstrukcí s vysokým součinitelem tepelné vodivosti, jako je například železobeton.



Obrázek 6: Schéma vhodné vzdálenosti předsazení s grafem typickým pro skladbu s běžnou tepelnou izolací a železobetonovou nosnou konstrukcí.

3.2. Vhodná poloha okenní výplně

Na základě provedené výpočetní analýzy lze doporučit předsazení oken o 90 mm z následujících důvodů (schéma - obrázek 6):

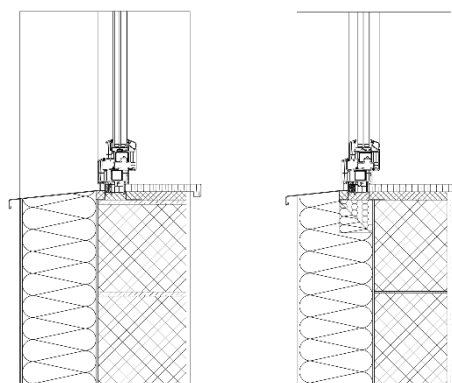
- Hodnota nejnižší vnitřní povrchové teploty je v této pozici velmi příznivá.
- Dochází k významnému zlepšení hodnoty lineárního činitele prostupu tepla styku okenní výplně a obvodové stěny v oblasti parapetu, ostění i nadpraží v porovnání s klasickou montáží. Zlepšení zmíněné hodnoty je dáno tím, že většina oken je při předsazení o 90 mm celou stavební hloubkou umístěna v rovině hlavní tepelné 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.

3.3. 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. Obrázek 7 zobrazuje klasickou montáž na vnější líc nosné konstrukce (vlevo) a předsazenou montáž s předsazením 90 mm (vpravo).



Obrázek 7: Klasická montáž (vlevo), předsazená montáž (vpravo).

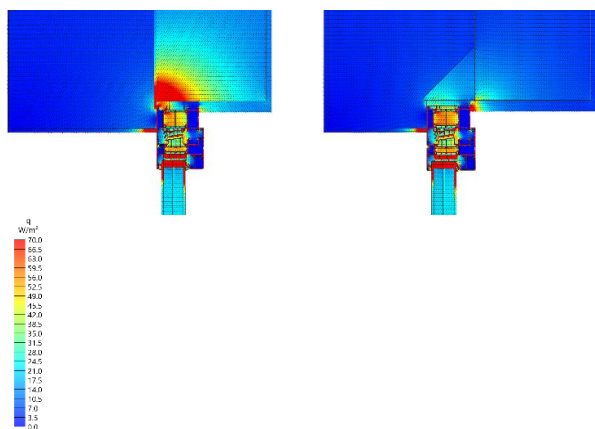
Úpravou detailů okenní výplně osazené klasickou montáží nelze snižovat tepelné ztráty styku s obvodovou stěnou tak účinně jako předsazením okenní výplně. Přidaný tepelný tok zmíněnou tepelnou vazbou je u klasické montáže ovlivněn zejména materiálem nosné konstrukce. Například při záměně železobetonové 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. Tepelné ztráty tepelnou vazbou styku okenní výplně a obvodové stěny lze redukovat až o 95 % oproti klasické montáží. 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.

3.4. 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 ke snížení přidaného tepelného toku přeizolováním rámu okna. Zmíněné tvrzení ilustruje obrázek 8 pomocí hustoty tepelných toků u klasické a předsazené montáže. Při předsazení se hodnota tepelné propustnosti zmíněného styku sníží, nikoliv však na tak nízkou hodnotu jako u plastových a dřevěných oken.

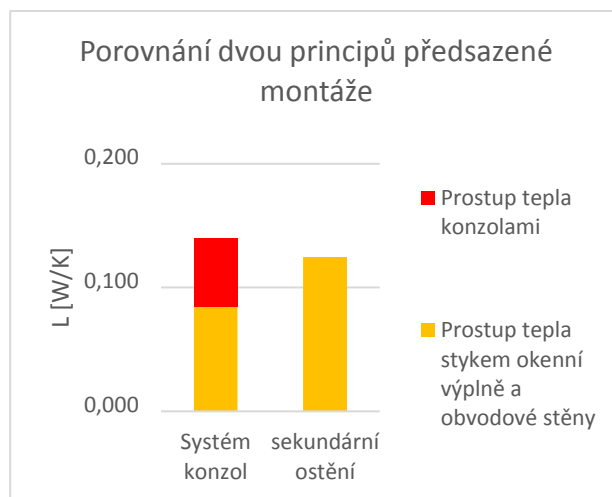


Obrázek 8: Porovnání hustoty tepelných toků u hliníkového okna bez předsazení a s předsazením.

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.

3.5. Porovnání předsazení pomocí konzol a pomocí sekundárního ostění

Porovnání systémů předsazené montáže z důvodu odlišného řešení předsazení okna do roviny tepelné izolace ukázalo, že 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. Výsledky zobrazuje obrázek 9.



Obrázek 9: Porovnání systémů předsazené montáže.

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.

3.6. Kvantifikace tepelných ztrát vlivem předsazení

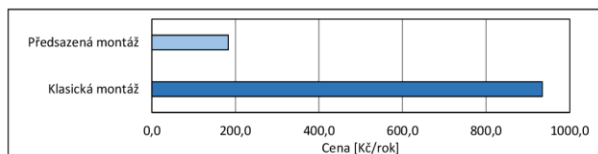
Z výsledků výpočtů na modelovém rodinném domě vychází, že předsazením oken o 90 mm lze ušetřit 7 % z potřeby tepla na vytápění. Nicméně, z hlediska doby návratnosti 20 let úspora v tomto konkrétním případě tvoří přibližně čtvrtinu ceny systémového řešení pro předsazenou montáž. Je ovšem možné více přístupů s jinými kritérii ekonomického hodnocení. Dále také ceny systémových řešení se velmi výrazně liší v závislosti na typu zákazníka a velikosti zakázky. Možné je také použít levnější třeba i nesystémová 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. Obrázek 10 zobrazuje závěrečnou část výstupu z výpočetního nástroje pro modelový rodinný dům. 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.

Roční úspora realizací předsazené montáže

Úspora Kč/rok



Obrázek 10: Závěrečná část výstupu z výpočetního nástroje.

ZÁVĚR

Odborná práce se zabývá 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 redukovat tepelné ztráty tepelnou vazbou styku okenní výplně a obvodové stěny v optimální hloubce osazení až o 95 % oproti klasické montáži, kdy je vnější líc rámu ve stejné rovině jako vnější líc nosné konstrukce. Při předsazení o 90 mm se redukuje tepelné ztráty zmíněnou vazbou přibližně o 80 % v porovnání s klasickou montáží.

Při správném návrhu a provedení detailů je tedy vhodné zvolení hloubky osazení okna v konstrukci velice účinným opatřením pro snížení tepelných ztrát tepelnou vazbou styku okenní výplně a obvodové stěny. Předsazením okna celou jeho stavební hloubkou před rovinu nosné konstrukce do roviny tepelné izolace lze dosáhnout vhodné polohy z hlediska nejnižší vnitřní povrchové teploty, snížení tepelných ztrát a realizovatelnosti předsazení. Je vhodné použít pro předsazenou montáž okno, jehož hodnota součinitele tepla je nižší než normou doporučená hodnota. U hliníkových oken je obzvláště vhodné provést předsazenou montáž, vzhledem k materiálu rámu a návaznosti na nosnou konstrukci.

Systémy předsazené montáže s konzolami a sekundárním ostěním můžeme považovat za srovnatelné z hlediska tepelných ztrát. Lokální ocelový prvek – konzola nezpůsobuje výrazný teplotní most.

Investice do předsazené montáže se zpravidla zcela nevrátí, ale pro hodnocení konkrétních případů, kde mohou být i jiná kritéria hodnocení, byl vytvořen výpočetní nástroj. Tento výpočetní nástroj je již v praxi používán jedním z největších výrobců oken v České republice.

LITERATURA

[1] Kasal, P.(2019), *Předsazená montáž oken*. Diplomová práce, Praha, vedoucí práce Jiří Novák.