

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE



DISERTAČNÍ PRÁCE



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta stavební
Katedra architektury**

**PLÁNOVÁNÍ UDRŽITELNÉ OBNOVY HISTORICKÝCH
BYTOVÝCH DOMŮ Z 19. STOLETÍ:**

Analýza obálky budovy z hlediska udržitelného, kulturního a ekonomického

**PLANNING A SUSTAINABLE RESTORATION OF HISTORICAL
RESIDENTIAL BUILDINGS FROM THE 19TH CENTURY:**

**Building envelope analysis from the sustainable, cultural and
economical perspectives**

DISERTAČNÍ PRÁCE

Ing. arch. Rahaf Kherbhek

Doktorský studijní program: Architektura a stavitelství

Studijní obor: Architektura a stavitelství

Školitelka: doc. Ing. Klára Kroftová, Ph.D.

Školitel – specialista: doc. Ing. Tomáš Čejka, Ph.D.

Praha, 2024

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6



PROHLÁŠENÍ

Jméno doktorandky: Ing. arch. Rahaf Kherbhek

Název disertační práce: Plánování udržitelné obnovy historických bytových domů z 19. století: Analýza obálky budovy z hlediska udržitelného, kulturního a ekonomického

**Prohlašuji, že jsem uvedenou disertační práci vypracovala samostatně pod vedením školitelů Kláry Kroftové a Tomáše Čejky.
Použitou literaturu a další materiály uvádím v seznamu použité literatury.**

V Praze dne:

Podpis

Poděkování

Ráda bych poděkovala svým školitelům doc. Ing. Kláře Kroftové, Ph.D. a doc. Ing. Tomáš Čejka, Ph.D. za jejich odborné rady, ochotu při konzultacích, trpělivost a zajištění podmínek pro zpracování práce.

Ráda bych poděkovala doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda za jeho rady, čas a trpělivost, které věnoval při konzultacích, aby tato práce mohla vzniknout.

Děkuji také Ing. Graziano Priotto, majiteli zkoumaného objektu, za poskytnutí dokumentů a informací o jeho majetku.

OBSAH

Abstrakt

1. Úvod

2. Cíle a metody disertační práce

3. Typologie činžovních domů 19. století

3.1 Dispozice

3.2 Konstrukce a materiály

3.3 Stavební fyzikální vlastnosti

4. Současný stav poznání

4.1 Izolační systémy na vnitřní straně stěny v budovách historických

4.2 Zhlaví trámové: tepelné mosty a tepelně vlhkostní namáhání

4.3 Vylepšení vlastnosti historických oken

4.4 Udržitelné zdroje energie v stavbách historických

5. Vědecká práce: Analýza vybraných detailů

5.1 Popis konkrétní budovy schodišťového typu v Praze

5.2 Vliv tepelně izolační omítky na spotřebu energie budovy

5.2.1 Materiály použité

5.2.2 Výsledky numerické simulace

5.2.3 Provedení

5.3 Vliv vnitřní izolace na spotřebu energie a hygrotermické chování historických stěn a hlavic dřevěných trámů

5.3.1 Materiály použité

5.3.2 Výsledky numerické simulace

5.3.3 Diskuze

5.4 Opravy historických oken

5.4.1 Výsledky numerické simulace

5.4.2 Diskuze

5.4.3 Materiálové řešení

5.5 Fotovoltaické panely na střeše popsané budovy

5.5.1 Očekávaná výroba energie panelů

6. Výsledky a diskuze

6.1 Kategorizace navrhovaných opatření na obnovu

6.1.1 Vliv na kulturní hodnoty

6.1.2 Náklady na stavební úpravy

6.1.3 Návratnost investice

6.1.4 Navrhované balíčky stavebních úprav

6.2 Diskuze

7. Závěr

8. Seznam použité literatury

9. Příloha – Práce vztahující se k disertaci

ABSTRAKT

Budovy se v Evropě podílejí z 40 % na celkové spotřebě energie. Navíc třetinu evropského fondu budov tvoří budovy s významným kulturním nebo historickým významem. Více než 20 % evropského fondu budov bylo postaveno před rokem 1945. Pláště těchto historických budov neodpovídají moderním standardům, dochází tak oproti moderním budovám k výrazným ztrátám energie. Ze spotřeby energií obytných budovách v České republice jde 69% spotřeby na vytápění, zatímco v EU je to přibližně 66%. Cíle Evropské Unie na dekarbonizaci do roku 2050 tedy nepůjde dosáhnout bez úprav historických budov tak, aby více odpovídaly moderním standardům.

První část disertační práce stanovuje typologii obytných budov z 19. století se zaměřením na Prahu v České republice. Popisuje dispozice půdorysů, materiály, komponenty a fyzikální vlastnosti obálky těchto budov. Druhá část se věnuje výzkumným zaměřením na zlepšení energetické výkonnosti obvodových plášťů historických budov. Diskutovanými úpravami jsou tepelně izolační omítky, vnitřní izolace, opravy historických oken a fotovoltaické panely. Další část disertační práce popisuje vybraný chráněný obytný dům v Praze z 19. století a numericky testuje vliv různých opatření obálky budovy na spotřebu energie na vytápění pomocí softwaru Energie 2020. Numerický je také otestováno hygrotermické chování vnitřně izolovaných historických cihlových stěn pomocí softwaru WUFI. Vliv vnitřních izolací na hygrotermické chování dřevěného trámového zhlaví vloženého do stěn je numericky počítán pomocí softwaru 3D Cube. Kromě toho je v rámci této studie vypočten potřebného rozpočtu a doby návratnosti jednotlivých opatření. V poslední části studie jsou výsledky diskutovány ze tří hledisek: vliv na kulturní hodnotu, tepelnětechnické vlastnosti/energetickou účinnost a vhodnosti investice. Následně jsou navrženy a srovnány různé renovační balíčky. Ukázalo se, že úspory energie při vytápění historických budov toho typu lze dosáhnout i pouze zlepšením obálky budovy, bez výrazného vlivu na památkové hodnoty. Ve zkoumaném objektu je dosaženo úspory více než 60 % energie na vytápění pomocí renovačních opatření s nízkým nebo mírným dopadem na kulturní hodnoty. Z výsledků také vyplývá, že opravy s malým nebo mírným dopadem na kulturní hodnotu jsou výhodnější investicí v zkoumaném objektu než opravy s velkým dopadem na kulturní hodnotu. Na základě dosažených výsledků jsou doplněna doporučení k budoucí renovaci historických obytných budov z 19. století do normy SS-EN 16883:2017 která stanovuje proces renovace zaměřený na zlepšení energetické náročnosti kulturně cenných budov.

Zvýšení energetické účinnosti stavebního dědictví je náročné, zejména pokud jde o posouzení dopadu na historické hodnoty. Tato práce přináší náhled do problematiky vzájemného vyvažování opatření ke zlepšení energetické náročnosti a ochrany kulturního dědictví s ohledem také na úhel pohledu investora.

Klíčová slova: budovy historický; obálka budovy; energetická úspornost; vnitřní izolace; hygrotermické chování izolačních stěn; dřevěné trámy; teplené omítky; fotovoltaické panely; doba návratnosti.

ABSTRACT

Buildings in Europe are estimated to use up to 40% of the total energy consumption. One third of these buildings consists of objects with a historical or cultural value, of which 20% are built before 1945. Keeping in mind that building envelopes of historical objects have a lower thermal performance than modern buildings since they don't comply with modern standards, it is expected that they consume a big part of the total energy use. In Czech Republic, 69% of the energy consumption in residential buildings is used for heating while it is 66% in Europe. Based on this, it is clear that the European goal of decarbonization by 2050 can't be reached without thermal upgrading of the envelopes of historical buildings.

The first part of this dissertation describes the typology of residential buildings in Prague from the 19th century presenting the disposition of floor plans, materials, structure, and physical properties of their envelopes. The second part focuses on studies aimed at improving the thermal properties of historical building envelopes. The discussed refurbishments are thermal plaster, internal insulation, modification of historical windows and photovoltaic panels. The next step is documenting a protected residential building from the 19th century in Prague and numerically simulating the energy needed for heating this building after each improvement using the software Energie 2020. The hygrothermal behavior of the internally insulated historical brick walls is then numerically simulated using the software WUFI. The influence of internal insulations on the hygrothermal behavior of wooden beam-heads embedded in the walls is numerically calculated using the software 3D Cube. An estimation of the needed budget is calculated as well as the investment payback period for each improvement. In the last part of the study, the results are discussed from three points of view; the protection of the cultural heritage, the energy consumption needed for heating the object and the profitability of the investment. Results show that energy savings can be reached only by improving the building envelope of historical buildings of this type without a big impact on the cultural heritage. In the studied object, up to 60% energy saving is reached by implementing renovations with a low or medium impact on the cultural value. The results on the studied object show that renovations with a low or medium impact on the cultural value have shorter payback period than renovations with a big impact on the cultural value. Based on the found results, recommendations for future renovations of the residential historical buildings from the 19th century are added to the standard SS-EN 16883:2017, which describes the process for renovations aimed to improve the energy performance of historical buildings.

Upgrading the thermal performance of historic buildings is challenging especially when we want to balance improving energy efficiency with protecting the cultural heritage while finding an economically realistic solution for the investor. This thesis tries to find the balance between all these three aspects.

Key words: heritage buildings; building envelope; energy efficiency; thermal plaster; internal insulation; hygrothermal performance of internally insulated walls; wood beams, payback period; photovoltaic panels.

1 ÚVOD

Průměrná povrchová teplota planety se od konce 19. století zvýšila o 0,9 stupně Celsia. Tato změna je způsobena především zvýšeným množstvím oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů v atmosféře, jejichž emise souvisí s lidskou činností [1]. Stavebnictví je významným přispěvatelem k emisím skleníkových plynů a představuje přibližně jednu třetinu emisí souvisejících s energetikou v EU [2]. Tyto emise pocházejí částečně z výroby elektřiny a tepla v budovách, které spotřebovávají přibližně 40% celkové spotřeby energie v Evropě [3]. Podle EU Building Stock Observatory (BSO) [4] je více než 20 % evropského fondu budov postaveno před rokem 1945. Český Statistický Úřad uvádí, že více než 10 % současného počtu budov v České republice bylo vystaveno před rokem 1919 [5]. Konstrukce obvodových plášťů těchto budov nespĺňuje moderní normové požadavky tepelné ochrany budov. Požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla (U) vnějších stěn je $0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$, zatímco stěny budov z doby před rokem 1945 v České republice mají průměrnou hodnotu $U=1,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ [4]. Bez snížení energetické náročnosti těchto budov nelze dosáhnout cíle Evropské Unie dekarbonizace do roku 2050.

Dopad nízkých tepelně technických vlastností fasád těchto budov se projevuje ve vyšší energetické náročnosti, zejména na vytápění, přičemž v České republice se 69 % spotřeby energie v obytných budovách spotřebuje na vytápění, zatímco v EU je to přibližně 66 % [4]. Je zde potenciál pro velké úspory energie zateplením fasády, snížením součinitele prostupu tepla okenních výrobků, minimalizace tepelných mostů atd. Vysokým požadavkům na snížení energetické náročnosti lze snáze vyhovět u novostaveb, nikoli však v případě historických budov s vysokou kulturní hodnotou. Příkladem takových staveb s vysokou kulturní hodnotou jsou ty, které vznikly v 19. století, kdy se po průmyslové revoluci do měst přistěhovalo velké množství lidí. Česká republika nebyla výjimkou. V Praze došlo kromě částí, které se vyvíjely na základě starších osad, k založení nových pražských předměstí. Jednotlivá předměstí se záhy rozrostla do velikosti měst a souvisle se spojila s Prahou v jednu zastavěnou aglomeraci.

Avšak kdykoli je vyžadován zásah do chráněného majetku nebo majetku kulturní hodnoty, je třeba mít na zřeteli, že práce, které mají být provedeny, spadají do rámce památkové péče a prioritním cílem je najít kompromis mezi vhodnými úpravami a zachováním kulturní hodnoty [6]. Opatření v oblasti energetické náročnosti nejsou výjimkou. Národní památkový ústav vyjádřil svůj názor na požadavek šetřit energií společným prohlášením s Českou komorou architektů a Státním fondem životního prostředí již v květnu 2009. V tomto prohlášení je vyjádřena nejen podpora snaze o energetické úspory, ale také formulován požadavek, aby se k architektonickému dědictví přistupovalo adekvátním způsobem:

"Architektonické dědictví je ohroženo chátráním a necitlivými přestavbami. Ohrožuje je ale také mechanické uplatňování požadavku přizpůsobovat historickou architekturu technickým standardům soudobé stavební produkce. Toto nebezpečí je aktuální i v případě snižování energetické náročnosti staveb. Zájem společnosti na

úsporách energie je nesporný. Opatření, která k takovým úsporám směřují, jsou potřebná. V této souvislosti ale upozorňujeme, že nepřiměřené prostředky mohou vést v případě architektonického dědictví k jeho poškození. Shodujeme se v názoru, že snižování energetické náročnosti staveb a zájem na ochraně architektonického dědictví lze alespoň v některých případech skloubit. To však vyžaduje, aby pro specifickou oblast architektonického dědictví byly podmínky „ušity na míru“. Neměly by být podporovány úpravy, které jsou ze své podstaty konfliktní, a podpořena by naopak měla být ta opatření, kterými lze dosáhnout energetických úspor bez ohrožení kulturních hodnot. V oblasti architektonického dědictví je potřeba počítat i s malými kroky, individuálními návrhy, a hlavně s opravami dochovaných historických konstrukcí a prvků, mezi jinými i okenních rámců“

Je důležité, jak je uvedeno ve vyjádření, podporovat úpravy, které neohroží kulturní hodnoty i snižují spotřebu energie. Jednou z motivací této práce je najít a podporovat taková řešení pro případ historického obytného domu z 19. století. V praxi je u takových úprav důležitá i ekonomická výhodnost, která bývá prioritou investora. Další motivací této práce je najít takové úpravy, které by vyvažovaly ochranu historické hodnoty a výnosnost investice. Podporovat takové úpravy, které vyvažují všechny tři faktory; ochranu kulturní hodnoty, snížení energetické náročnosti a ekonomickou výhodnost, je důležité pro zajištění ochrany kulturní hodnoty při budoucích udržitelných renovacích, pro usnadnění takových renovací v budoucnu a umožnění dosažení moderních cílů energetické účinnosti.

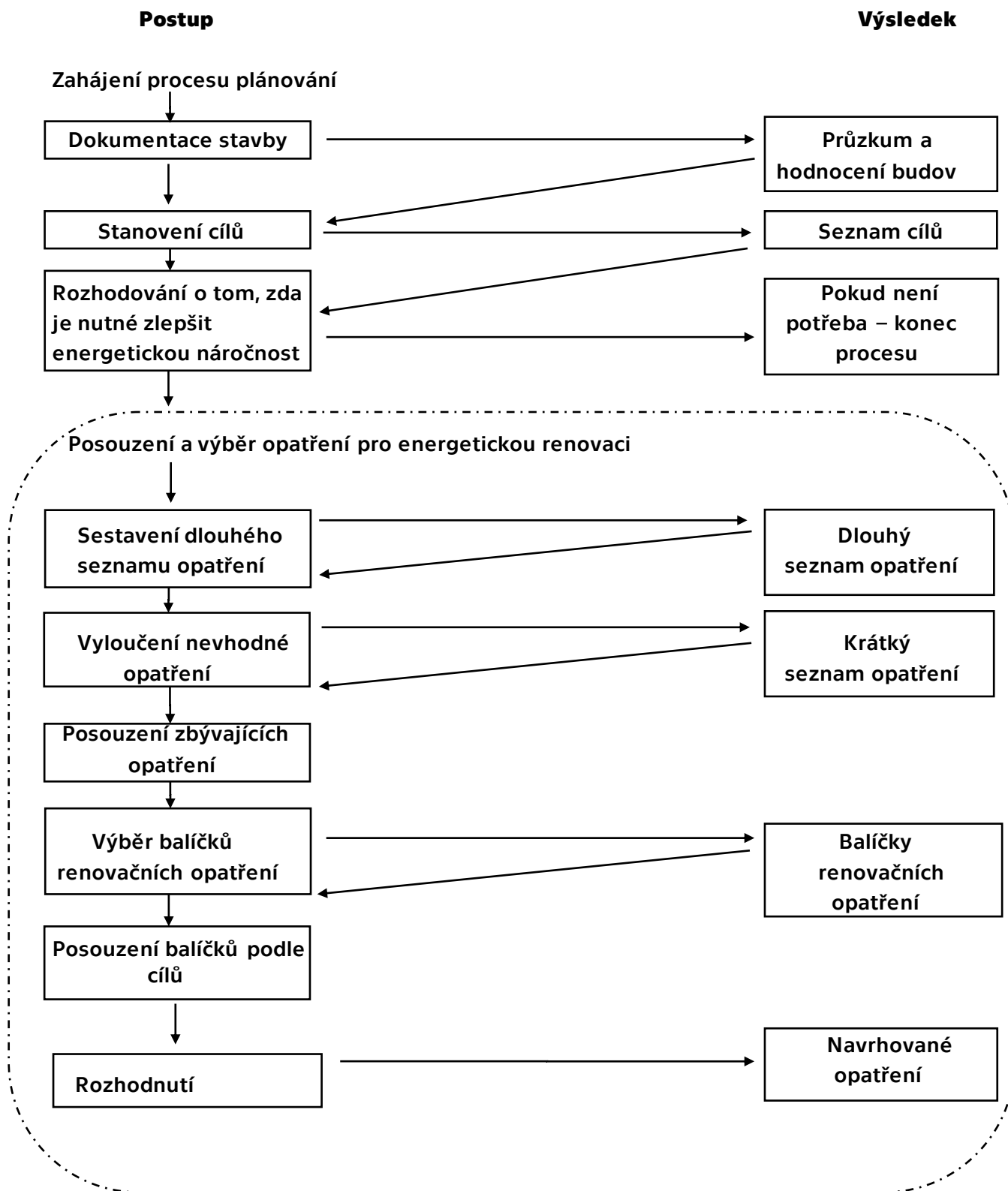
2 CÍLE A METODY PRÁCE

Cíl disertační práce je minimalizace spotřeby energie historických budov z 19. století s prioritou ochrany kulturní hodnoty a se zohledněním ekonomického pohledu. Toho práce dosahuje zodpovězením následujících otázek:

- Jaké úpravy obálek těchto historických budov nám umožňují dosáhnout nejvyšší energetické účinnosti a jak ovlivňují kulturní hodnotu budovy?
- Jaké úpravy mají minimální dopad na kulturní hodnotu a jaká je doba návratnosti? Jak jsou hodnocené z hlediska stavební fyzikální?
- Jaké úpravy jsou nejvhodnější pro investora? a jak jsou hodnocena z hlediska stavební fyzikální a kulturní?
- Jaké jsou úpravy nejdostupnější, které lze provádět i v současně obývaných budovách?
- Jaké úpravy mají největší dopad na kulturní hodnotu a jaká je doba návratnosti?
- Jak umožnit budoucí renovace zaměřené na zlepšení tepelných vlastností historických budov z 19. století, aby byly jednodušší a bezpečnější z hlediska ochrany kulturních hodnot?

Metoda

metoda disertační práce vychází z normy SS-EN 16883:2017 [7] což stanovuje postup, který usnadňuje rozhodovací proces pro zlepšování energetické náročnosti kulturně cenných budov. Tento postup (Obr. 1) poskytuje kvalifikovaný návod k vydání dobře informovaného rozhodnutí s důrazem na stanovené cíle.



Obr. 1 - Schéma postupu popsané krok za krokem v normě SS-EN 16883:2017 [7]

Na základě výše uvedené normy byly v metodice této práce dodrženy následující kroky:

1 - Výběr a dokumentace existující historické budovy z 19. století v Praze pro účel studie.

2- Návrh opatření založených na současném stavu: tato opatření mohou být některými nebo všemi následujícími doporučenými opatřeními „EnerPHit“ [8] se zaměřením na obvodovou obálku budovy:

- Vnější tepelná izolace formou vrstvy tepelně izolačního materiálu nebo omítky.
- Vnitřní tepelná izolace různými systémy a materiály.
- Zlepšení tepelných vlastností starých oken.
- Fotovoltaiky integrované do pláště budov.
- Izolace střechy, stropu nebo podlahy přízemí.

3- Numerická simulace energie potřebné k vytápění studovaného objektu před úpravami a po každé úpravě jednotlivě pomocí software Energie 2020.

4- Numerická simulace hygrotermického chování historických stěn a úroveň vlhkosti v zhlavích dřevěných trámů stropní konstrukce po stavební úpravě s vnitřní izolací pomocí software WUFI a 3D Cube.

5- Každá z těchto stavebních úprav je potom vyhodnocena z hlediska ochrany kulturního dědictví buď jako úprava s velmi nízkým dopadem na kulturní hodnotu, s nízkým dopadem, se středním dopadem anebo s vysokým dopadem na kulturní hodnotu.

6- Výpočet nákladů a návratnosti investice pro každou úpravu jednotlivě.

7- Sestavení balíčků úprav ve variantách: balíček s malým dopadem na kulturní hodnotu, balíček s mírným dopadem na kulturní hodnotu, balíček s vysokým dopadem na kulturní hodnotu, balíček s nejkratší dobou návratnosti a balíček vhodný v případě, že budova je obydlená.

8- Vyhodnocení / srovnání výsledků navrhovaných balíčků z následujících hledisek:

- a. Dosažená energetická náročnost. Jaké jsou očekávané úspory spotřeby energie každého balíčku?
- b. Ochrana kulturní hodnoty těchto historických budov.
- c. Považuje se tento balíček opatření za výhodnou investici?
- d. jaká je korelace mezi spotřebou energie a vlivem na kulturní hodnotu a návratnost renovací?

9 - Na základě vyhodnocení se k výše uvedené normě přidávají některá doporučení specifická pro renovaci městských obytných budov z 19. století z toho typu, která usnadní budoucí renovace a jistěji ochrání kulturní hodnotu těchto objektů.

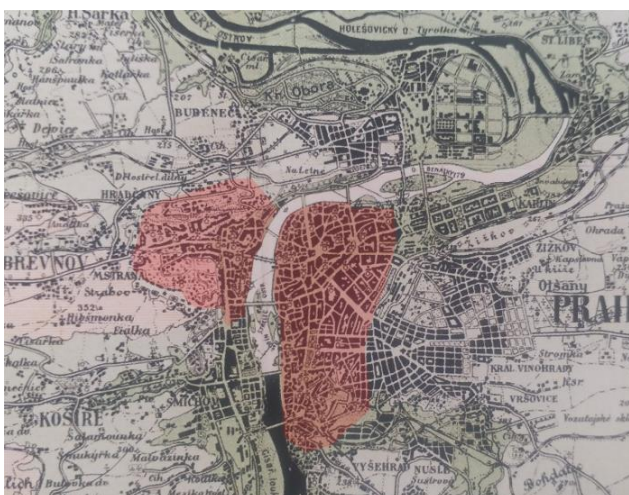
3 TYPOLOGIE ČIŽOVNÍCH DOMŮ 19. STOLETÍ

V této kapitole jsou popsány bytové domy, které vznikly v Praze v průběhu 19. století. Obytné budovy z tohoto období mají podobnou konstrukci i stavební materiály. Pro bližší pochopení zkoumaných objektů, popsány jsou zde půdorysy, fasády, materiály a konstrukce. Později jsou popsány i fyzikální vlastnosti obvodového pláště těchto budov.

Výjimečnost 19. století spočívá především ve velkých dopadech probíhající průmyslové revoluce. Charakteristickým rysem industriální společnosti byla velká mobilita. Lidé opouštěli své původní domovy, aby si ve městech našli placenou práci. Města nenabízela odpovídající bydlení všem. Bytová krize vyvolala čilý stavební ruch na pražských předměstích. Postupně předměstí dosahovala i „úředního“ povýšení na města či městyse. 1879 Královské Vinohrady, 1881 Žižkov, který byl roku 1877 oddělen od Vinohrad, 1885 Vršovice, 1895 Košíře, 1898 Libeň, 1898 Nusle, 1902 Vršovice, 1902 Vysočany, 1903 Karlín, 1903 Smíchov, 1904 Bubeneč, 1907 Břevnov. [9] Umístění těchto budov v Praze viz obrázek 3. Tyto budovy jsou nyní důležitou součástí centra města a tvoří důležité, krásné a živé čtvrti.



Obr. 2 – Plán Prahy z 1840 [10]



Obr. 3 – Plán Prahy z počátku 20. století [10]

Vše, co je mimo červenou zónu na obrázku 3, bylo vystaveno v druhé polovině 19. století. Dokonce i došlo na přelomu 19. a 20. století k razantní změně podoby Josefova a části Starého Města díky rozsáhlé asanaci. Během ní zmizelo okolo 500 budov a na jejich místě byly vystavěny domy nové.

Společnost 19. století, výsledkem průmyslové revoluce, měla dvě snadno rozlišitelné vrstvy. Dělnická vrstva tvořená lidmi, kteří se stěhovali do města za práci. Tito lidé bydleli dělnických a sociálních domech. Jednalo se především o nenákladné bydlení pro velké množství dělníků, kteří rychle přicházeli. Typově nejvhodnější pro tyto potřeby byl pavlačový dům. Bydlení střední třídy a zámožnějších vrstev kladlo důraz na pohodlí a soukromí. Pavlačové domy tyto vlastnosti postrádaly. Během této doby vznikl schodišťový typ nájemních domů, které se od sebe lišily velikostí,

počtem pokojů a hygienickým standardem. Tyto dva typy bydlení jsou podrobně popsány v následující části.

3.1 DISPOZICE

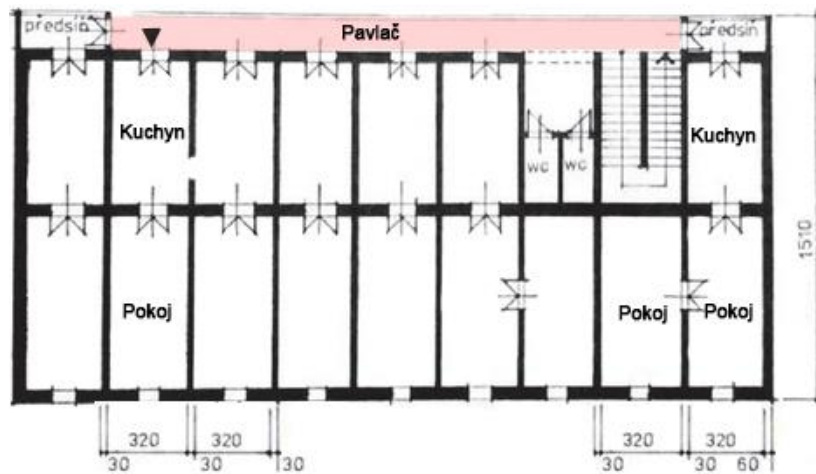
PAVLAČOVÉ DOMY

Pavlačové domy byly nejčastěji stavěny do tvaru písmene „L“, kratší strana byla otočená do ulice a měla nejčastěji podobu dvojpůltraktu. Průjezd vedl do dvora a ke schodišti. Tradičním řešením je, že se na jednom patře nachází velké množství bytů a patro je přístupné ze schodiště. Pavlačová dispozice patra se vyznačuje tím, že přístup k jednotkám je jednostranně orientovaný obvykle z lineární komunikace (z pavlače). Pavlač dispozičně bývá jako exteriérový protáhlý obdélník s lineárním řazením bytů (Obr. 4).



Obr. 4 – Pohled na pavlačový dům ze dvora, Praha [11]

“Byty bývaly standardně dvoupokojové, vstupní dveře u jednotlivých bytů vedou do kuchyně buď ze zápraží anebo z patrové pavlače, která je hlavním znakem tohoto domu. Z kuchyně vedl vstup do druhého pokoje, který sloužil také jako ložnice. V ložnici se nacházelo okno do ulice, pokud byl byt umístěn v postranním křídle, bývala obě okna s výhledem do dvora a vedla na pavlač. Záchod se umísťuje na konci pavlače a býval společný pro několik bytů.” [12] Někdy byt tvořila jediná místnost o rozloze 24 m², která sloužila jako kuchyň, obývací pokoj i ložnice. V této místnosti žila rodina s několika dětmi. V zadním lomeném křídle měly byty rozlohu pouze 18 m². Hlavní obytný pokoj byl vytápěný kachlovými kamny (Obr. 5).



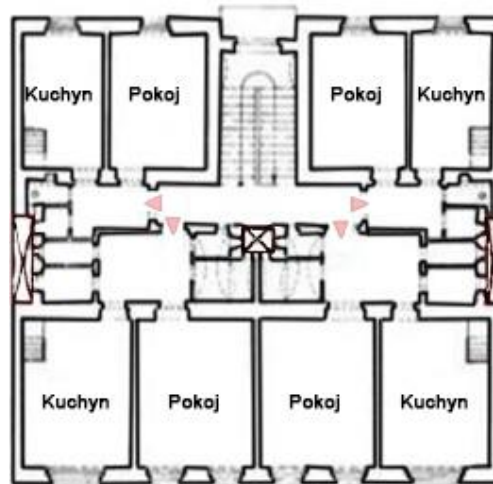
Obr. 5 - Dispozice pavlačového domu [12]

SCHODIŠŤOVÉ DOMY



Obr. 6 – Pohled na schodišťových domů z ulice čp.1199 a 1204 v Praze-Vinohrady [Autor]

V domech schodišťového typu jsou byty přístupné co nejkratší cestou přímo ze schodiště, bez pavlačí. Domy měly od 2 do 4 bytů na patro, vstup do bytu byl přes předsíň nebo kuchyně do dalších pokojů s okny do ulice. Většina těchto budov je podsklepená. Schodišťové domy měly proti pavlačovému domu třítraktové dispozice. Trakt s kuchyněmi byl orientován do dvora. Chodbový střední trakt šířky 1.52m, 3-4 m je vymezen pro kuchyně, koupelny, záchody a také komory, které jsou odvětrány a osvětleny skrze světlíky. Třetí trakt s obytnými místnostmi byl orientován do ulice. Byty byly většinou dvou až tří pokojové s vlastní předsíní, kuchyní, koupelnou, splachovacím záchodem, komorou a spíží. V lepších bytech se nacházely také balkony a pokoje pro služebné (Obr. 7).



Obr. 7 – Dispozice schodišťového domu [13]

Domy byly během 70. let 19. století zpravidla třípatrové se zvýšeným přízemím. Během 80. a 90. let 19. století byly většinou 5-6 podlažní. Podkrovní prostory činžovních domů byly z požárních důvodů prázdné. Střechy byly doplněny o malebné štíty a nárožní věže.

Pro lepší pochopení rozsahu kulturní hodnoty, která provází tyto stavby, začneme u hodnoty urbanismu a architektury Prahy, kde naše zkoumané stavby stojí. Vývoj Prahy lze v průběhu 1100 let její existence dokumentovat architektonickým výrazem mnoha historických období a jejich stylů. Pražská památková rezervace se rozkládá na ploše velké 860 ha a zahrnuje přibližně 1 300 unikátních památek. Kromě těchto památek se v této rezervační zóně nacházejí tisíce historických budov, který dokládají proces neustálého růstu města od středověku až po současnost. Vzhled těchto budov je obzvláště důležitý pro svou jedinečně vysokou urbanistickou a architektonickou hodnotu. Fasády a střechy jsou chráněny úřady a změny jsou jen výjimečně tolerovány. Tisíce těchto budov pocházejí z 19. století (obr. 2 a 3). Domy z tohoto období lze nalézt v historizujícím stylu konce 19. století nebo v později oblíbené secesi (obr. 8).



Obr. 8 – Uliční fasáda schodišťových domů v Praze-Vinohrady [Autor]

Studované budovy stojí přisazené k sobě a vytvářejí dlouhé nepřetržité uliční fasády (obr. 6 a 8), a uzavřené dvorky, které nejsou z ulice vidět (obr. 9 a 10). Interiéry a dvorní fasády těchto staveb nejsou chráněné, protože neovlivňují jejich urbanistickou hodnotu. Dvorní fasády jsou často jednoduché, bez zvláštních nebo jedinečných prvků a slouží praktickým účelům. Na nich v průběhu času došlo k mnoha změnám, aby odpovídaly proměnlivým potřebám.



Obr. 9 – Letecká mapa Vinohrad, Praha [Google maps]



Obr. 10 – Dvorní fasády schodišťových domů v Praze [Autor]

3.2 KONSTRUKCE A MATERIÁLY

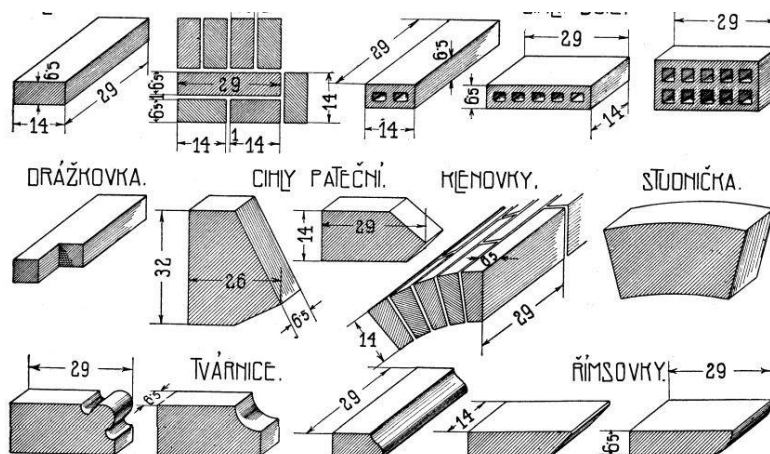
Stabilitu nosného systému studovaných staveb zajišťují podélné – průčelní a střední – zdi, které na nichž jsou uloženy stropní konstrukce, a příčné zdi provázané řádnou vazbou štítové zdi, schodišťové zdi, zděné příčky tl. 15 cm a 30 cm, které spřahují podélné, primárně nosné zdi, zajišťují jejich stabilitu a přispívají k prostorovému působení nosného systému. Následující části popisují komponenty a materiály obvodového pláště budov, tak jak se původně stavěly ve zkoumaných činžovních domech 19. století.

3.2.1 ZDIVO

“Nosné zdi vícepodlažních budov z 19. století jsou provedeny převážně ze smíšeného nebo lomového zdiva a mají tloušťku od 60 cm až do 90 cm. U objektu z konce 19. století a z počátku 20. století převládá zdivo z plných pálených cihel tzv. Klasického formátu. ” [14] Většina studovaných městských obytných budov z 19. století je postavena z plných cihel.

Zdivo cihelné, komponenty, formáty a vazby

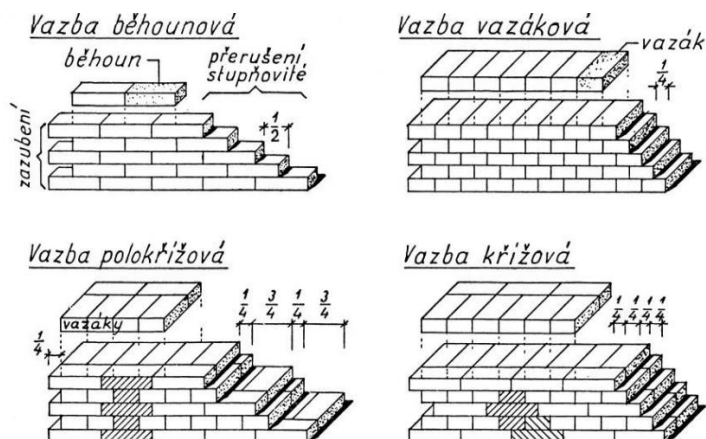
V [15] se uvádí, že typický rozměr plné pálené cihly běžný v 19. století je $29 \times 14 \times 6,5$ cm (klasický formát). Rozměry byly zvoleny tak, aby velikost spár vyšla na 1 cm. Větší formát je nevhodný pro konstrukce pilířové a klenby. Proto se pro ně často používal menší formát, $25 \times 12 \times 6,5$ cm. Mimo to se vyrábí ještě spousta cihel formátu metrického, cihelných bloků nebo cihelných tvarovek. Obyčejné cihly se vyrábějí z cihlářské hlíny a byly vyrobené ručně. Sortiment cihel nabízel často velmi zajímavé výrobky. Jejich seznam uvádí obrázek 11.



Obr. 11 - Sortiment cihelny kolem roku 1910 [15]

Cihly se k sobě spojují maltou. Používala se vápenná, nastavovaná a cementová malta. Vápenná sloužila pro méně namáhané zdivo. Nastavovaná nebo cementová pak pro zdivo více namáhané, zejména pokud šlo o pilíře. Při zdění se používají většinou

cihly celé, tříčtvrtky, půlky, čtvrtky anebo pásy. Používaly se různé vazby (tj. jak na sebe cihly navazují), např. běhounová a vazáková [15] (Obr. 12).



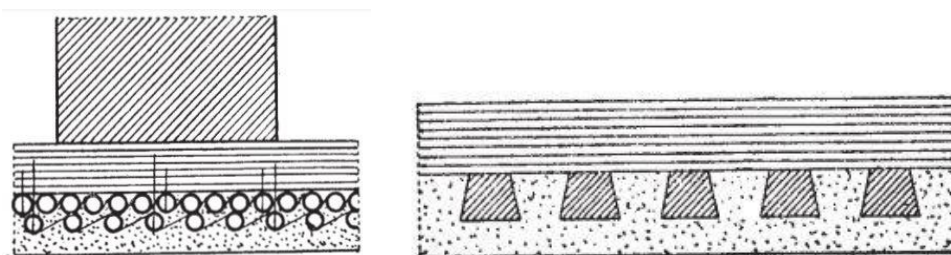
Obr. 12 - Vazby cihelných zdí [15]

Omítání stěny

“Dříve se používal štuk, který se na stavbě míchal. Byl to jemňounký prosívaný kopaný písek (vátina) a odleželá vápenná kaše. Štukový písek se míchal v poměru 1:1 s touto kaší.” [16]

Nosiče omítek: Pro omítky musel být vytvořen podklad, který udržel omítkovou maltu. Byly používané nejčastější dřevěné rohože a nosiče lačkové. Dřevěné rohože byly většinou tvořeny lištami s malou výškou, mezi 1–2 cm. Podkladem pro tyto rohože byly buď stropy podbíjené (ty se většinou rákosovaly), nebo jednoduché stropy z povalů či fošen kladených kolmo na trámy nebo nosníky z kulatiny. Malta se hází na takový podklad na třikrát. Na takto připravený podklad se nahazuje finální vrstva malty tlustá cca 2 cm.

Lačkový nosič omítek zaručoval jejich velmi kvalitní zachycení, a to i na nerovných podkladech. Bylo vyrobeno z dvouvrstvá tyčková rohož (Obr. 13), která je tažena nikoli křížem na první vrstvu, ale rovnoběžně se spodními prvky anebo lačky spojené drátem, každá lačka má svůj hřebík a každá lačka se přibíjí zvlášť. Lačky se kladou tak, aby rastr zachytil omítku, to znamená širší základnou dolů. Takové lačky byly schopny přenést i 0,6–0,8 m široké nerovnosti v pohledech stropů. [17]



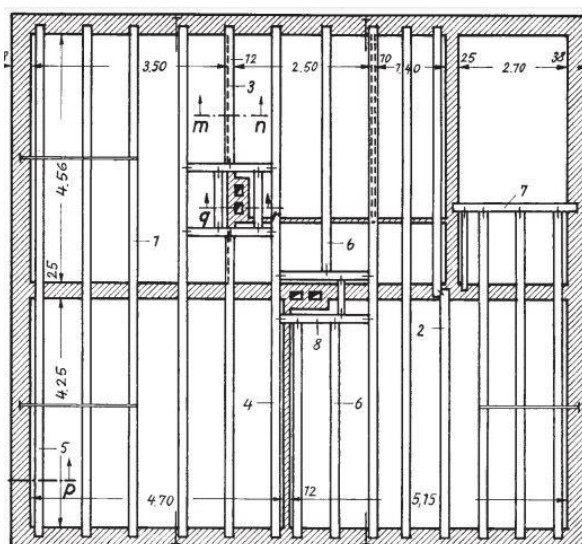
Obr. 13 - Dvojnásobná tyčková rohož a rybinovité lačky [17]

3.2.2 STROPNÍ KONSTRUKCE

Nejpoužívanějšími stropními konstrukcemi v bytových domech 19. století byly stropy trémové dřevěné a klenby, později železobetonové. Klenutý strop byl používán z důvodu použitého materiálu, byl nehořlavý a do vlhkých prostor jako jsou, kuchyně, sklepy anebo chlévy, podstatně vhodnější.

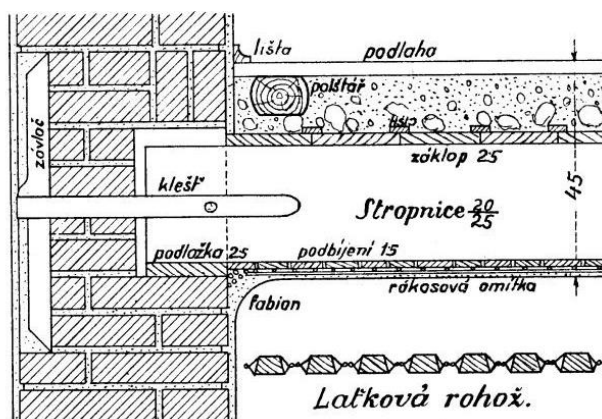
Trémové stropy dřevěné

Základem trémového stropu jsou nosné prvky, dřevěné trémy, vedeny kolmo k nosné stěně. Trémy jsou často uloženy na nosné cihlové zdi anebo v kapsách. Pokud jsou trémové stropy podbíjeny, rákosovány a omítány, potom se řadí mezi polospalné konstrukce (Obr.14).



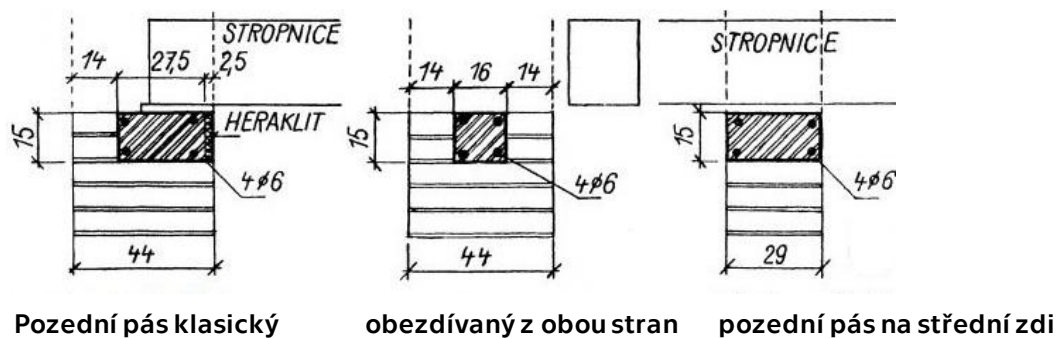
Obr.14 – Nosný systém činžovních domů 19. století v půdorysu, stropní dřevěné trémy uloženy na nosné cihlové zdi [15]

Trémové stropnice v půdorysu místnosti se rozdělí po stejných osových vzdálenostech 0,9–1 m. Krajiní stropnice má od zdi zachovávat vzdálenost cca 5 cm. Strop je z hlediska odolnosti vůči ohni opatřen při horním líci násypem ve vrstvě min. 8 cm tlusté mezi dolním lícem podlahového polštáře a záklopem (Obr. 15). Na obrázku 16 je patrný rozdíl v detailu, kde je pomocí zapuštění záklopu mezi stropnice snížena konstrukční výška celé konstrukce. Strop má na dolním líci trámů podbití 1.5 cm z prken, na něm jakousi pletivovou rohož a omítku [18].



Obr. 18 - Kleště nabité z boku a na horní plochu trámu [18]

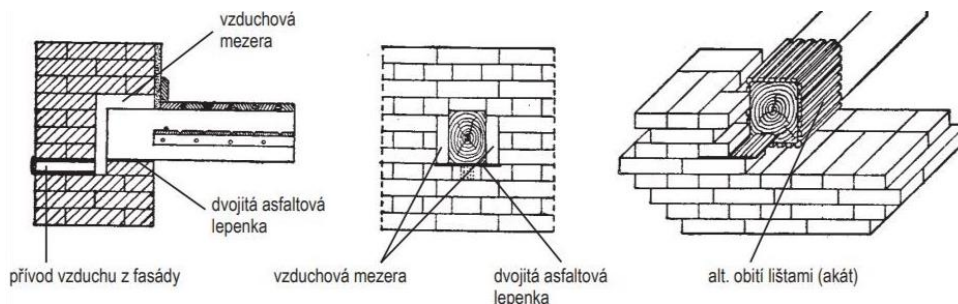
Pomocí věnců: Je to železobetonový trám probíhající v úrovni stropů všemi obvodovými a středními zdi. Pozední pásy zde mají funkci kleštin, které stahují nosné zdi a brání jejich vybočení, jednak mají funkci roznášecích pásů. Podle tloušťky zdi, na kterou se pás ukládá, může nastat několik variant (Obr. 19). Buď se položí věnec po šíři celé zdi, od líce k líci. Toto jde udělat pouze na zdi střední nebo schodišťové, kde nezáleží na tepelné izolaci konstrukce. Takto uložený věnec vždy vytvoří tepelný most. Tloušťka této cihelné obezdívky by neměla být slabší než 15 cm. [20]



Obr. 19 – Několik variant ukládání pásů do zdi [20]

Zhlaví trámové

"Většinou se podkládalo impregnovaným dubovým prknem tl. 30 mm. Boky, čelo a horní líc trámu se od zdiva izolovaly vzduchovou dutinou min. 30 mm širokou. Tato „kapsa“ se ještě odvětrávala do venkovního líce zdi. Pokud byl trám zazděn kontaktně, docházelo vždy k masivnímu zahnívání zhlaví. Čelo trámu není nijak chráněno před promrzáním a na povrchu zhlaví dochází ke kondenzaci, proto jsou kontaktně zazděné trámy zdrojem poruch. A výměna zhlaví je velice drahou a pracnou opravou." [18]



Obr. 20 - Zhlaví trámové dřevěné [18]

Železobetonové stropy

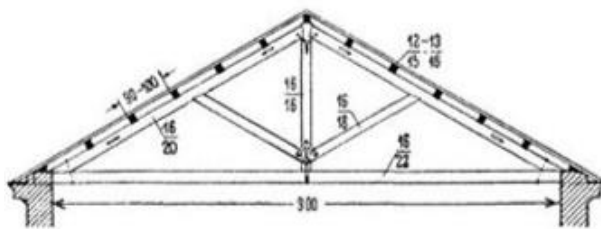
Železobetonové montované stropy se instalují přímo na stavbě a to:

Z hotových desek ze železového betonu: Používají se už od počátku 20. století, vyrábějí se jako plné a dutinové. Plné pro rozpětí od 0,6 m až do 3,3 m, ve skladebné šířce 30 cm a tloušťce od 6,5 až do 10 cm podle rozpětí. Dutinové se vyrábějí pro rozpětí od 0,6 až do 3,3 m, ve skladebné šířce 30 cm a tloušťce od 6,5 do 14 cm. Desky se mohou klást do ocelových nosičů (traverz) nebo přímo na zeď. Kladou se vždy užší plochou nahoru a zalévají se cementovou maltou. Tím vznikne souvislá stropní deska. Stropní podhled se omítá většinou dvouvrstvou štukovou omítkou. Jádro omítky je z nastavované malty a finální štuková vrstva je z vápenného šuku.

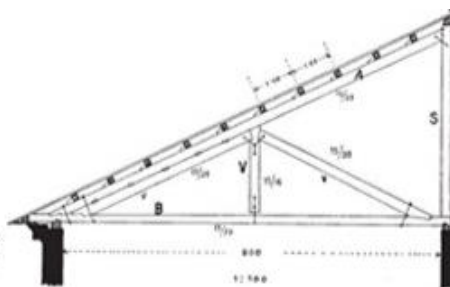
Z hotových trámů a vložek ze železového betonu: Zde se nejprve osazují na zdi železobetonové trámy ve tvaru I a na jejich spodní přírubby se kladou řady vložek, jejichž dosedací drážky jsou upraveny tak, aby spodní plocha trámů i vložek lícovaly v jedné podhledové rovině nebo se zde ukládají železobetonové desky, někdy dokonce i hurdisky. Duté vložky se vyrábí z lehčeného struskového betonu (někdy i škvárového) z pěnového betonu, z křemeliny nebo z pálené hlíny. [20]

3.2.3 STŘECHY

Krovy z konce 18. a 19. století mají samostatnou konstrukci nesouvisějící se stropními trámy. Až do poloviny 19. století jsou krovy provedené z tesaného dřeva a teprve koncem 19. století převážně v souvislosti s bouřlivým rozvojem českých měst se začíná se stavbou krovů pomocí ocelových pásků uchycených ke stropnicím. Typologie konstrukcí je ovlivněna především tvary střech, které je možno rozdělit do Krovů střech sedlových a pultových které bývají konstruovány ze stejných prvků na obdobných principech. jsou rozděleny na jednotlivé konstrukční soustavy: vazníkové soustavy, krokevní soustavy, hambalkové soustavy, vaznicové soustavy.

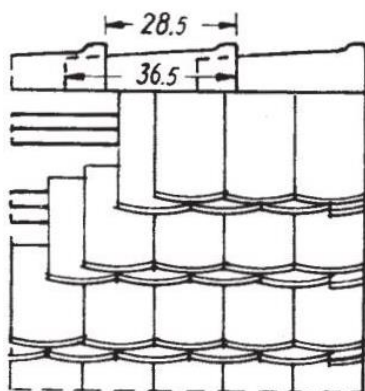


Obr. 21 – Střecha sedlového tvaru [21]

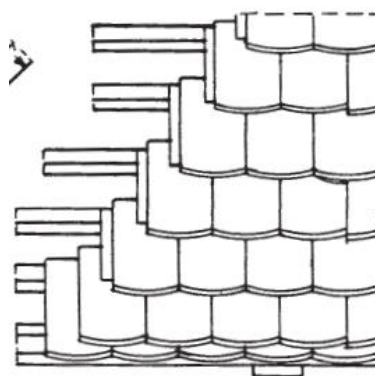


Obr.22- Střecha pultového tvaru [21]

Taška bobrovka: je tvaru obdélníkového, vel. 15.5/36.5–18/39 cm, na spodním konci, tzv. chvostu, polokruhovitě, segmentovitě nebo goticky zaoblená, po př. špičatě zakončená. Je velmi oblíbená a užívá se jí k pokrývání střech vilových a obytných činžovních domů o sklonu střešních ploch od 30° výše. [22]

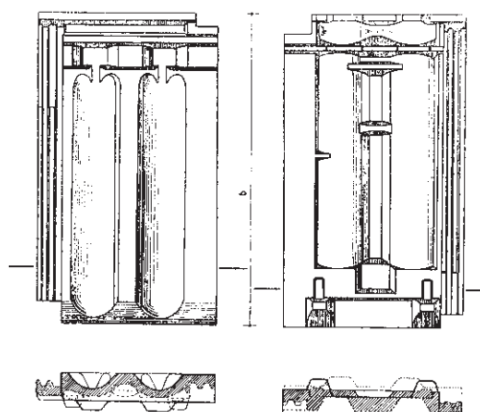


Obr. 23 – Dvojitá bobrovková krytina – korunová [23]



Obr. 24 – Dvojitá bobrovková krytina na louče [23]

Taška drážková: je ražená taška tvaru obdélníkového, vel. 20/40–23/42 cm, uprostřed s vyztuženým žebrem. Na lící straně jsou dva podélné žlábký k rozdělování a odvádění vody, které u hlavy přecházejí ve dvě jamky, a za nimi je úzký žlábek příčný. Po stranách, na lící straně vlevo a na rubu vpravo, je opatřena jednou anebo dvěma drážkami, kterými tašky při kladení do sebe zapadnou. Podle těchto drážek rozeznáváme (Obr. 25). [23]

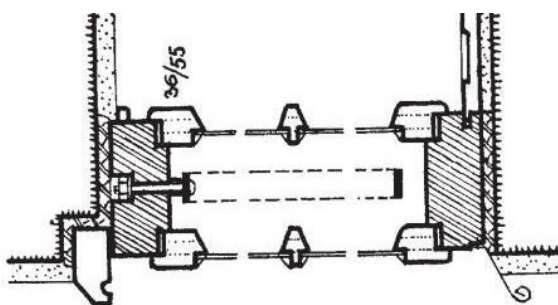


Obr. 25 – Řez a půdorys taškou drážkovou [22]

3.2.4 OKNA

Okna byla dřevěná a dvojitá, vnější křídla se původně otevírala ven. Okna jsou z energetického hlediska klíčovým prvkem v obálce domu zvláště pokud mluvíme o starých dřevěných rámech špatně udržovaných. Dokonce i dobře udržovaná okna z 19. století, která mohou mít součinitele prostupu tepla až $2.5 \text{ W/m}^2\text{K}$ nemohou dnes fungovat tak, jak je požadováno. Důležitým faktorem tepelných ztrát jsou také otvory a netěsnosti který umožňuje únik studeného vzduchu do interiéru.

Okno dvojité rámové (Obr. 26): "Taková okna jsou ještě k vidění na domech z 1. poloviny 19. století. Základem je fošnový rám s vyfrézovanou drážkou na vnitřní i venkovní straně. Do této drážky, otočené ven, se vkládá křídlo venkovní, ven otevíravé, a do drážky otočené dovnitř křídlo vnitřní, otevíravé dovnitř." [25]

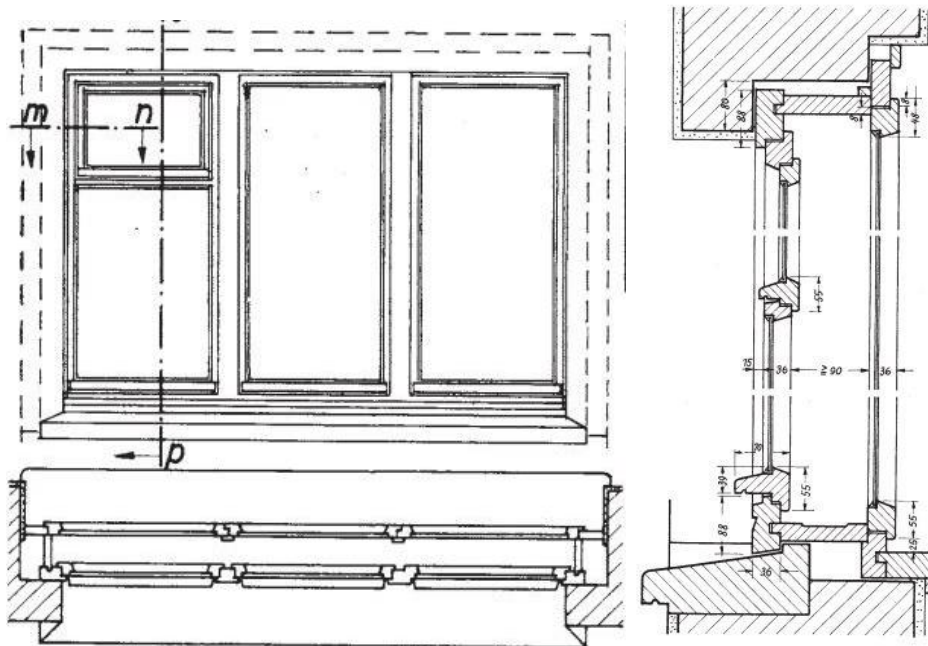


Obr. 26 - Okno dvojité rámové v půdorysu [25]

Okno dvojité s deštěnou špaletou: v minulosti užívaná okna dvojitá dovnitř a ven otevíraná měla okenní rámy osazené v drážkách ve vnějším a vnitřním líci. Ostění mezi okenními rámy dvojitých oken bývalo deštěno, nebo jen omítnuto. Vnější křídla osazená v líci průčelí dodávají fasádě zcela specifický, nezaměnitelný výraz (Obr.27). "Dvojité okno dovnitř otevírané se původně osazovalo do dvakrát zalomeného ostění. Vazba takové špalety byla velice pracná, bylo třeba sekat kvantlíky a neustále kontrolovat svislíci. Dnes se používá pro zadržování tohoto okna ostění pouze jedenkrát zalomené. U dvojitých oken s deštěným ostěním je vnější i vnitřní rám dělen po výšce poutcem a po šířce sloupkem. Vnější rám je spojen deštěním s rámem vnitřním a je zajištěn stahovačkou z pásového železa. Oba spojené rámy okenní se osazují do ostění ještě před omítkami a přichytí se lavičnickými. Teprve potom se dozdvívá parapet a omítá se. Spára mezi rámem a omítkou se kdysi lištovala." [25]

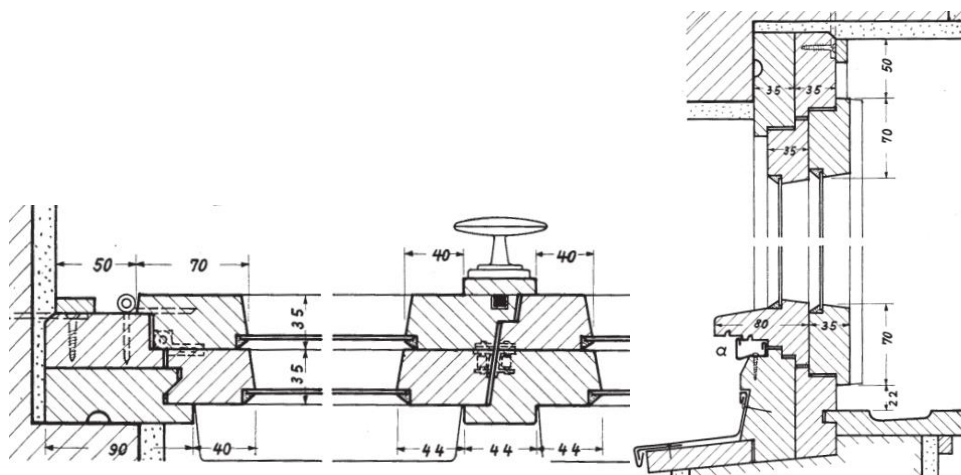
V okenním rámu jsou vyfrézovány drážky, do nichž zapadá profilace křídel tak, aby vznikly dvě těsnicí plochy. Svislá drážka vnějšího rámu a sloupek mají ještě někdy drážku pro svedení vody do žlábků ve spodním vlysu rámu nebo v poutci. Odtud se voda odvádí otvory vyvrtanými v rámu. Vnitřní rám má poutec a sloupek užší než vnější rám. "Deštění nadpraží bývá někdy upraveno jako truhlík pro svinovací zatemňovací zařízení. Poprsník je na vnitřním líci obložen parapetním prkénkem, spojeným s rámem na polodrážku, a ještě se kotví ke zdivu poprsníku. Vnější líc poprsníku se většinou plechuje. Okenní křídla mají vyfrézovány drážky pro těsnění

okna a drážky pro uložení skel. Spodní vlys křídla je opatřen okapnicí, která se kdysi hoblovala se spodním vlysem křídla z jednoho kusu." [25]



Obr. 27 – Okno dvojité s deštěnou špaletou půdorysu a řezu [25]

Okno zdvojené: okna zdvojená jsou vlastně okna jednoduchá, na jejichž okenní křídla jsou připojena druhá křídla tak, že mezi skly obou křidel vznikne vzduchová mezera cca 4 cm široká. Tato okna se objevují na budovách z konce 19. a počátku 20. století a začala se masivně používat po 2. světové válce. Na zdvojená okna se spotřebuje mnohem méně dřeva i kování a dají se pohodlně otevírat. Zdvojená okna nedosahují parametrů dvojitých oken, zvláště akustická složka je poměrně nepříznivá. Jejich výhodou je v tom, že lze dosáhnout poměrně subtilních profilů, zejména u poutce. [25] Obrázek 28 ukazuje vodorovný a svislý řez oknem.



Obr. 28 – Vodorovný a svislý řez oknem zdvojeným [25]

3.3 STAVEBNÍ FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

CIHLÁŘSKÉ VÝROBKY

Pro výrobu cihel a podobných cihlářských výrobků jsou pochopitelně důležité cihlářské zeminy s ohledem na požadované vlastnosti po vypálení. Ve spojení s vodou tyto zeminy získají plastičnost důležitou pro vytváření výrobků, vypálením dojde ke zpevnění. Dalšími příměsemi jsou především tzv. „ostřiva“ a „lehčiva“. Jako ostřivo se nejčastěji používá písek nebo drť z cihel či jiných rozemletých vypálených střeptů. Jako lehčivo se používá uhelný mour, rašelina, dřevěné piliny, křemelina apod. Pálení dodá výrobkům konečné vlastnosti, především tvarové, vzhledové a mechanicko-fyzikální (hmotnost, pevnost, odolnost proti mechanickému opotřebení a proti chemickým vlivům, vodotěsnost, trvanlivost a izolační vlastnosti). Je to podstatná část technologického procesu výroby keramických výrobků. Cihlářské výrobky jsou pórovité s barevným střeptem, obvykle neglazované, dostatečně pevné. Mohou být vylehčené otvory, dutinami nebo vyšší pórovitostí. Obecně mají dobré tepelně izolační vlastnosti a typicky jsou mrazuvzdorné. V závislosti na konkrétním druhu může být nasákavost min. 10, 12 až 18 %. [26]. Dle účelu, ke kterému jsou cihlářské výrobky využívány ve schodišťových domech, je dělíme na: a) pálenou krytinu, b) cihlářské prvky pro svislé konstrukce.

a) Krytina

Pálené tašky se vyrábějí z lepší cihlářské, obyčejné plavené hlíny, jejíž příprava musí být důkladnější nežli pro výrobu cihel. Formují se ručně, po př. strojově tažením nebo ražením a suší se na rámečkách v otevřených sušárnách slunečním teplem nebo v uzavřených sušárnách, přímo vytápěných. Pálením do červena za vysokého žáru v cihlářských pecích se tašky potom vypalují. [22]

Podkroví původně sloužilo k sušení a skladování prádla. Střešní krytina chránila půdní prostor před vnikáním vody a sněhu nebo před znečištěním prachem a sazí. Úplnému vniknutí prachu a prašného sněhu do půdních prostor bez lepenkového podbití, nelze zabránit. To by bylo možné pouze při zcela utěsněné střešní krytině, přes kterou by do půdních prostor nemohl pronikat vzduch. Změna skladby střechy přišla později, když se podkroví předělalo na vytápěný byt. Podkroví se nemůže plnit funkci obytného prostoru bez přidání vrstvy tepelné izolace, což při jeho původním využití nebylo nutné.

b) Svislé konstrukce

Stavební řády z 19. století určovaly empirická pravidla dimenzování (určování rozměrů), ať už šlo o zděné stěny, pilíře, sloupy, bytové, průmyslové nebo živnostenské stavby, nebo i zděné pilíře menších mostů. Dimenzování zdi záviselo na druhu zdiva, počtu podlaží, rozponu a na vzdálenosti stěn (tj. na hloubce traktu u obytných budov). Pro období od 18. století až do 60. let 20. století jsou typické zděné obvodové konstrukce, plnící nosnou i tepelně izolační funkci zároveň. Zdivo mohlo být kamenné,

cihelné, anebo smíšené z opuky, pískovce, ruly a cihel v tloušťkách 30 cm až 80 cm. [14]

Norma "Tepelné technické vlastnosti stavebních konstrukcí a budov", která formulovala požadavky na tepelné izolační vlastnosti stavebních konstrukcí vyšla v roce 1963. Minimální hodnota tepelného odporu obvodové stěny v této normě vycházela z ustanovení stavebního řádu z roku 1886, který nařídil, aby obvodové stěnové konstrukce měly tloušťku minimálně 45 cm. Této tloušťce odpovídá tepelný odpor $R=0.6 \text{ m}^2\text{h C/kcal}$, což je přesně hodnota požadovaná v uvedené normě. Obyčejné plné cihly mají hodnotu λ – součinitel tepelné vodivosti – mezi 0,8 a 1,1 W/mK. [27]

Tloušťka nadzemní stěny je obvykle v přízemí největší a v každém patře se zmenšuje. Jasným důsledkem jsou vyšší hodnoty součinitele prostupu tepla (U) u stěn vyšších pater. Svislá konstrukce, kromě podzemní, byla obvykle složena ze tří vrstev; vnitřní a vnější omítka a plné cihly.

Požadovaná hodnota součinitel prostupu tepla U tepelné ochrany budov pro obvodové stěny je v dnešní době $0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$, zatímco hodnota součinitel prostupu tepla U vypočítaná pro skladby stěn studovaných objektů:

cihel tloušťka 900 mm + omítky je $0.75 \text{ W/m}^2\text{K}$.

cihel tloušťka 750 mm + omítky je $0.79 \text{ W/m}^2\text{K}$.

cihel tloušťka 600 mm + omítky je $1.04 \text{ W/m}^2\text{K}$.

cihel tloušťka 450 mm + omítky je $1.29 \text{ W/m}^2\text{K}$.

PODZEMNÍ SVISLÉ KONSTRUKCE

Svislá konstrukce podzemí byla obvykle tvořena o velkých tloušťkách, které mohly dosáhnout 1 m, se zdmi smíšenými z cihel a kamenů. Nejčastěji se používalo přírodní kamenné jako např. lomový kámen a kvádry. Použití kamene ve stavebnictví spočívá ve využití jeho dobrých vlastností. Jsou to zvláště velká pevnost v tlaku, hutnost, odolnost proti zvětrávání a možnost povrchového opracování. Nutno však počítat s velkou objemovou hmotností a malou tepelně izolační schopností. Součinitel tepelné vodivosti se u mnohých hutných kamenných materiálů pohybuje nad $2,0 \text{ W/mK}$. [28] Ve schodištvých budovách nejsou sklepy využívány k ubytování a nevyžadují vytápění, ale mohou vytvářet tepelné mosty mezi suterénem a přízemím.

OMÍTKA

Nejvýznamnějším pojivem historických omítek je vápno – hydrogel Ca(OH)_2 vytvrzující karbonační reakcí za vzniku kalcitu. Vlastnosti omítky kromě užitého plniva (písku, štěrku) souvisí zejména se složením suroviny – vápence. Tento materiál je, podobně jako cihlové výrobky, porézni. propustnost vodních par je vysoká. Vrstva snadno odpaňuje vodu. Toto kritérium ovlivňuje trvanlivost omítky z hlediska krystalizace solí.

OKNA

Obecně se předpokládá, že okna představují 10–20 % tepelných ztrát z budov, i když se to bude u jednotlivých budov značně lišit, v závislosti na velikosti a počtu otvorů ve vztahu k oblasti vnější stěny [29]. Tepelná výměna, co se oken týče probíhá především následujícími způsoby:

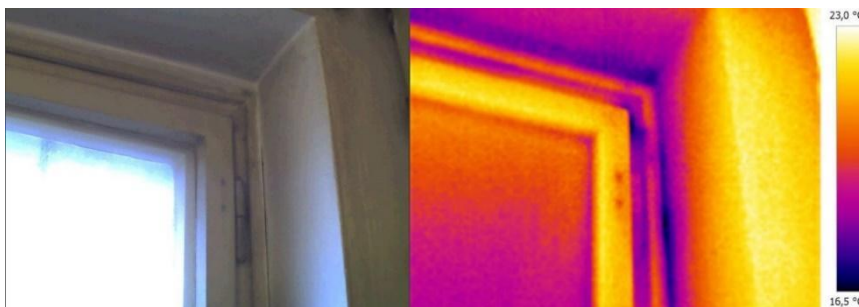
- a) konvekcí skrz mezery a otvory a zářením z povrchů;
- b) vedením skrz sklo a materiály rámu.

Konvekcí skrz mezery a otvory a zářením z povrchů

Většina starších oken má problém s únikem vzduchu. V důsledku netěsností dojde k náhradě teplého vnitřního vzduchu chladným vzduchem z exteriéru, což znamená. První nejjednodušší reakcí na tento problém je provést dobrou údržbu. Staré tmely a drážky vyžadují údržbu a výměnu jako rychlé řešení minimalizovat únik studeného vzduchu. Utěsnění historických okenních výplní není až na výjimky technicky složité ani drahé. Běžná historická okna bez sofistikovaných těsnících profilací umožňují relativně snadno náhradu dožilých těsnění za nová.

Tepelná výměna vedením skrz sklo a materiály rámu

Je v termogramu starého dřevěného okna (Obr. 29) jasně patrný problematický tepelný most u rámu a jeho osazení. Nejnižší teplota a největší úniky tepla jsou právě zde. Problém představuje též netěsnost rámu a pronikání chladného vzduchu rámem.



Obr. 29 – Termogram starého dřevěného okna [30]

V [31] byl zvolen objekt ze 30. let 20. století, nicméně daná konstrukce oken se s minimálními obměnami opakuje u objektů starších (od 19. století) i mladších pro výpočet součinitele prostupu tepla (U). Výsledky, které byly zjištěny v uvedených výpočtech, jsou následující:

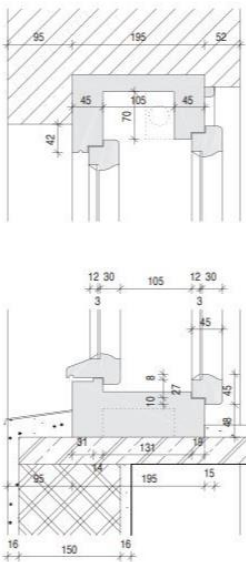
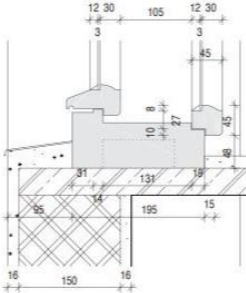
Součinitel prostupu tepla dílčího vnitřního okna činí: $4.93 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Součinitel prostupu tepla dílčího vnějšího okna činí: $4.83 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Výsledný součinitel prostupu tepla dvojitého okna je tedy: $2.45 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Součinitel prostupu tepla stávajícího okna nesplňuje požadavek ČSN 730540-2 na součinitel prostupu tepla výplně otvoru $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

V následující tabulce (tabulka 1) jsou drobnější výsledky uvedeny výpočtu [31]:

Dílní okno	Část okna	Výpočet U		Výpočet ψ	
		Propustnost L	Souč. Prostupu tepla rámu U	Propustnost L	Lineární činitel prostupu tepla ψ
		[W/(m.K)]	[W/m ² K]	[W/(m.K)]	[W/(m.K)]
	Boční část	1,046	2,46	1,391	-0,010
	Horní část	1,046	2,46	1,391	-0,010
	Spodní část	0,971	2,51	1,314	-0,013
	Styk křídel	1,715	2,39	2,400	-0,026
	Styk oken	1,776	2,55	2,463	-0,024
	Boční část	1,051	2,45	1,395	-0,011
	Horní část	1,089	2,46	1,433	-0,011
	Spodní část	1,073	2,74	1,415	-0,013
	Styk křídel	1,715	2,39	2,400	-0,026
	Styk oken	1,809	2,51	2,497	-0,023
Lineární činitel prostupu tepla ve styku vnitřního a vnějšího okna (okraj)					-0.016

Tabulka 1 - Výsledky výpočtu součinitele prostupu (U) konstrukce oken z 19. století a ze začátku 20. století [31] *

*Autorem výpočtů je doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda a byl proveden podle ČSN EN ISO 10077–1 A 10077–2 s pomocí programu AREA 2005.

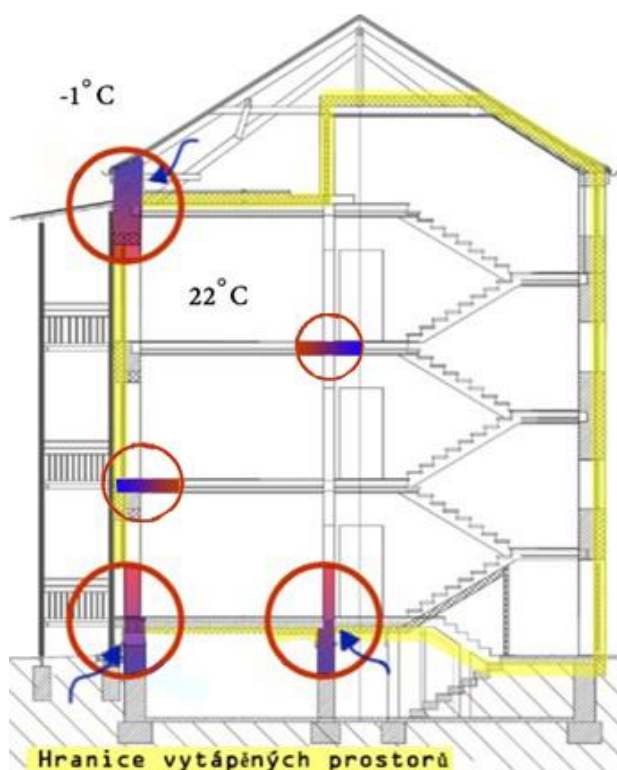
Tepelné odpory při přestupu tepla okna byly uvažování podle ČSN 730540–2, ČSN EN ISO 10211–1, ČSN EN ISO 10077 – 2 a ČSN 730540. [31]

TEPELNÉ MOSTY

Nerekonstruované domy mají velké tepelné ztráty a řadu tepelných mostů a jsou často poškozeny vlhkostí [24]. "Tepelný most je místo, v němž dochází k vícerozměrnému vedení tepla. Tepelné mosty mohou být způsobeny vedením, prouděním i sáláním. Ve stavební praxi se lze obvykle setkat s tepelnými mosty způsobenými vedením tepla. Ty lze přesněji rozdělit na tepelné mosty v konstrukci a tepelné vazby. Tepelná vazba je typ tepelného mostu vznikající stykem dvou různých konstrukcí. Jedná se např. o okenní ostění, roh budovy, kde je styk dvou stěn apod." [32]

Umístění tepelných mostů ve studovaných budovách (Obr. 30) jsou:

- Rámy oken;
- stropní trámy umístěné v obvodových stěnách nebo mezi nevytápěnými prostory, jako jsou schodiště a chodby, a vytápěnými byty;
- nosné stěny prostupující stropem suterénu;
- zdivo vyčnívající do nevytápěné podkroví.

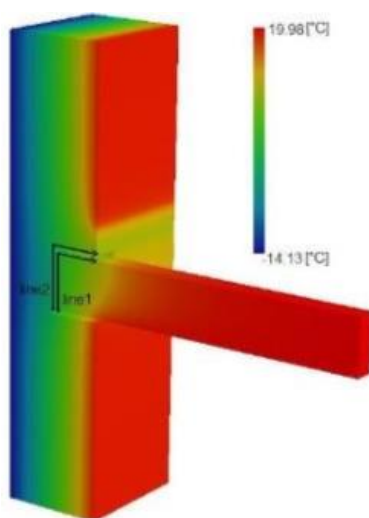


Obr. 30 – Schéma tepelných mostů v zkoumaných objektech [Autor]

Dřevěné trámy podepírající stropy zapuštěné do vnější cihlové zdi jsou jedním z nejdůležitějších detailů konstrukcí zkoumaných historických budov. Dřevo patří mezi organické materiály a citlivě reaguje na změny teploty a vlhkosti, které mohou vést k růstu plísní a degradaci. "Vlastnosti vedení tepla v různých směrech jsou markantní zejména u dřeva, kdy je tepelná vodivost ve směru kolmém na vlákna u měkkého dřeva = 0,18 W/ (m. K) a ve směru rovnoběžném s vlákny = 0,41 W/ (m. K), což je rozdíl

cca 130 %. Pro vzduch mezi trámy byly uvažovány hodnoty tepelné vodivosti = 0,36 a 1,7 W/ (m. K), což je rozdíl 370 %". [33]

Z uvedeného grafu průběhu teplot (Obr. 31) je patrné, že na trámu je v běžném případě při teplotě exteriéru $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a interiéru $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ povrchová teplota $+1,55\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tím je prokázáno, že není splněna podmínka, dle které nesmí být teplota konstrukce taková, aby docházelo ke kondenzaci vodní páry. Po kalkulaci relativní vlhkosti vzduchu v závislosti na teplotě rosného bodu při teplotě interiéru $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ se ukázalo, že v tomto místě mělo docházet k velké kondenzaci každé zimní období se všemi následnými jevy, zejména s hnilobou zhlaví trámů. [33] Přidáním vnitřní izolace zůstane zhlava nosníku na chladné straně konstrukce a zvýší se úroveň vlhkosti a riziko degradace. výpočty v této práci považují tepelné mosty po přidání vnitřní izolace.



Obr. 31 – Termogram zhlaví stropních dřevěných trámů uložení ve zdivu z plných cihel tl. 45 cm [33]

4 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ

Tato kapitola prochází některé z moderních studií, které byly provedeny s cílem zlepšit energetickou účinnost historických budov podobných těm, které jsou předmětem této práce. Diskutované renovace obvodových plášťů historických budov v této kapitole jsou: izolace na vnitřní straně obvodových stěn, minimalizace tepelných mostů, vylepšení vlastností historických oken anebo využití nových technologií, např. přidáním solárních panelů.

4.1 IZOLAČNÍ SYSTÉMY NA VNITŘNÍ STRANĚ STĚNY V HISTORICKÝCH BUDOVÁCH

Nejpřímější způsob, jak dosáhnout téměř okamžitého zlepšení spotřeby energie na vytápění, je dodatečná izolace vnějších stěn. Vnější tepelné izolace byly a stále jsou považovány za standardní řešení, protože mají zjevné výhody: ochranu nosných konstrukcí před nadměrnými teplotními změnami a jinými vlivy vnějšího prostředí, snížení nebo úplné vyloučení tepelných mostů a jednodušší technologické řešení než vnitřní izolace. Vnitřní izolace mají oproti vnějším řadu nevýhod, ale v případě historických budov se pochopitelně nabízí zásadní výhoda: nemění charakter ani podobu fasády. Historické fasády jsou chráněny orgány odpovědnými za ochranu architektonického dědictví. Vnitřní tepelná izolace je tedy jediným proveditelným řešením ke zlepšení spotřeby energie, která nemá negativní dopad na kulturní hodnotu. [34] Vnitřní izolace však vedla v některých případech k mnoha problémům, hlavním problémem je zvýšená úroveň vlhkosti a riziko kondenzace na studené straně izolovaných stěn, mezi stěnou a tepelnou izolací.

Typy vnitřních izolačních systémů jsou parotěsné nebo paropustné. První typ zahrnuje difuzně těsné syntetické pěny a parotěsné izolační systémy, které jsou navrženy tak, aby bránily difúzi par z vnitřního prostoru. Během posledních dvou desetiletí však byla vyvinuta, testována a aplikována v některých projektech modernizace koncepce řešení problému kondenzace. Místo toho, aby se zabránilo kondenzaci, umožňují paropustné izolační systémy výměnu par mezi zdívkou a vnitřním prostředím. [35], [36].

PAROZÁBRANA

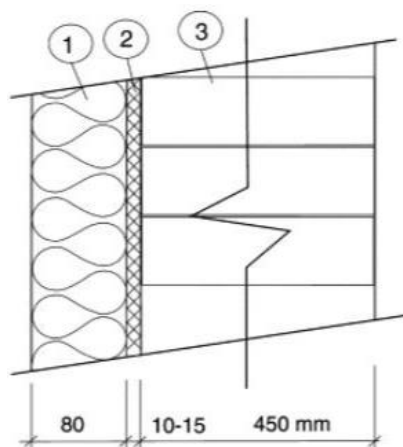
Lepší pochopení parozábrany začíná difúzní teorií: hmota (atom, ionty, molekuly ... v našem případě páry) proudí z oblasti s vysokou koncentrací do oblasti s nízkou koncentrací, regulovanou paropropustnou membránou oddělující dvě oblasti. K difúzi v sestavách stěn budov často dochází tak, že vzduch proudí z teplé strany na studenou, protože teplý vzduch má větší koncentraci vody než studený vzduch, a to zvyšuje úroveň vlhkosti a riziko kondenzace na studené straně stěny, často mezi stěnou a tepelnou izolací.

Hlavním úkolem parozábrany je zastavit nebo přesněji zpomalit průchod vlhkosti při její difúzi skrz materiály zdi [37]. V chladném podnebí to znamená, že pára difunduje především z vyhřívaneho interiéru do chladnějšího exteriéru. Parozábrana by měla být provedená na straně s vysokým tlakem par, obvykle na teplou stranu stěny.

Parotěsné izolační systémy se mohou skládat buď z jednoho materiálu splňujícího oba požadavky (parotěsné a tepelné izolace), jako např. EPS nebo XPS, nebo ze dvou materiálů, jako je například minerální vlna s fólií jako parotěsnou zábranou. Použití dvou materiálů se však zdá být vynuceným řešením, které je dáno omezeným výběrem tepelně izolačních materiálů na trhu [34]. Při konstrukci vnitřních zateplovacích systémů, umísťuje mnoho projektantů folie parozábrany těsně pod vnitřní omítku, přímo na povrch izolační vrstvy, aby byly izolační vrstva i nosná konstrukce chráněny proti průniku vodní páry. Jedná se však o řešení, které může fungovat dobře pouze v teoretické rovině. V praxi je velmi obtížné zabránit mechanickému poškození takto nevhodně umístěné bariéry proti vodní páře. Jediný hřebík nebo háček zatlačený do zdi může parozábranu poškodit a narušit správnou funkci bariéry. Mechanickému poškození bariéry proti vodní páře lze zabránit umístěním bariéry mezi tepelnou izolaci a nosnou konstrukci.

Množství vody kondenzované v izolační vrstvě by však bylo v určitých časových obdobích roku relativně vysoké. Jednou z možností je použít tepelně izolační materiál, který nelze poškodit dlouhodobým působením vody. Nicméně přítomnost vody bude mít vždy nepříznivý vliv na tepelně izolační vlastnosti. V klimatických podmínkách severní a střední Evropy je nebezpečí tvorby kapalné vody největší hlavně v zimních měsících. Ke zhoršení funkce tepelné izolace by tedy došlo právě v zimním období roku, kdy je nejvíc nežádoucí [38]. Bariéry proti vodní páře by však nebyly dokonalým řešením. Zvýšení vlhkosti interiéru by vedlo ke zvýšeným požadavkům na účinné větrání, aby se zachoval tepelně vlhkostní komfort uvnitř budovy. [34]

V práci [38] testuje tepelně izolační systém z minerální vlny s parozábranou na cihlové zdi o tloušťce 45 cm (Obr.32). Je použita laboratorní technika simulující skutečné podmínky pro posouzení hygrotérmálního výkonu obvodového pláště. Zed' je vložena mezi dvě komory, v komoře, která by měla simulovat vnitřní klimatické podmínky byla nastavena teplota a relativní vlhkost běžných obytných prostor. V komoře simulující vnější klimatické podmínky byla použita skutečná klimatická data pro teplotu a relativní vlhkost odpovídající testovacímu referenčnímu roku pro Prahu.



Obr. 32 - (1) minerální vlny; (2) parozábrana B2 Karlomix; (3) cihlová zeď [38]

Hydrofilní tepelně izolační vrstva vykazovala velmi pozitivní vliv na hydrotermální chování cihlové stěny i v nejkritičtější části roku z hlediska kondenzace vody. Parozábrana vykazovala dobrou schopnost řídit transport vodní páry z interiéru do exteriéru nosnou konstrukcí.

KAPILÁRNĚ AKTIVNÍ IZOLACE

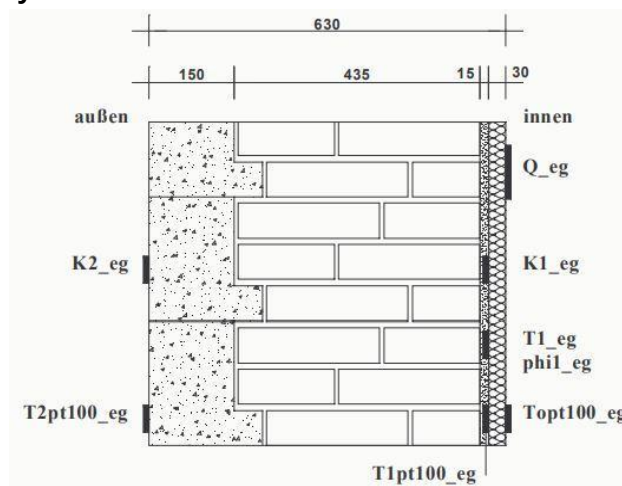
Narozdíl od parozábrany se kapilárně aktivní izolace nesnaží kondenzaci zabránit, ale využívá ji jako aktivní součást izolace. Kapilární aktivita umožňuje transport a vysušení možného kondenzátu, i když je tato kondenzace způsobena také izolačním materiálem s pórovým systémem. Kapilární aktivní izolace funguje vždy jako systém dvou materiálů: izolace a lepicí malty. Kapilárně aktivní izolační produkty jsou ve většině případů anorganické, jako např. křemičitan vápenatý (CaSi), autoklávovaný pórobeton (AAC) nebo jiné materiály s vlastnostmi zajišťujícími vysokou úroveň hygroskopicity a kapilarity, např. tenké maltové kanály v IQ-Therm na bázi PUR pěny. V posledních letech však vědci zkoumali také biologicky odbouratelné (biotické) izolační materiály, jako je například ovčí vlna [39], konopí, juta a len [40]. Tyto ekologicky udržitelné materiály mají některé relevantní hygroskopické vlastnosti a jsou do určité míry kapilárně aktivní. Zdá se, že jsou slibnou alternativou, ale k definování jejich použitelnosti je stále zapotřebí dalšího výzkumu.

Ústav stavební klimatologie Technické Univerzity v Drážďanech v rámci svého výzkumu vývoje tepelně izolačních systémů studoval v [41] mnoho případů vnitřních izolací bez parotěsné zábrany na historických fasádách. Jeden z objektů, které jsou v této práci studovány je historická obytná budova, která se nachází v Drážďanech, Německu (obr. 33).



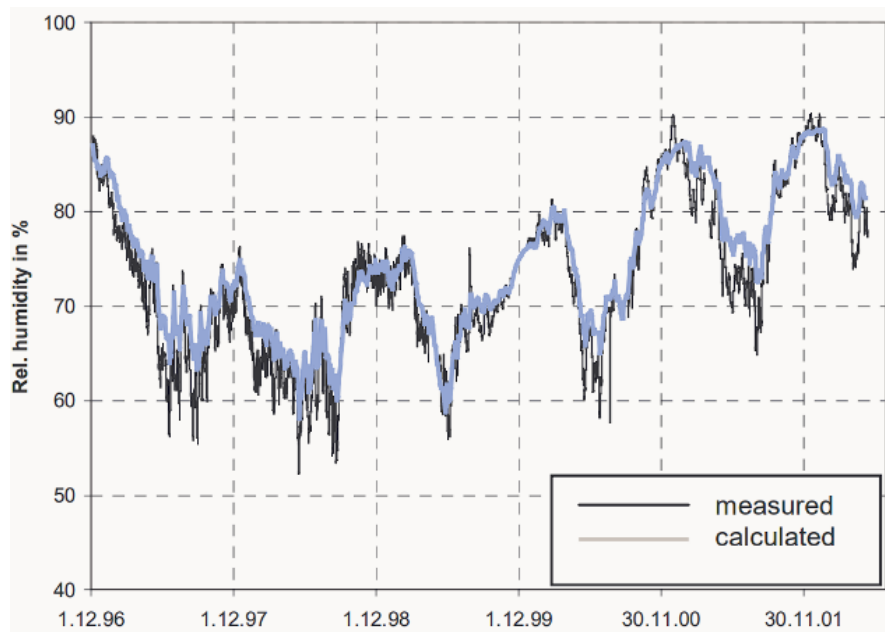
Obr. 33 - Uliční fasáda zkoumané budovy v Drážďanech [41]

Materiálem použitým pro vnitřní izolaci fasády drážďanského domu je kapilárně aktivní křemičitan vápenatý nalepený maltou na původní vnitřní omítku. Kompletní renovace včetně instalace měřicího zařízení byla provedena v roce 1996. Obrázek 34 ukazuje pozice použitých senzorů.

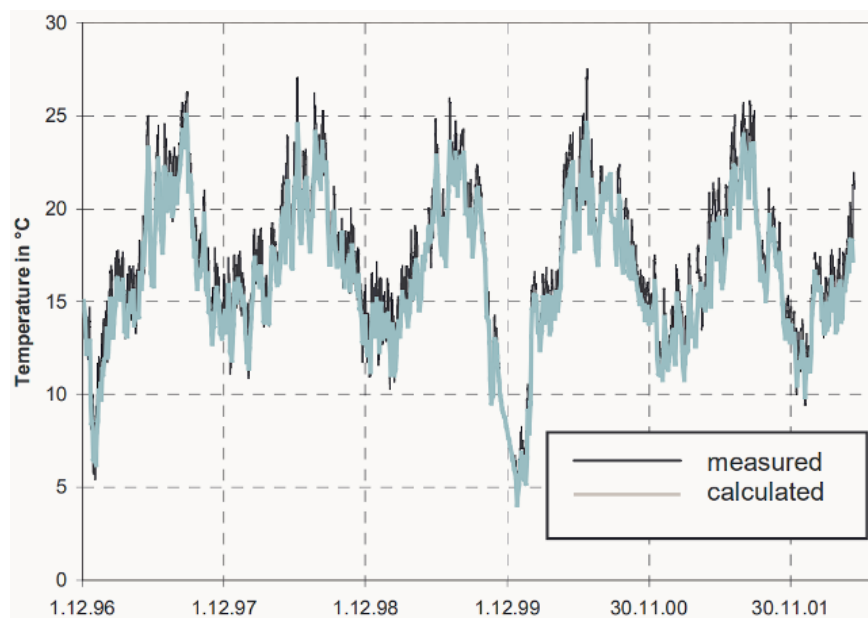


Obr. 34 - Stěnová konstrukce a umístění senzoru ve vnější stěně přízemí testované budovy v Drážďanech [41]

Hygrotermické procesy ve zkoumaných vnějších stěnách přízemí, prvního patra a dvorní fasády byly také numericky simulovány pomocí softwaru DELPHIN. Studie potvrdila velmi dobrý soulad mezi naměřenými a simulovanými hodnotami v průběhu zkoumaného časového rámce pěti let. Pouze na přelomu roku 1996/97 a v prosinci 2000 dochází k tvorbě kondenzátu. Z teplot a tepelného toku vyplývá hodnota součinitele prostupu tepla $U=0,64 \text{ W/m}^2\text{K}$. Tepelné ztráty přes fasády se snížily přibližně o jednu třetinu. Naměřená a vypočtená relativní vlhkost a teploty jsou znázorněny na obrázcích 35 a 36.



Obr.35 - Naměřená a vypočtená relativní vlhkost mezi starou vnitřní omítkou a spojovací maltou. [41]



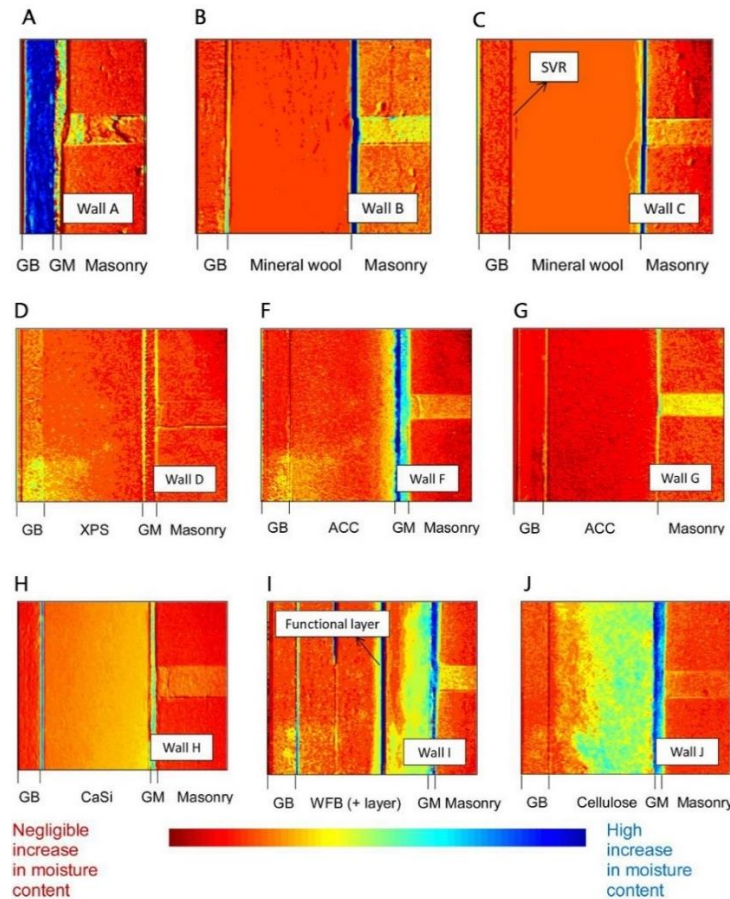
Obr.36 - Naměřená a vypočtená teplota mezi starou vnitřní omítkou a spojovací maltou. [41]

Pro srovnání hygrických vlastností obou izolačních systémů práce [42] provede laboratorní experiment metodou hot box-cold box realizovanou na cihlových stěnách opatřených různými vnitřními izolačními systémy a vystavených ustálenému zimnímu stavu. Složení různých sestav zkušebních stěn je uvedeno v tabulce 2. Tloušťka izolace je 5 cm, s výjimkou pěnového skla a izolace z dřevovláknitých vláken (6 cm).

A	Ext.	Zdivo +/- 29 cm	Lepicí malta		sádrokartonové desky 1,25 cm	Int.	
B			Minerální vlna				
C			Minerální vlna	Parotěsná zábrana			
D			Lepicí malta	XPS			
E			Lepicí malta	Pěnové sklo			
F			Lepicí malta	Autoklávovaný pórobeton			
G			Autoklávovaný pórobeton				
H			Lepicí malta	Křemičitan vápenatý			
I			Lepicí malta	Izolace ze dřevěných vláken s integrovanou funkční vrstvou			
J			Lepicí malta	celulóza			
K			Lepicí malta	celulóza			Parotěsná zábrana

Tabulka 2 - Složení různých sestav testovacích stěn [42]

V chladném boxu je teplota přibližně 2°C. V horkém boxu je 35°C. Tyto podmínky evidentně neodpovídají reálným podmínkám, ale jsou vybrány tak, aby se v krátké době dosáhlo jasně detekovatelného zvýšení obsahu vlhkosti při použití metody rentgenové projekce. Kvůli této odlišnosti od reality je cíl studie [42] omezen na zkoumání pracovního mechanismu různých vnitřních izolačních systémů. Výsledné profily obsahu vlhkosti, získané metodou rentgenové projekce, pro zed' A, B, C, D, F, G, H, I a J jsou znázorněny na obrázku 37.



Obr. 37 - Výsledné profily obsahu vlhkosti pro zeď A, B, C, D, F, G, H, I a J testované v [42]

Z [42] lze učinit závěr, že ačkoli kapilární aktivní izolační systém snižuje riziko kondenzace mezi zděnou zdí a kapilárně aktivním izolačním systémem, vlhkost bude částečně zachycena lepicí maltou a izolačním materiálem. Tuto vlhkost lze přerozdělit směrem do místnosti. Studie taky ukázala, že nejvyšší zvýšení hmotnosti izolačních materiálů a lepicí malty bylo po použití kapilárních aktivních systémů. Je ukázáno v experimentální rentgenové studii [42], že stěny s kapilární aktivní izolací mohou uchovávat mnohem více vlhkosti než stěny s parozábranou.

ZÁVĚR

Přidáním vnitřní izolace se změní hydrotermální chování struktury. To vede k vyšší úrovni vlhkosti v důsledku snížení kapacity sušení stěny. To je důvod, proč historické budovy, které po mnoho let dokázaly odolávat povětrnostním vlivům, mohou mít při vnitřní izolaci problém s vlhkostí.

Kapilární aktivní systém je shledán citlivějším než parotěsný systém na malé úpravy struktury stěny (např. Vnitřní dokončovací nátěr, tloušťku stěny, lepicí maltu), zatímco u stěny s parotěsným systémem nebyly pozorovány téměř žádné rozdíly.

Kapilární aktivní systém by mohl fungovat lépe než parotěsný systém v sestavách s tlustšími zdmi, kde je vnější povrch stěny chráněn před deštěm a větrem. Zatížení deštěm může být pro vlhkostní bilanci fasády ještě kritičtější než účinek intersticiální kondenzace kvůli vysokému množství srážek, které lze zachytit kapilárním sáním. Odhaduje se, že až 70% dešťové vody může být absorbováno porézní stěnou [43]; čím

vyšší je kapilární aktivita materiálu, tím více vody může proniknout do stěny. Proto jsou velmi exponované zejména historické zděné fasády z porézních neomítnutých a tenkých cihel.

Každou budovu a potenciální úpravy je třeba studovat samostatně s přihlédnutím ke všem prvkům, které přispívají k výběru systému, jako jsou tloušťky stěn, všechny vrstvy a povrchové úpravy stěn, klimatické faktory včetně zatížení deštěm ovlivňovaného polohou a orientací fasády, systém větrání vzduchu a požadovanou vlhkost vnitřního prostředí. Proto je doporučeno a je nutné analyzovat proveditelnost izolace pro každý jednotlivý případ.

4.2 ZHLAVÍ TRÁMU: TEPELNÉ MOSTY A TEPELNĚ VLHKOSTNÍ NAMÁHÁNÍ

Stropy studovaných budovách v disertaci jsou často podepřeny dřevěnými trámy umístěnými v kapsách zapuštěných do cihlových zdí. Jedná se o klíčový strukturální detail, systematicky opakovaný, s organickým materiálem citlivým na poškození vlhkostí a biodegradací. Použití vnitřní izolace, která je diskutována v této práci a zkoumána v mnoha studiích jako součást energetické renovace, znamená, že dřevěné trámy vyčnívá tepelnou izolací vytváření tepelných mostů. Problém tepelných mostů není jediným, který musíme zmínit. Konec dřevěného trámu je umístěn ve studené části budovy. Nižší teplota v této poloze nevyhnutelně vede k vyšší relativní vlhkosti vzduchu v kapse pro uložení nosníku (viz obr. 38). Obsah vlhkosti dřeva ve styku se vzduchem v kapse je tedy vyšší než na teplé, kryté (izolované) straně. Mnoho studií se zaměřuje na vliv vnitřní izolace na chování zhlav dřevěných trámů po její aplikaci. Několik z nich se pokusilo předpovědět, kdy na dřevěné konstrukci hrozí růst plísní.

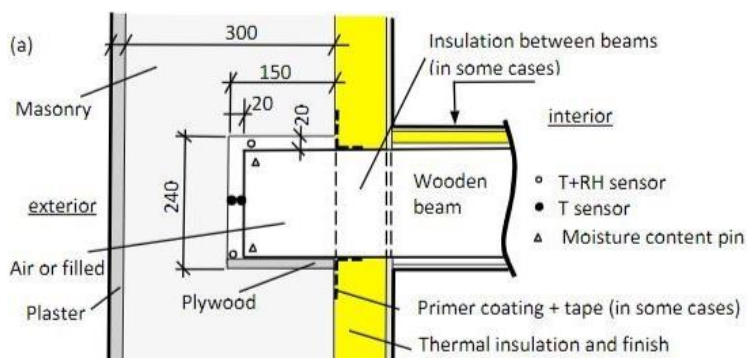
Na jihozápadní fasádě Univerzitního centra energeticky efektivních budov (UCEEB) v Praze, byl proveden experiment [44] zaměřený na zkoumání chování zhlav dřevěných trámů po přidání 3 různých typů vnitřní izolace na cihlové zděné stěny (30 cm) s vnější vápenocementovou omítkou (2 cm). Testované vnitřní izolační systémy v [44] jsou:

S1 – dřevovláknitá izolace (8 cm) s vnitřní omítkou (0.5 cm)

S2 – minerální vlna (9 cm) mezi hliníkovými sloupky s inteligentním zpomalovačem vodní páry na vnitřní straně a sádkokartonovými deskami (1.25 cm)

S3 – vakuová izolace (4 cm: 1 cm EPS + 2 cm vakuová izolace + 1 cm EPS) a cementové lepidlo (0.5 cm) s vnitřní omítkou (0.5 cm). Je postavena část dřevěné podlahy, aby se simuloval skutečný tepelné vlastnosti co nejbližší skutečné situaci.

Zkoumané byly dva typy instalace systému S1. První instalace napodobuje situaci, kdy budou během rekonstrukčních prací demontovány podlahové vrstvy. V této variantě byla kapsa pro uložení trámu utěsněna vzduchotěsnou a parotěsnou páskou. Těsnící páska byla přilepená na zdivo a dřevěný trám. Některé kapsy byly vyplněny hygroskopickým materiálem (dřevovláknité desky) a utěsněny. Tepelně izolační vrstva tady prochází podlahovou konstrukcí (tj. izolace je připevněna mezi dřevěné trámy). Druhý typ instalace systému S1 předpokládá, že podlahová konstrukce je během renovace zachována neporušená. Protože do kapes není přístup pracovníků, nebyly v tomto případě ani utěsněné, ani naplněné. V důsledku toho tepelná izolace končí na povrchu podlahy a stropu. Mezi dřevěnými trámy není žádná tepelná izolace. Všechny kapsy pro uložení nosníku systému S2 byly utěsněny páskou. Kapsy systému S2 se nevyplňují. Kapsy pro uložení nosníků S3 byly taky utěsněny páskou.



Obr. 38 - Poloha snímačů měření ve zděné kapse s dřevěným koncem paprsku [44]



Obr. 39 - Těsnicí páska připevněná k dřevěnému nosníku (systém S1) [44]

Všechny tři systémy byly monitorovány po dobu 2 let. Byly umístěny v místnosti s kontrolovaným vnitřním prostředím. Vnitřní teploty a vlhkosti jsou uvedeny v následující tabulce:

Datum	07.03.15	04.10.16	06.10.16	18.10.16	02.11.16	02.01.17	23.01.17
vnitřní podmínky	20 °C/50 %	20 °C/70 %	20 °C/50 %	20 °C/60 %	24 °C/60 %	18 °C/40 %	24 °C/60 %

Tabulka 3 - Časový rozvrh a vnitřní teplota experimentu [44]

Výsledky experimentu ukazují, že relativní obsah vlhkosti v okolním vzduchu dřevěného trámu přesahuje 80 %, což se očekává jako minimální vhodná úroveň obsahu vlhkosti pro růst plísní. V testovacích případech je tato mezní hodnota poměrně často překračována. Relativní vlhkost v otevřených kapsách se v chladném období přiblížila 100 % a odpovídající index plísně přesáhl hodnotu jedna. Tato úroveň indexu plísně je klasifikována jako počáteční fáze růstu plísní viditelných mikroskopem. Hodnoty vyšší než jedna indikují nevhodné podmínky vlhkosti a potenciální problémy. Utěsněné kapsy dosahovaly po celý rok prakticky nulového indexu růstu plísní, i když relativní vlhkost v chladném období v některých případech přesahovala 80 %.

Teplota 24 °C a relativní vlhkost 60 % stanovená od listopadu 2016 (tabulka 3) napodobují vysoké zatížení vnitřní vlhkostí. Ale vnitřní teplota vzduchu 23 °C dnes není v bytových domech nic neobvyklého. Pokud se sníží průtok vzduchu v bytech, což by mohlo být předpokládaným důsledkem dnešních vzduchotěsných oken, vyšší vnitřní zatížení uvažované v experimentu může být docela realistické. Při tak vysokém vnitřním zatížení mají i uzavřené kapsy tendenci v chladnějším období překračovat kritickou relativní vlhkost 80 %. Test dospěl k závěru, že zatížení vnitřní vlhkostí bylo důležitým faktorem pro hygro-tepelnou výkonnost nosíkových kapes v provedeném experimentu.

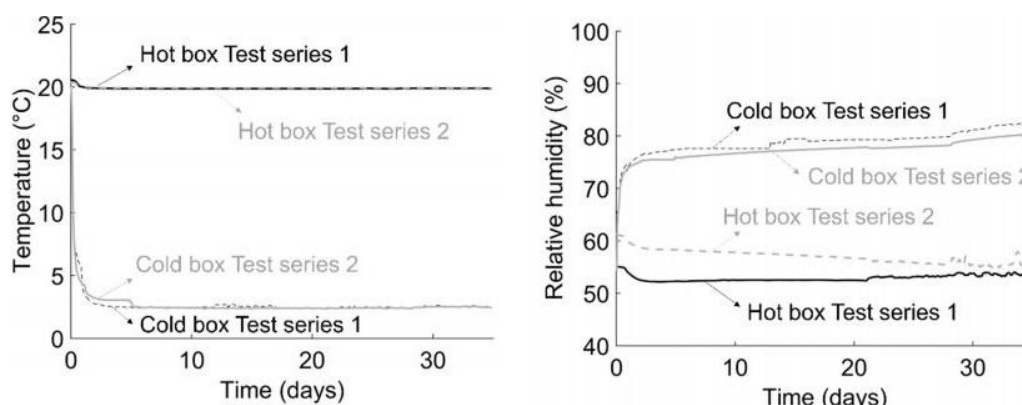
V mnoha textech je déšť poháněný větrem považován za důležitý zdroj vlhkosti pro vnitřně izolované stěny. Zvláště návětrné fasády se nacházejí v oblastech se silným větrem a častými dešti. Pokud jsou kapilární materiály umístěny mezi vnějším

povrchem a kapsami (cihly, vnější omítka), postup vlhkosti vpředu je v řádu centimetrů za hodinu a množství transportované vlhkosti může být značné. Hodinová intenzita deště byla v testu [44] nižší než 1 mm/h. Většina dešťových srážek byla kratší než dvě hodiny. Jen několik dešťů trvalo déle než 6 hodin. V tomto testu nebyla zjištěna žádná korelace mezi relativní vlhkostí v kapsách, kde se nacházejí dřevěné trámy, a větrem hnaným deštěm, ale je zapotřebí další studie o vlivu deště.

Článek [45] je zaměřen na zhlavy dřevěných trámů ve vnitřně izolovaných stěnách a studuje – na základě experimentu „hot box-cold box“ – vliv konvekčního transportu vlhkosti pro dva parotěsné a jeden kapilárně aktivní vnitřní izolační systém. Do testu není zahrnut vliv deště. Do testovacího rámu byly umístěny čtyři zděné sestavy o tloušťce 29,5 cm, šířce 55 cm a výšce 240 cm. Sestava byla postavena z cihel v jedné a půl cihlové vazbě a z hydraulické vápenné malty. Čtyři testovací stěny byly vybaveny následujícími izolačními systémy:

- Stěna „CaSi“: 0,5–1 cm lepicí malta + 10 cm křemičitan vápenatý + 0,5–1 cm dokončovací omítka.
- Stěna „MW + SVR“: 11,5 cm minerální vlna + inteligentní parní retardér + sádrokartonová deska 1,25 cm.
- Stěna „EPS“: 0,5–1 cm lepicí malta (L-sádra) + 8 cm grafitem vylepšený expandovaný polystyren + 1,25 cm sádrokarton.
- Referenční stěna: žádný izolační systém.

Systém „CaSi“ je kapilárně aktivní systém, zatímco systém „MW + SVR“ a „EPS“ jsou spíše parotěsné. V každém testu byly dva dřevěné trámy vloženy do zdiva ve vzdálenosti 15 cm od vnějšího povrchu. Na všech stranách dřevěného trámu, s výjimkou spodní stránky, byla vzduchová mezera 1 cm mezi dřevěným nosníkem a zdivem. V první sérii testu nebyla věnována pozornost vzduchotěsnosti spojů mezi stěnami a dřevěnými nosníky, zatímco u dalších dřevěných nosníků bylo zajištěno řádné vzduchotěsné těsnění. V testu byl zkoumán hygrottermální chování během zimního období v ustáleném stavu. Teplota a relativní vlhkost v chladném a v horkém boxu jsou uvedeny na obrázku 40.



Obr. 40 - Teploty a relativní vlhkost používané v testu [45]

Největší tepelný odpor měla stěna se systémem minerální vlny. Stěna se zateplovacím systémem z křemičitanu vápenatého měla nejnižší tepelný odpor (s

vyložením neizolované stěny). Nejvyšší relativní vlhkost se objevila tam, kde nebylo zajištěno vzduchotěsné těsnění jak pro stěnu izolovanou křemičitanem vápenatým a s EPS, tak pro neizolovanou referenční stěnu. Při použití pouze vzduchotěsné pásky byla relativní vlhkost u těchto stěn nižší; je však stále vyšší než relativní vlhkost měřená při použití správného vzduchotěsného těsnění. To platí zejména pro zed' s CaSi. Správné vzduchotěsné těsnění v kombinaci se vstřikováním vzduchových mezer je tedy považováno za nejlepší možnost, jak se vyhnout přenosu konvekční vlhkosti, a tím omezit nárůst relativní vlhkosti. U stěny s minerální vlnou a parotěsnou zábranou vykazuje sestava se správným vzduchotěsným těsněním nejnižší relativní vlhkost. Je také důležité si uvědomit, že relativní vlhkost naměřená pro otevřenou kapsu ve stěně s minerální vlnou je mnohem nižší, než byla zjištěna pro otevřenou kapsu v ostatních izolovaných stěnách. To lze přičíst lepšímu spojení měkkého izolačního materiálu s dřevěným trámem. I v případě vzduchotěsné sestavy s minerální vlnou jsou výsledky lepší než ostatní stěny, včetně neizolované referenční stěny, přestože má největší tepelný odpor a její počáteční relativní vlhkost je vyšší. Stejně jako u relativní vlhkosti je nejnižší obsah vlhkosti získán pro vzduchotěsné spojení ve zdi minerální vlnou.

Na závěr práce [45] se doporučuje vyhnout se infiltraci vzduchu, pokud jsou přítomny konce dřevěných trámů, přestože často nejde o snadný úkol, např. v případě podhledů v praxi. Dobře nainstalovaný systém z minerální vlny je méně citlivý na vzduchotěsnost spoje mezi dřevěným trámem a vnitřním povrchem, zatímco systém křemičitanu vápenatého je nejcitlivější. V druhém případě se doporučuje vyhnout se vzduchové infiltraci a cirkulaci vzduchu v blízkosti dřevěného trámu. Kromě toho je třeba poznamenat, že v nastavení testu nebyla zahrnuta žádná podlaha ani strop. Očekává se, že absence podlahy nebo stropu povede k co největšímu proudění vzduchu směrem ke koncům dřevěného trámu, ale mohla by v blízkosti dřevěného trámu vyvolat vyšší teplotu. Nakonec je třeba zdůraznit, že současná studie byla omezena na ustálený zimní stav bez deště; to za účelem získání lepšího pohledu na jev konvekčního transportu vlhkosti. Závěry platí pro stěny, které nejsou vystaveny dešti.

Z posledních studií je zřejmé, že existuje velké množství různých faktorů, které ovlivňují úroveň vlhkosti a vlhkovostní vlastnosti v izolovaných stěnách a dřevěných trámech. Je mnoho dalších studií, které potvrzují, jak citlivé je hygrotermické chování vnitřně izolované historické konstrukce na změny kteréhokoli z těchto faktorů. V studii [46], která se věnuje zhlavám trámů zapuštěných do vnitřně izolovaných zděných stěn bylo zjištěno, že fasáda orientovaná na sever má za následek nižší indexy plísní než fasáda orientovaná na západ pro nízké koeficienty expozice dešti, kvůli menšímu slunečnímu záření na fasádě. U západně orientované stěny je index plísní udržován pod $M = 1$, když je v izolaci nad podlahou vynechána mezera 20 cm a když je jak nad, tak pod podlahou/stropem. Důvodem je to, že vynecháním části izolace kolem trámů se vytvoří tepelný most, což má za následek vyšší teploty kolem konců trámů a tím také nižší relativní vlhkost. Účinek dešťové vody má opět velký vliv na relativní vlhkost ve vnitřně izolované konstrukci jak na vnitřní straně vnější stěny (mezi stěnou a izolací), také na trámových zhlavách. Důležitým faktorem je, že materiály jako cihly a vnější vápenné omítky jsou kapilárně aktivní. Studie jako [47] ukázaly, že vlhkost zděné stěny v případě vnitřní izolace lze zlepšit přidáním vodoodpudivé fasádní

impregnace. Účelem impregnace je snížit kapilární aktivitu porézních fasádních materiálů a omezit pohlcování silného deště. Tyto impregnace v kapalné, gelové nebo krémové formě byly použity v posledních desetiletích k ochraně konstrukcí před vlhkostí, chloridy a biologickým růstem a mohou pomoci vyhnout se problémům s vlhkostí po aplikaci vnitřní izolace.

V instruktážním příspěvku Vědeckotechnické pracovní skupiny pro ochranu budov a památkovou péči (WTA) se uvádí, že stávající budovy by měly být vnitřně izolovány pouze tehdy, má-li fasáda ochranu proti dešti [48]. Pokud tedy budova není chráněna okolím, stavební ochranou, jako jsou převisy střech atd., bude hydrofobizace fasády povinná. To platí zejména pro oblasti s vysokým zatížením deštěm, a hlavně pro budovy s tenkými stěnami (vyšší patra). Další studie [49] realizovaná na historické koleji v Kodani diskutovala o možnosti impregnace vnější fasády a zjistila, že stěny izolované kapilárně aktivními nebo parními retardéry fungují lépe, pokud je fasáda impregnována. Podobné výsledky jsou uvedené také ve studii [50].

ZÁVĚR

Podobně jako v izolačním systému je důležité pečlivě prostudovat každý stavební případ z důvodu faktorů, které se v jednotlivých případech liší: okolní prostředí, které ovlivňuje vystavení fasády dešti, slunci a větru; tloušťka izolované stěny, fyzický stav a orientace stěn, tloušťka a typ izolace, vnější a vnitřní povrchové materiály, použitý izolační materiál, vnitřní relativní vlhkost a teplota, kvalita a způsob provedení izolační systém.

Izolační systém vyrobený z kombinace minerální vlny a parozábrany vykazoval pozitivní výsledky ve více než jedné studii ve výše uvedených. Systém nelze obecně doporučit bez individuálního studia každého případu, ale slouží jako inspirační vzor.

Doporučuje se vyzkoušet více možností instalace vnitřní izolace. Nelze doporučit jediný způsob provedení pro všechny případy.

Důležitý faktor, který ovlivňuje růst plísní a vlhkost vzduchu, nesouvisí přímo se samotnou konstrukcí, ale s ventilačním systémem. Je důležité to vzít v úvahu v každém studijním případě. Lépe větrané byty umožňují, aby konstrukce (vnitřní izolace, cihly, dřevěná konstrukce) rychleji schla směrem dovnitř a mohla by pak fungovat lépe než v dobře utěsněných prostorách bez mechanického větrání.

4.3 VYLEPŠENÍ VLASTNOSTÍ HISTORICKÝCH OKEN

Ztráta tradičních oken starších budov představuje jednu z hlavních hrozeb pro kulturní dědictví. Tradiční okna a jejich zasklení významně přispívají k významu historických oblastí. Jsou nedílnou součástí designu starších budov a mohou být samy o sobě důležitými artefakty. Rostoucí zaměření na energetickou úspornost je důvodem, proč jsou tradiční okna často odstraněna nebo necitlivě upravena, protože je to relativně snadné, a protože jsou často tím místem, kudy utíká teplo. Obecně se předpokládá, že okna způsobují 10–20% ztrát tepla z budov, i když se to bude u jednotlivých budov značně lišit, v závislosti na velikosti a počtu otvorů ve vztahu k oblasti vnější stěny. [29]

V mnoha člancích byla studována řada přístupů zaměřených na zlepšení tepelných vlastností historických oken bez vlivu na kulturní hodnotu nebo fasády budov. Historická Anglie a Historické Prostředí Skotska v [29] zadala výzkum tepelného výkonu tradičních, dřevěných i kovových oken. Hlavní série testů zkoumala chování dvou vertikálně posuvných dřevěných okenních křídel přibližně stejné velikosti. Jedno z nich je v dobrém stavu a druhé bylo záměrně vybráno ve špatném stavu, aby bylo možné posoudit zlepšení úniku vzduchu v důsledku jednoduchých oprav a renovace. Hlavní část zkoušek se zaměřila na snížení ztráty vodivého tepla způsobená řadou běžných vylepšení včetně instalace rolet, lemovaných záclon, okenic, sekundárního zasklení a použití skla s nízkoemisní povrchovou úpravou.

Výsledky [29] vyhodnotily každou úpravu nezávisle, pro utvoření jasné představy o tom, jak každá z nich může zlepšit tepelné vlastnosti těchto oken:

Účinek údržby: Jednoduchá údržba pro odstranění trhlin a odstranění mezer může významně snížit množství infiltrace vzduchu nebo průvanu. Na testovaném okně byla snížena infiltrace vzduchu o více než 33%.

Těsnění: podle výsledků použití těsnění snižuje výměnu vzduchu oknem až o 86%.

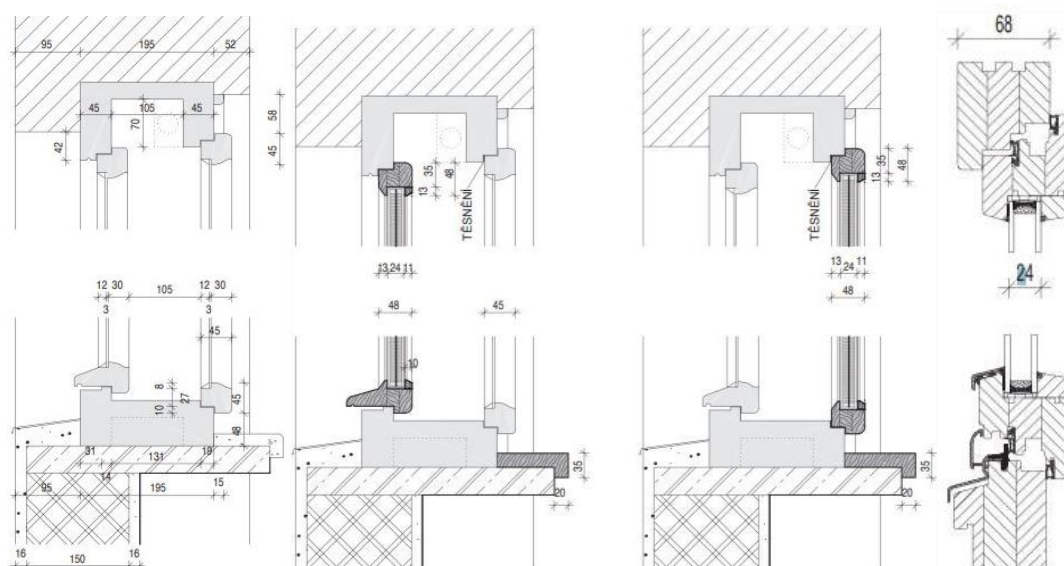
Snížení tepelných ztrát: Samotné tepelné rolety mohou snížit tepelné ztráty o 57%. Sekundární zasklení bylo obzvláště účinné, pokud bylo vyrobeno ze skla s nízkoemisním povlakem, které snižovalo tepelné ztráty přibližně o 60%; okenice fungovaly téměř stejně dobře. Nejlepších výsledků dosáhlo více systémů – okenice nebo sekundární zasklení kombinované například se závěsy nebo roletami. Jednalo se skutečně o tradiční přístup, který navíc umožňuje flexibilitu, protože systém lze snadno upravit pro různá roční období. Tepelné ztráty kontaktem se sklem a rámy lze významně snížit přijetím jednoduchých opatření, jako je používání tlustých záclon a rolet. Při zkoušce byla tepelná ztráta snížena o 41%, respektive o 38%.

Na závěr, práce [29] doporučuje propracovanější opatření, aby se ještě více snížily tepelné ztráty a mohla okna vylepšit tak, aby vyhovovala moderním stavebním předpisům. V testu s kvalitním sekundárním zasklením byla hodnota součinitele prostupu tepla $U_{okna} = 1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Dobře vybavené, uzavřené okenice dosahují podobně dobrých výsledků. Nejlepším výsledkem je, když se tyto dvě metody použijí společně, čímž se získá 62% snížení tepelné ztráty a hodnota součinitele prostupu

$U=1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. [29] Přestože okenice a rolety mají dobré tepelné vlastnosti, negativním bodem je, že je nelze celý den zavřít. Otevření na několik hodin během dne například ovlivní prostup tepla a pohodlí v prostoru. Na druhé straně tato úprava není tak drahá a nemá velký vliv na kulturní hodnotu nebo vzhled fasády, což naznačuje, že k provedení těchto změn není nutné povolení úřadů, a to platí stejně pro údržby a těsnění.

Národní Památkový Ústav V České republice vydal publikaci [31] o obnově historických oken. V publikaci je ukázáno, že výměna dvojitých dřevěných oken za okna jednoduchá s dvojskly není pro existující stavby technickým přínosem. Dvojitá dřevěná okna je nejfrekventovanějším typem okenní výplně v historických budovách z 19. století. Na konkrétním objektu což je ze 30. let 20. století, daná konstrukce oken se s minimálními obměnami opakuje u objektů starších (od 19. století) i mladších, byly výpočtově porovnány celkem 4 varianty možného přístupu k těmto výplním:

- A – prostá repase dvojitého okna s ponecháním původního zasklení;
- B – náhrada vnějších křídel novými křídly s dvojskly;
- C – náhrada vnitřních křídel novými křídly s dvojskly;
- D – náhrada celého okna jednoduchým oknem s dvojskly.



Obr. 41 - Srovnání variant A, B, C, D ve svislém řezu [31]

V následujících tabulkách a výpočtech je pro každou variantu (B, C, D) zjišťován výsledný součinitel prostupu tepla (U).

Dílčí okno	Část okna	Výpočet U		Výpočet ψ	
		Souč. Prostupu tepla rámu U	Propustnost L	Lineární činitel prostupu tepla ψ	
		[W/(m ² .K)]	[W/(m.K)]	[W/(m.K)]	
Vnitřní	Boční část	2,46	1,391	-0,010	
	Horní část	2,46	1,391	-0,010	
	Spodní část	2,51	1,314	-0,013	
	Styk křídel	2,39	2,400	-0,026	
	Styk oken	2,55	2,463	-0,024	
Vnitřní Vnější	Boční část	2,45	0,533	-0,011	
	Horní část	2,46	0,590	-0,030	
	Spodní část	2,74	0,573	-0,028	
	Styk křídel	2,39	0,747	-0,100	
	Styk oken	2,51	0,770	-0,028	
Lineární činitel prostupu tepla ve styku vnitřního a vnějšího okna (okraj)				-0.016	

Tabulka 4 - Součinitel prostupu tepla varianty B (náhrada vnějších křídel novými křídly s dvojskly).*

Součinitel prostupu tepla dílčího vnitřního okna činí: 4.93 W/(m².K)

Součinitel prostupu tepla dílčího vnějšího okna činí: 1,61 W/(m².K)

Výsledný součinitel prostupu tepla dvojitého okna je tedy: 1,2 W/(m².K)

Součinitel prostupu tepla stávajícího okna s upraveným vnějším křídlem s dvojsklem (souč. prostupu tepla 1,1 W/(m².K), plastové rámečky) splňuje požadavek ČSN 730540-2 na součinitel prostupu tepla výplně otvoru=1,7 W/(m².K).

V tabulce 5 jsou dílčí parametry upraveného stávajícího okna s dvojsklem na vnitřní straně (varianta C)

Část okna	Výpočet U		Výpočet ψ	
	Propustnost L	Souč. Prostupu tepla rámu U	Propustnost L	Lineární činitel prostupu tepla ψ
	[W/(m.K)]	[W/(m ² .K)]	[W/(m.K)]	[W/(m.K)]
Boční část	1,046	2,46	0,552	0,029
Horní část	1,046	2,46	0,593	0,028
Spodní část	0,971	2,51	0,483	0,031
Styk křídel	1,715	2,39	0,747	0,100
Styk oken	1,776	2,55	0,770	0,028

Tabulka 5 - Součinitel prostupu tepla varianty C (náhrada vnitřních křídel novými křídly s dvojskly) *

*Autorem výpočtů je doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda a byl proveden podle ČSN EN ISO 10077 – 1 A 10077–2 s pomocí programu AREA 2005.

Tepelné odpory při přestupu tepla okna byly uvažovány podle ČSN 730540–2, ČSN EN ISO 10211–1, ČSN EN ISO 10077 – 2 a ČSN 730540. [31]

Součinitel prostupu tepla dílčího vnitřního okna činí: $1,55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Mezi vnitřním a vnějším oknem musí být větraná vzduchová vrstva. Výsledný součinitel prostupu tepla dvojitého okna s dvojsklem uvnitř a větranou dutinou je $1,36 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

V tabulce 6 jsou dílčí parametry nového jednoduchého okna (varianta D náhrada celého okna jednoduchým oknem s dvojskly)

Část okna	Výpočet U		Výpočet ψ	
	Propustnost L	Souč. Prostupu tepla rámu U	Propustnost t L	Lineární činitel prostupu tepla ψ
	$[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	$[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$	$[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$	$[\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})]$
Boční část	0,402	1,45	0,421	0,030
Horní část	0,402	1,45	0,421	0,030
Spodní část	0,477	1,70	0,497	0,036
Styk křídel	0,641	1,55	0,714	0,099

Tabulka 6 - Součinitel prostupu tepla varianty D *

Součinitel prostupu tepla nového jednoduchého okna s dvojsklem je $1,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Průvzdušnost spárami nebyla ve výpočtu zohledněna, neboť všechny varianty lze provést s těsněním i bez něj. Určitý vliv by nicméně měla u varianty C, kde je odvětrání prostoru mezi okny technicky nutné.

Publikace od Národního Památkového Ústavu v České republice [51] navrhuje užití okenních fólií při řešení optimálního komfortu interiéru budov. „Uplatňují se: protisluneční fólie, tepelně izolační fólie, bezpečnostní fólie, ochranné fólie, speciální fólie (utlumující elektromagnetické záření atp.). Díky svým vlastnostem jsou vyhledávanou volbou – „v létě chladí, v zimě topí“. Užitím okenní fólie lze snížit součinitel prostupu tepla U_w až o 25%, prakticky nemění přirozené osvětlení interiéru, zadrží 99% UV záření a snižují nebezpečí úrazu při rozbití prosklené plochy. Za určitých podmínek mohou tepelně izolační fólie částečně zabránit rosení jednoduše zaskleného venkovního křídla okna.“

Práce [52] hodnotí účinnost relativně jednoduchých opatření ke zlepšení tepelných vlastností tradičních oken pomocí těsnění, žaluzií, závěsů a sekundárního zasklení. Jedno ze zkoumaných oken je okno s jedním rámem z roku 1880, které bylo před renovací v relativně špatném fyzickém stavu. Výsledky ukazují, že po utěsnění a doplnění druhého zasklení bylo dosaženo 63% snížení tepelných ztrát. Jednoduchá opatření jako utěsnění a použití rolety vedla ke snížení tepelných ztrát až o 32%.

Práce [53] zkoumá použití vakuového zasklení v oknech dvojitého typu velmi podobného studovanému provedení z 19. století. Tato studie poukazuje na potenciál vakuového zasklení při zajišťování tepelného zlepšení stávajících historických oken. Lze dosáhnout zlepšení celkových vlastností z hlediska snížení hodnoty U bez ohledu na to, zda je vakuové zasklení použito na vnitřní nebo vnější vrstvu okna.

ZÁVĚR

Z předchozích studijních materiálů vycházejí tři typy možných úprav historických oken:

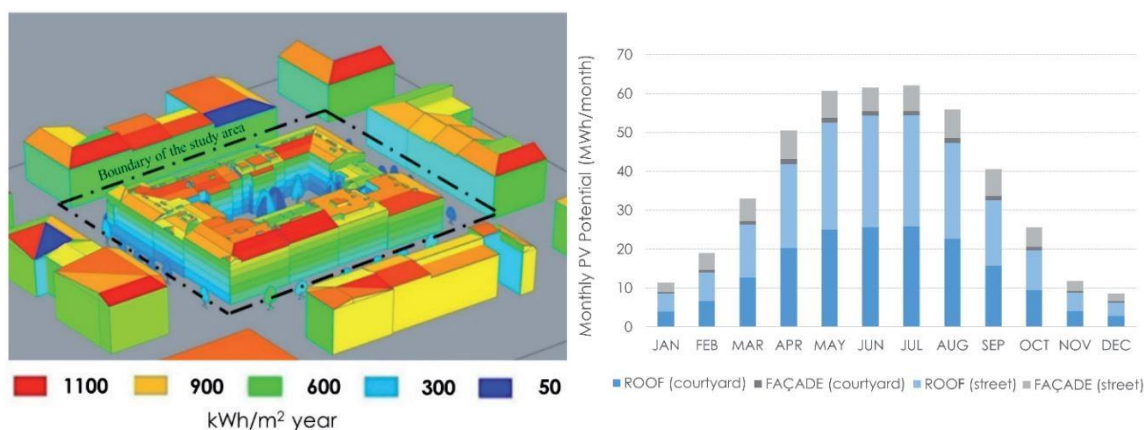
Dobrá údržba a péče o okna minimalizují otvory a netěsnosti a poskytují okamžité snížení ztrát tepla. Ačkoli tyto úpravy nejsou drahé ani problematické z hlediska dědictví, přesto je nelze považovat za dostatečně účinné z hlediska energetické účinnosti.

Z provedených výpočtů v [31] vyplývá jednoznačný závěr, že nejpříznivější tepelně izolační parametry vykazuje varianta B, tedy stávající dvojité okno po výměně vnějších křídel za nová s dvojsklem. Takto upravené okno dosahuje součinitele prostupu tepla $U=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, což je hodnota na úrovni požadované normou dokonce pro nízkoenergetické domy ale je to velmi komplikované z hlediska ochrany hodnoty kulturního dědictví budovy. Zatímco součinitel prostupu tepla varianty C (náhrada vnitřních křídel novými křídly s dvojskly) je $U=1,36 \text{ W/m}^2\text{K}$. Varianta D funguje dobře z fyzického hlediska, ale je velmi škodlivá pro hodnotu fasády. Důležité je taky poznamenat, že v případě náhrady vnitřních křídel novými křídly s dvojskly (varianta C) se ale objeví problém, a to kondenzace vodní páry na vnitřních povrchích venkovních skel. Nebezpečí u tohoto řešení se projeví v běžné praxi při otevírání vnitřních křídel. Vlhký vnitřní vzduch se dostane do vzduchové mezery, kde se ochladí a vodní pára zkondenzuje na chladném vnitřním povrchu venkovního skla.

4.4 UDRŽITELNÉ ZDROJE ENERGIE V HISTORICKÝCH STAVBÁCH

Úpravy na plášti budovy nejsou jediným způsobem, jak minimalizovat emise CO₂ budov. Dalším účinným způsobem, jak toho dosáhnout, je využití udržitelných zdrojů energie. Mezi další možnosti patří např. fotovoltaika integrovaná do budov - definovaná jako fotovoltaické články integrované do pláště budovy jako součást její konstrukce -, která má velký potenciál pro využití v městském prostředí. Může nahradit konvenční stavební materiály a může být použita jako vnější separační prvek, jako jsou stínící zařízení a další aplikace. [54] Dalším pozitivem je, že energie je používána na stejném místě, kde je generována. Pokud se vygeneruje více elektřiny než pro okamžitou spotřebu (např. osvětlení, spotřebiče, topení atd.), je již v dnešní době běžné také zajistit dodávku elektřiny do elektrické sítě. Střešní fotovoltaické krytiny jsou zatím považovány za nejběžnější aplikaci, protože poskytují nejlepší roční zisk energie. [55]

V příspěvku [55], "The PV Potential in the City of Prague: Methodology and Assessment for Residential Buildings", se autoři zabývají potenciálem využití stavebně integrované fotovoltaiky v Praze. Pro dva reprezentativní obytné bloky jsou pomocí software CitySim stanoveny hodinové profily ozáření všech povrchů v průběhu roku. Z toho jsou pak určeny vhodné plochy pro fotovoltaické instalace. Potenciál fotovoltaické produkce je porovnáván s místní spotřebou elektrické energie pro obyvatele. Jednou z lokalit, kde je studie provedena, jsou Vinohrady, oblast s vysokou hustotou historických obytných budov z 19. století. Pro každý stavební blok byly připraveny vhodné 3D modely založené na geometrii budov, včetně rozměrů a tvaru střešních nástaveb (vikýř, komín atd.). V modelu pro hodnocení stínování byly zohledněny výšky okolních budov, stromů a prvků v každém směru. Poté byl 3D model importován do aplikace CitySim Pro [56] pro další analýzu. V studii byla použita prahová hodnota ozáření. Jak se dá očekávat, byly nejlepší zisky ze solárního zdroje pozorovány u šikmých střech (sklon 35°) orientovaných na jih, přesahujících 1200 kWh/m² ročně (obr.42). Solární potenciál se liší podle sklonu a orientace střechy. Bylo zjištěno, že na fasády dopadá výrazně nižší úroveň ozáření, což se vysvětluje vzájemnými stínícími účinky (vysoká hustota), zejména u spodní části budov. [55]



Obr. 42 - Roční mapa slunečního záření a relativní FV potenciál stavebního bloku na základě vybraných prahů ozáření v oblasti Vinohrad [55]

Hodinový špičkový zátěžový profil spotřeby elektřiny pro pražskou domácnost byl vypočten. V případě Vinohrad se špičkové zatížení zjištěné pro celý blok se pohybuje v rozmezí 27-120 kW kromě pro jednu budovu kde je 17,2 kW. Nadbytečná energie byla pozorována pouze v malých obdobích v létě, ale 92 % elektřiny z fotovoltaiky se stále spotřebuje přímo v budovách. Téměř veškerá vyrobená fotovoltaická energie může být využita lokálně v rámci bloku budov a v průměru kompenzuje 32 % hodinové spotřeby elektřiny. [55] Srovnání roční místní poptávky po elektřině pro obyvatele a výroby elektřiny z fotovoltaických panelů na Vinohradech je uvedeno v následující tabulce 7:

Č. budovy	Spotřeba elektřiny (MWh/rok)	Výroba PV (MWh/rok)
1	40.8	13
2	62.7	20
3	56.1	10.4
4	63.6	17.4
5	39.2	14.3
6	68.4	19.9
7	35.9	15.2
8	31.3	15
9	63.6	17.9
10	16.9	6.7

Tabulka 7 - Srovnání roční místní potřeby elektrické energie pro obyvatele a výroby PV [55]

Ekonomické hodnocení ukázalo, že doba návratnosti investice je 17,5 let. Bylo také zjištěno, že lze využít pouze malou část stavební plochy, což představuje 5,5 % na Vinohradech. Je zřejmé, že i v oblastech s citlivým zastavěným prostředím je stále možné přijímat sluneční energii k vyrovnání místních spotřeby elektřiny, ale je to z hlediska ochrany dědictví velmi komplikované, hlavním důvodem je, že PV panely mění vzhled tradičních střech. [55]

Kromě solárních panelů existuje mnoho dalších možností, jak dosáhnout úspor ve spotřebě energie v historických budovách. Například udržitelné větrací systémy, jako je větrání s rekuperací tepla (zpětné získávání tepla), které snižuje nároky na vytápění a chlazení budov využití odpadního tepla pro předehřev chladného, čerstvého vzduchu, je jen několik příkladů dalších možností. Mezi další opatření patří třeba tepelné čerpadlo nebo využití tepla ze sprchové vody atd. Instalace více než jedné z těchto moderních technologií by zjevně vedla k úsporám ve využívání energie v budově a tím k větší udržitelnosti. Otázky před instalací těchto systémů se netýkají energetické účinnosti ani kulturní hodnoty budovy, ale jsou výhradně spojeny s dostupným prostorem na instalaci zařízení a efektivitou nákladů.

5 VĚDECKÁ PRÁCE: ANALÝZA VYBRANÝCH DETAILŮ

V této kapitole je vybrána konkrétní budova z 19. století v Praze, která nachází v chráněné zóně. Historický objekt je zdokumentován a dále je vyhodnocena tepelná náročnost pláště budovy. Další část navrhuje opatření ke zlepšení tepelných vlastností obvodového pláště budovy pomocí simulací a je porovnává ze všech tří úhlů pohledu, které mají vliv na renovaci:

- A) pohled úřadů, jejichž prioritou je chránit kulturní dědictví a hodnotu objektu;
- B) pohled vlastníka, který má prioritu udržovat budovu nákladově nejefektivnějším možným způsobem;
- C) pohled inženýra, který má prioritu snížit energetickou náročnost budovy a tím přispět ke snížení emisí CO₂.

Navrhovaná opatření jsou:

Tepelně izolační omítky; vnitřní izolace; opravy oken a fotovoltaické panely na střeše. Tyto renovace jsou v další kapitole (výsledky a diskuze) porovnány s renovací jako vnější zateplení dvorní fasády, zateplení střechy nebo zateplení podlahy přízemí.

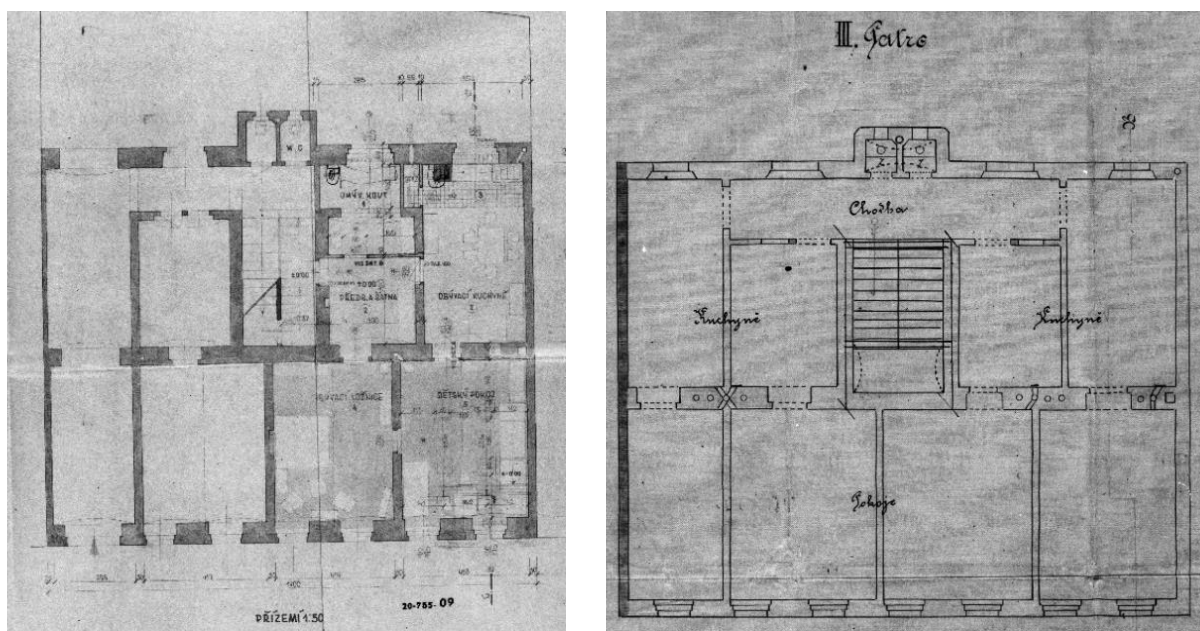
5.1 POPIS VYBRANÉ BUDOVY SCHODIŠŤOVÉHO TYPU V PRAZE

Vybraná zkoumaná budova je obytný dům schodišťového typu v Praze (Obr. 43 a 44). Postaven byl v roce 1888 v lokalitě, která je dnes součástí chráněné historické zóny, Voroněžská 755/17, v oblasti s vysokou hustotou historických staveb. Hlavní neoklasicistní chráněná fasáda je orientována na jih. Dvorní fasáda je orientována na sever do dvora. Objekt v roce 2001 prošel rekonstrukcí, ale v této práci se budeme zabývat budovou v původním historickém stavu.



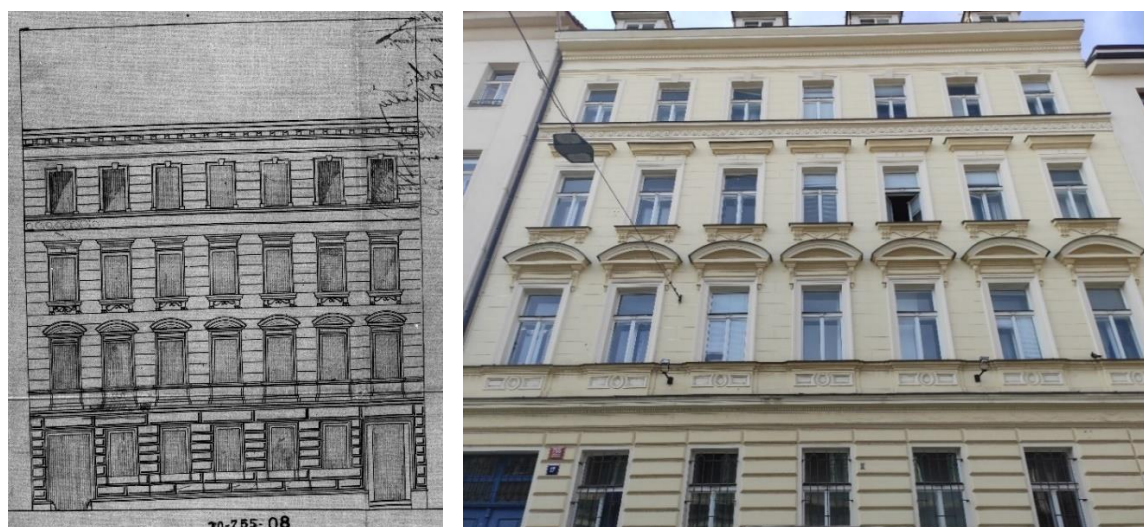
Obr. 43 a 44 - Vybraná budova pro studijní účely, lokalita a uliční fasáda [Google maps-Autor]

Výkresy objektu z roku 1942 byly získány od současného majitele. Na fotce 45 je patrný půdorys přízemí. A na fotce 46 půdorys bytových podlaží. hlavní vchod je v jihozápadním rohu. Objekt se skládá ze dvou traktů, jižního a severního. Většina obytných prostor je orientována na jih, zatímco společné záchody a chodby a kuchyně se nacházejí v severní části půdorysu s okny do dvora. Ve každém z prvních, druhých a třetích podlaží jsou čtyři byty. Každý byt se skládá ze dvou prostor, kuchyně a obývacího pokoje. V přízemí jsou dva byty, z nichž jeden je mnohem větší než ostatní a má vlastní hygienické zázemí. Budova je částečně podsklepená.



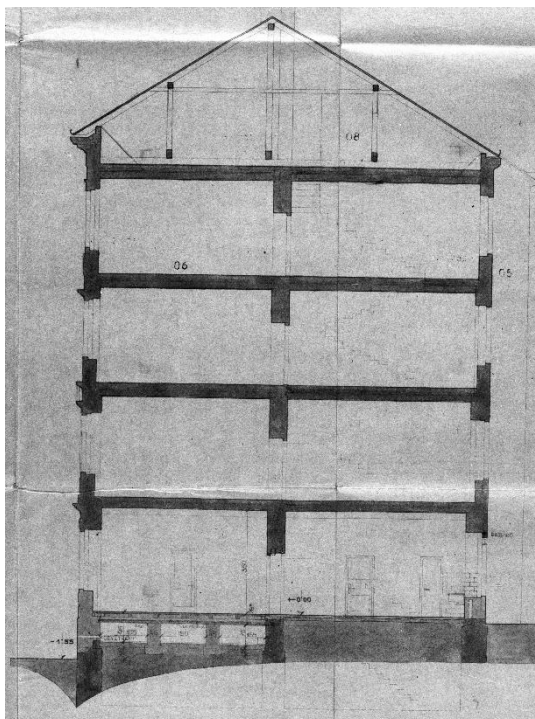
Obr. 45 a 46 - Vybraná zkoumaná budova, půdorysy [Majitel]

Historická jižní fasáda je patrná na obrázku 47 na výkresu z roku 1942 a na obrázku 48 současného stavu. Ornamenty a výzdoba na fasádě jsou poměrně jednoduché bez jedinečných uměleckých děl, fresek či soch ve srovnání s jinými stavbami stejného stylu v Praze. Všechna okna v budově jsou dřevěná dvojitá podobná těm, která jsou popsána v části 3.2.



Obr. 47 a 48 - Vybraná zkoumaná budova, hlavní fasáda

V řezu (Obr.49) jsou vidět hlavní tři nosné stěny budovy, které tvoří dva trakty, vlevo je jižní a vpravo je severní trakt. Struktura objektu je charakteristická pro stavby tohoto typu z 19. století ve střední Evropě, tedy nosné cihlové zdi, v nich jsou v kapsách uloženy dřevěné trámy, které nesou stropy, podrobně popsáno v části 3.2. Vnější stěny jsou postaveny z plné cihly (křížová vazba), tl. 75 cm v přízemí, s poklesem tloušťky 7.5 cm na každé patro.



Obr. 49 - Vybraná zkoumaná budova, řez [Majitel]

Hodnota součinitele prostupu tepla U vypočítaná pomocí softwaru „Energie 2020“ pro montáž (plná cihla + vnitřní + vnější vápenná omítka):

Přízemí: $U = 0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$. První patro: $U = 0,99 \text{ W/m}^2\text{K}$. Druhé patro: $U = 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Třetí patro: $U = 1,24 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Plocha severní fasády (bez oken) $314,5 \text{ m}^2$. Plocha jižní fasády (bez oken) $216,8 \text{ m}^2$.

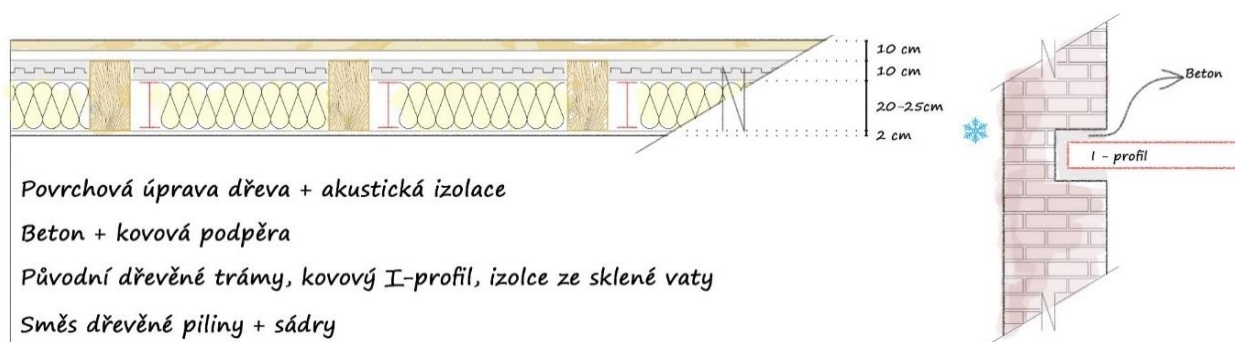
Plocha střechy 275 m^2 , $U = 6,06 \text{ W/m}^2\text{K}$. sklon střechy je 35° s orientací ploch severojižní.

Plocha podlahy přízemí (bez stěn) $177,6 \text{ m}^2$. Jsou dvě skladby podlahy přízemí, jedna je nad suterénem $U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ a druhá je přímo na zemi bez izolace $U = 2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Počet severních oken $15 + 8$ malých do záchodů. Počet jižních oken 27 do obytných prostorů. $U = 2,35 \text{ W/m}^2\text{K}$.

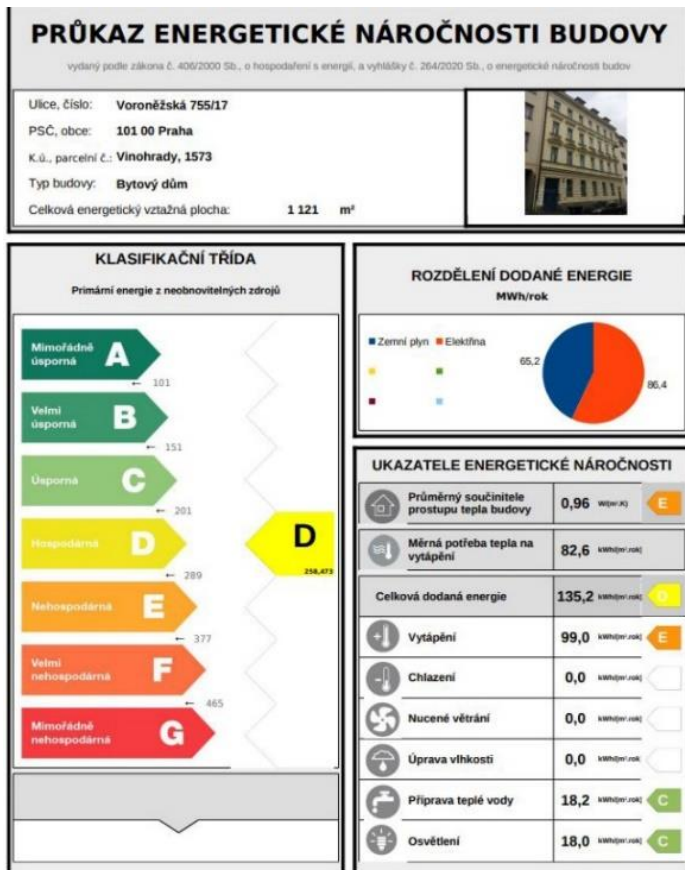
Celková energeticky vztažná plocha budovy (bez podkroví): $983,4 \text{ m}^2$. Průměrný součinitel prostupu tepla budovy je $U_{em} = 1,07 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ a spotřeba tepla na vytápění je $152 \text{ kWh/(m}^2\text{.a)}$.

K provedení výše uvedených výpočtů jsou mimo jiné zapotřebí informace o skladbě jednotlivých konstrukčních prvků, materiálech a tloušťkách. Tyto informace jsou shromážděny z původních výkresů uvedených výše, osobních návštěv, rozhovorů se současným majitelem a z popisu charakteristik tohoto typu historických konstrukcí v části 3.2. Pro exteriér jsou použity meteorologické údaje Prahy s navrhovanou zimní teplotou -13° , zatímco pro interiér byly stanoveny podmínky obytných budov s vnitřní teplotou 21° . Budova prošla velkou rekonstrukcí v roce 2001, kdy ji koupil současný majitel. Mezi hlavní změny patří to, že každý byt je vybaven vlastní koupelnou. Společné záchody jsou nahrazeny výtahem. Podkroví se po přidání dvou vrstev izolace na střechu změnilo na byty. Izolace byla přidána i na podlahu v přízemí a mnoho oken na severní dvorní fasádě bylo nahrazeno moderními. Při rekonstrukci nebyla přidána žádná izolace na fasádách. Dřevěné trámy v některých stropích byly podepřeny kovovými I-profilů. Tyto profily byly zapuštěny do kapes ve zdi a kapsy byly vyplněny betonem (Obrázek 50).



Obr. 50 - Detail stropů po rekonstrukci v 2001. [Autor]

V roce 2020 byl vydán výpočet energetické náročnosti obvodového pláště budovy (Obr.51). Jak je vidět na obrázku 51, budova v současném stavu po rekonstrukci má klasifikační třídu D. Měrná spotřeba tepla na vytápění je $82,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Vypočtený průměrný součinitel prostupu tepla budovy je $0,96 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Celková energeticky vztažná plocha budovy včetně podkroví: $1263,4 \text{ m}^2$. Jak již bylo zmíněno, tato disertaci se zabývá objektem v původním stavu před rekonstrukcí.



Obr. 51 - Průkaz energetické náročnosti budov [majitel]

5.2 VLIV TEPELNĚ IZOLAČNÍ OMÍTKY NA SPOTŘEBU ENERGIE BUDOVY NA VYTÁPĚNÍ

Prvním krokem je výpočet spotřeby energie na vytápění vybraného objektu pomocí softwaru Energie 2020 po přidání dodatečné vnější vrstvy tepelně izolační omítky na historickou fasádu, a potom po přidání vnější tepelné izolace na dvorní fasádu a pak pro kombinaci obou uvedených možností zateplení. Pro exteriér jsou použity meteorologické údaje Prahy s navrhovanou zimní teplotou -13° , zatímco pro interiér byly stanoveny podmínky obytných budov s vnitřní teplotou 21° .

5.2.1 MATERIÁLY

Starší malty se skládají ze vzdušného nebo hydraulického vápna smíchaného s pískem nebo drceným kamenivem z kamene nebo cihel [57]. Z hlediska památkové péče se upřednostňuje použití tradičního složení omítky, a to nejen z důvodu obav o slučitelnost s historickou strukturou, ale také proto, jak se v Amsterodamské deklaraci z roku 1975 uvádí, že "by měly být podniknuty kroky k zajištění toho, aby tradiční stavební materiály zůstaly dostupné a aby se nadále používala tradiční řemesla a techniky" [58]. Z těchto důvodů byly první 2 tepelně izolační omítky vybrané k testování na bázi vápna.

Prvním materiálem na bázi vápna je vápenný pucolán. Mechanické, tepelné a hygienické vlastnosti tohoto materiálu jsou změřeny v [59] a jsou uvedeny v tabulce 8. Složení vápenopozolanové omítky (omítka 1) je následující: hydratované vápno (CL 90 Českomoravské vápno Mokrá), pucolánová příměs (metakaolin Metastat 501) a voda. V rámci studie byla zjištěna přibližně dvakrát nižší tepelná vodivost suché vápenopozolanové omítky ve srovnání s tradiční vápennou omítkovou směsí, zatímco součinitel difuzního odporu vodních par byl přibližně o 20 % vyšší.

Druhým materiálem na bázi vápna je vápenný perlit. Mechanické, tepelné a hygienické vlastnosti tohoto materiálu byly měřeny v [60]. Složení omítky (omítka 2) je následující: hydratované vápno CL 90-S (Čertovy Schody, a. s., Česká republika, člen skupiny Lhoist) a voda. Jako kamenivo byl použit praný křemenný písek (jemná frakce 0/2 mm od společnosti Filtrační písky, s. r. o., Česká republika) a nehydrofobizovaný expandovaný perlit (EP 150 PB, frakce 0/2 mm od společnosti PERLIT PRAHA, s. r. o., Česká republika). Jak vyplývá ze studie [60], použití perlitu ve skladbě vedlo k výraznému poklesu tepelné vodivosti omítky oproti tradiční. Výrazně se zvýšila i hodnota součinitele nasákavosti.

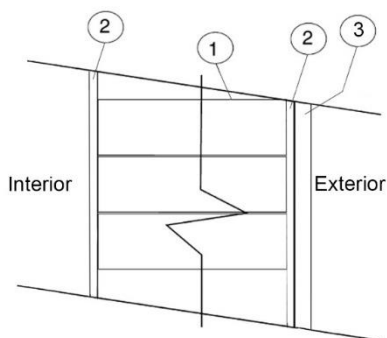
Aerogel je vysoce účinný izolační materiál, který vstoupil do stavebnictví před dvěma desetiletími. Tepelná vodivost inovativních a experimentálních tepelně izolačních omítek se pohybuje mezi 0,06 a 1,33 W/mK. Aerogelové malty tvoří výjimku s tepelnou vodivostí až 0,028 W/mK [61]. Vzhledem k dobrým tepelným vlastnostem, kterých dosahují i v tenké vrstvě, je aerogel třetím omítkovým materiálem, který byl v této studii testován. Použitým materiálem je FIXIT 222 (omítka 3). Hygrotermické vlastnosti materiálu F222 byly testovány in-situ v [62].

Aerogel se však vyznačuje velmi nízkou propustností pro vodní páru. To by mohlo způsobit nekompatibilitu aerogelové omítky s porézními historickými materiály. Vzhledem k difuzním vlastnostem aerogelové omítky dochází k omezení průtoku vodní páry celou konstrukcí, které se může stát příčinou oddělování (rozvrstvování) a následné degradace povrchových a dalších vrstev blízkých povrchu. Omítky získané smícháním přírodního vápna a aerogelu, které by mohly být použity při zlepšování tepelně technických vlastností historických budov, vycházejí z tradičních materiálů a technik, které jsou plně kompatibilní s historickými konstrukcemi, přestože jsou inovativně použity ve formě „výrobku“ s dobrými tepelně izolačními vlastnostmi. V [63] jsou studovány mechanické, tepelné a hygienické vlastnosti kompozitu vápenného tmelu a aerogelu v poměru 1:1 (omítka 4). Naměřená hodnota propustnosti vodní páry v této studii je $2,45 \cdot 10^{-9} \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ pa}^{-1}$. Základní vlastnosti omítek použitých při analýze jsou uvedeny v tabulce 8.

Materiál	tepelná vodivost v suchém stavu (W/mK)	Koeficient nasákavosti ($\text{kg m}^{-2} \text{ s}^{-1/2}$)	objemová hmotnost (kg m^{-3})
O1	0.40	0.108	1320
O2	0.12	0.55	600
O3	0.028	≤ 0.40	185-220
O4	0.07	-	682

Tabulka 8 - Základní vlastnosti omítek použitých v analýze

V analýze byl každý z těchto materiálů nanesen v tloušťce 4 cm na vnější stranu jižní historické fasády (obr. 52). Výpočet celkové spotřeby energie budovy byl proveden pro každý materiál pomocí softwaru Energie 2020.



Obr 52: - 1- cihlová zed'; 2- stará omítka 2 cm; 3- nová omítka 4 cm

V analýze byl na dvorní fasádě simulován zateplovací systém s tepelnou deskovou izolací tl. 6 cm z minerální vlny dachrock a potom s tepelně izolačními omítkami O1 až O4. Spotřeba tepla na vytápění byla vypočtena pro následující varianty zateplení: postupné přidání jednotlivých tepelně izolačních omítek pouze na jižní fasádu, zateplení pouze severní fasády tepelnou deskovou izolací, aplikace zateplení na obě fasády (na jižní fasádu tepelně izolační omítky, na severní fasádu desková tepelná izolace a potom tepelně izolační omítky). Všechny varianty zateplení byly analyzovány pomocí softwaru Energie 2020.

5.2.2 VÝSLEDKY NUMERICKÉ SIMULACE

Průměrný součinitel prostupu tepla původní budovy před úpravou obálky je $U_{em}=1,07 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ a spotřeba tepla na vytápění je $152 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$. Tabulka 9 uvádí součinitel prostupu tepla a spotřebu tepla po přidání omítek 1,2,3 a 4 pouze na jižní fasádu, po přidání omítek na jižní i severní fasádu, po přidání omítky na jižní fasádu a vnějšího deskového zateplení na severní a po přidání tepelně izolační omítky pouze na severní fasádu.

Omítka	Fasáda		Desková Izolace (severní fasáda)	Průměrný součinitel prostupu tepla budovy ($\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$)	Energie potřebná na vytápění objektu ($\text{kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$)
	Jižní	Severní			
O1	✓	-	-	1,06	150
O2	✓	-	-	1,03	147
O3	✓	-	-	0,99	141
O4	✓	-	-	1,03	145
O1	-	✓	-	1,07	150
O2	-	✓	-	1,04	147
O3	-	✓	-	0,99	139
O4	-	✓	-	1,02	144
O1	✓	✓	-	1,06	148
O2	✓	✓	-	1	142
O3	✓	✓	-	0,9	127
O4	✓	✓	-	0,97	137
O1	✓	-	✓	0,96	135
O2	✓	-	✓	0,93	132
O3	✓	-	✓	0,94	125
O4	✓	-	✓	0,91	129
-	-	-	✓	0,97	137

Tabulka 9 - Vliv použitých materiálů na potřebu tepla

Podle očekávání odpovídá energetická náročnost tepelným vlastnostem aplikovaných tepelně izolačních materiálů. Z hlediska spotřeby energie je nejlepším řešením aerogelová omítka na historické jižní fasádě + desková izolace z minerální

vlny na severní fasádě. Toto řešení však není nejlepší, pokud se o něm hovoří z hlediska památkové péče. V případě obnovy omítek na historických budovách úředníci jednotlivých národních ústavů památkové péče často požadují vápenné omítky na bázi páleného vápna. Důležité je, že hydrofobní systém O3 způsobuje, že se roztok vlhkosti a solí pohybuje ve stěně směrem vzhůru a zhoršuje degradační procesy spojené s výskytem solí ve zdivu. Vlastnosti omítek jsou modifikovány tak, aby minimalizovaly vzlínání vlhkosti ve zdivu [64]. Dalšími nevýhodami aplikace zcela vodoodpudivé vrstvy omítky je možné riziko oprýskání této omítky v důsledku krystalizace solí těsně pod ní [65] a vysoká cena aerogelu, omezující jeho použití především v případě soukromých vlastníků historických budov.

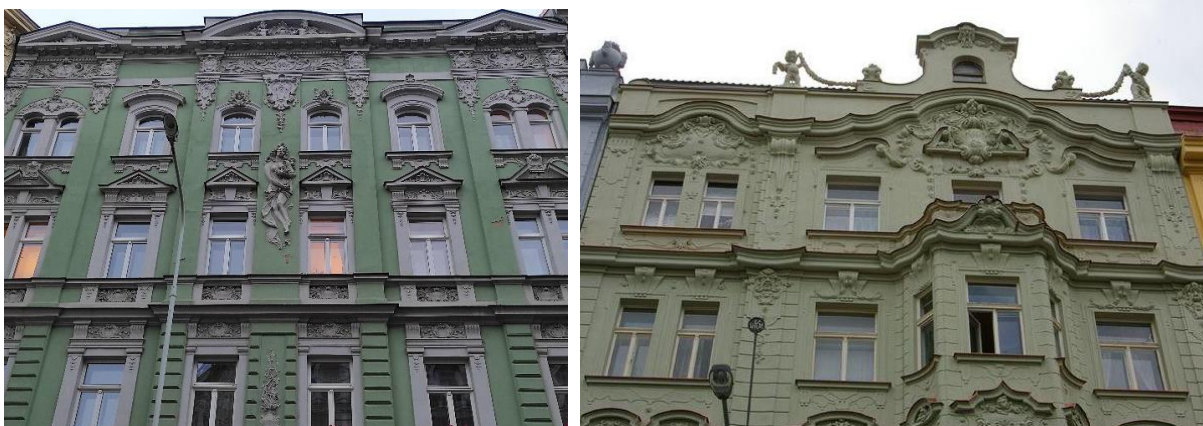
Na severní dvorní fasádě, kde stavební úpravy nemají takový vliv na kulturní hodnotu, můžeme na základě předchozích simulací navrhnout použití deskové izolace. Vnější izolační vrstva chrání historickou konstrukci před změnami teplot, prodlužuje její životnost, omezuje tepelné mosty a její instalace je snadno proveditelná. Izolaci lze aplikovat ve větších tloušťkách, a proto má zateplená konstrukce lepší tepelně izolační vlastnosti. Ve studii vykazuje řešení s přidáním izolace na severní fasádu a tepelně izolační omítky na jižní fasádu lepší výsledky než přidání tepelně izolační omítky na obě fasády.

Řešení nabízející rovnováhu mezi tepelnými vlastnostmi, hledisky kulturní hodnoty, je O4 + zateplení deskovou izolací severní fasády. Vápno zvyšuje propustnost a kompatibilitu s historickou konstrukcí. Je na místě poznamenat, že trvanlivost aerogelových výrobků je stále předmětem zkoumání. Studie [66] porovnává trvanlivost omítek na bázi aerogelu vystavených různým stresorům stárnutí. Každá stresová podmínka byla testována samostatně a poté kombinována, aby bylo možné lépe pochopit vliv jednotlivých faktorů rozpadu (vysoká teplota, vysoká vlhkost, cyklus zmrazování a rozmrazování, vystavení UV záření v kombinaci s vysokou teplotou a vysokou vlhkostí). Ačkoli kombinace různých prvků způsobila zvýšení tepelné vodivosti, jako hlavní faktor ovlivňující tento parametr se ukázala vysoká vlhkost. Autoři testovali vzorky omítek z přírodního hydraulického vápna (NHL 3,5-55 lbs) obohacené o procento hydrofobizovaných granulí křemičitého aerogelu od 25 do 90 obj. %. Po 20 letech ekvivalentní doby stárnutí s vysokou vlhkostí se u 70 % vzorků zvýšila tepelná vodivost až o 10 %. Nicméně i přes nárůst způsobený stárnutím zůstala tepelná vodivost omítek na bázi aerogelu mnohem nižší ve srovnání s pomalu degradujícími konvenčními materiály.

Toto řešení, ačkoli se zdá být rozumné, je ve srovnání s řešeními O1 a O2 stále nákladné. Proto by řešení s použitím O2 na jižní fasádě + deskové izolace na severní mohlo zajistit podobnou energetickou náročnost jako O3 + deskovou izolací, pokud by se při použití O2 desková izolace aplikovala v silnější vrstvě.

5.2.3 PROVEDENÍ

Historické fasády z 19. století se někdy vyznačují kvalitními uměleckými historickými artefakty, jako jsou ornamenty, sochy nebo nástěnné malby (Obrázek 53 a 54). Jak uvádí Národní památkový ústav v Praze; "Protože každá část fasády ponechaná v autentickém stavu přispívá k zachování "genia loci", památkáři budou ve většině případů usilovat o zachování co největšího počtu historických prvků a souvrství omítek (pokud to technický stav umožňuje). V případě částí, které byly zcela zničeny, se vysloví pro vytvoření kopií a dost pravděpodobně požádají o odstranění druhotných, nevhodných úprav. Nově zhotovené prvky a povrchy by měly být z autentických materiálů, co nejblíže originálu - nejen kvůli vizuálnímu dojmu, ale i kvůli fyzikálním vlastnostem materiálů... I v případech, kdy se projektant snaží napodobit původní charakter domu tím, že na nový povrch připevní nové pseudohistorické (a často zjednodušené) prvky, jsou všechny drobné nerovnosti, které stavbu oživovaly, nahrazeny ostrými hranami, rovnými liniemi a nepřírozenými strukturami. Vždy však existují výjimky - některé jednoduché fasády bez členění a zdobení snesou izolační vrstvu dobře." [67]

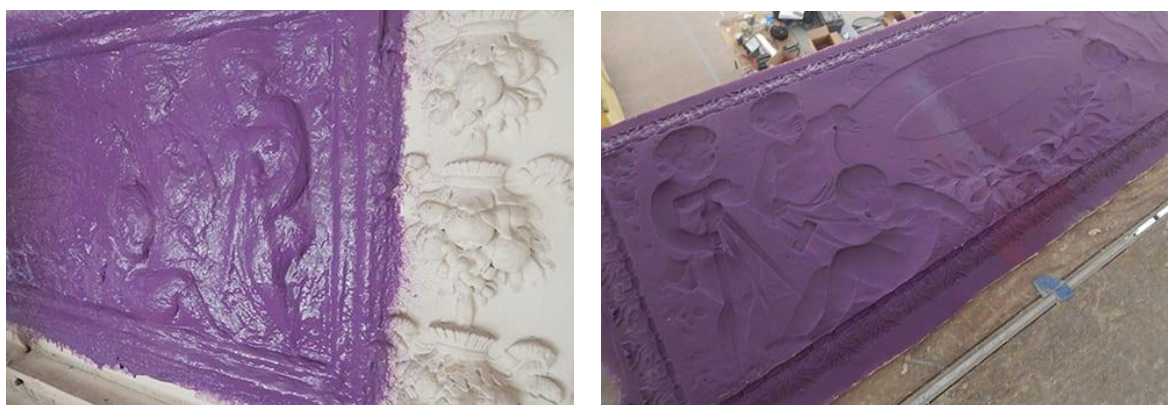


Obr. 53 a 54 – Fasády schodiškových domů v Praze [Autor]

Díky dostupným moderním technologiím lze pomocí 3D skenování vytvářet složité formy ornamentů a soch. Mnoho restaurátorských prací lze provádět s mnohem nižšími náklady při zachování autenticity a přesnosti. Digitální skenování umožňuje projektantům naskenovat jakoukoli část budovy s vysokou přesností (zlomky milimetrů), což restaurátorům usnadňuje vypořádat se s nepravidelnostmi, asymetrickými tvary atd. které jsou u historických budov tak časté. Pomocí 3D tiskáren lze potom vytvořit například složité a přesné formy původního ornamentu. Díky tomu lze snadno vyrobit repliky z autentických materiálů, jako je historická štuková omítková směs, a po nanesení tepelné omítky opět instalovat na fasádu. Příkladem využití této technologie je restaurování části kolínské katedrály v Německu nazvané Michael Portal [68], kde autoři dokazují její potenciál při obnově historických budov. Tato technika je však relativně nová a zatím není její použití v restaurování rozšířené. Proto je třeba otestovat a přezkoumat další experimenty s aplikacemi digitálního

skenování a tisku forem, aby se zajistila jejich vhodnost a použitelnost v oblasti historických fasád.

Méně složitou technikou odlévání ornamentů je vytváření gumových forem. Gumové formy mohou zachytit detaily a prvky vysoce dekorativního sádrového ornamentu. Při vytváření gumových forem se stávající sádrové prvky potahují pružnou gumou, buď polyuretanovou, nebo silikonovou. Původní sádrový prvek se poté odstraní a vzniklá prázdná plocha se využije k odlití nových sádrových prvků (Obr. 55). Po vytvoření forem se do nich aplikuje omítka a následně je přenesena na omítaný povrch fasády.



Obr. 55 – Výroba gumových forem pro repliky historických ornamentů

Tento způsob výroby formy je vhodnější pro fasády s jednoduššími a menšími ornamenty, jako je fasáda objektu zkoumaného v této práci. V porovnání s dříve diskutovanými fasádami (Obr. 53 a 54) jsou ornamenty na fasádě studovaného objektu skromné, co se týče složitosti, měřítka i plošné hustoty, jak je vidět na obrázku 56. Tyto ozdoby lze poměrně snadno a s vysokou přesností replikovat pomocí zmíněné ruční techniky namísto digitálního skenování. Původní ozdobné prvky lze nahradit novými, které budou vypadat úplně stejně, avšak fasáda nebude mít plnou hodnotu autenticity. Je pak třeba u každé budovy samostatně rozhodnout, zda přínos tepelné izolační omítky při minimalizaci spotřeby energie stojí za ztrátu originality fasády.



Obr. 56 - Dekorativní prvky na fasádě studovaného objektu

Přestože fasády historických budov často obsahují artefakty, některé z nich jsou jednoduché a bez složité výzdoby a některé fasády stejně vyžadují výměnu omítek nebo rozsáhlou restauraci (Obr. 57 a 58). Pokud je fasáda bez komplexních ornamentů nebo pokud je stejně potřeba restaurovat z důvodu špatného stavu, jeví se jako vhodné zahrnout aplikaci tepelné izolační omítky do rekonstrukce, abychom minimalizovali spotřebu energie bez negativního vlivu na kulturní hodnotu nebo velkých komplikací při rekonstrukci .



Obr. 57 a 58 - Jednoduché fasády schodišťových domů v Praze [Autor]

5.3 VLIV VNITŘNÍ IZOLACE NA SPOTŘEBU ENERGIE A HYGROTERMICKÉ CHOVÁNÍ

Prvním krokem této části je výpočet spotřeby energie na vytápění studovaného objektu pomocí softwaru Energie 2020 po přidání čtyř variant vnitřního zateplení na historickou jižní fasádu. Pro výpočet spotřeby energie na vytápění budovy po přidání jednotlivých izolací se používá teplota interiéru 21°C a venkovní -13°C. Později je numericky zkoumána hygrotermické chování stěny po přidání každé izolace pomocí softwaru WUFI po dobu studie 6 let. Data o pražském počasí použita pro exteriér zohledňují také účinek deště. Zvolená teplota a vlhkost vzduchu v interiéru během hygrotermické analýzy simuluje podmínky v jednom z bytů, kde se naměřené vnitřní teploty v zimě pohybují mezi 23° a 25° a relativní vlhkost mezi 55 % a 65 %. Průměrná naměřená teplota (24°) a průměrná relativní vlhkost (60%) jsou v tomto bytě nejvyšší ve srovnání s naměřenými hodnotami ve všech ostatních navštívených bytech ve studované budově. Proto jsou tyto podmínky považovány za nejhorší scénář, který je simulován v simulaci hygrotermického chování. Třetím krokem je trojrozměrný numerický test pomocí softwaru 3D Cube, který určí teplotu a úroveň vlhkosti v zhlavách dřevěných trámů. Tato simulace ve třetím kroku vylučuje vliv deště. Je důležité si uvědomit, že tento třetí test neprobíhá po určitou dobu, ale pouze v jednom klimatickém stavu, kdy jsou vnější teplota a relativní vlhkost -13°, 80 % a vnitřní teplota a relativní vlhkost 24°, 60 %.

Vnitřní tloušťka izolace 10 cm je největší navrhovaná tloušťka, kterou lze v tomto objektu použít, jednak proto, aby se omezilo blokování světla a slunce způsobené zvětšením vnitřní tloušťky stěny kolem oken, a aby se omezil ztráty vnitřního prostoru. Tloušťka 5 cm je použita pro srovnání, jak může snížení tloušťky izolace na polovinu ovlivnit hygrotermické chování stěny. Jak již bylo zmíněno dříve, umístění parozábrany blíže k teplému vnitřnímu povrchu stěny, například přímo pod vnitřní omítku nebo izolací, funguje dobře pouze teoreticky. Ve skutečnosti je velmi těžké zabránit mechanickému poškození zábrany, protože jediný hřebík nebo háček zatlučený do zdi může do značné míry negativně ovlivnit její funkci. Toto umístění navíc může omezit odvod vodních par z vnitřních prostor přes obvodový plášť, což může vést ke zvýšení relativní vlhkosti v interiéru a zhoršení kvality vnitřního vzduchu.

5.3.1 MATERIÁLY

Skladba obvodových stěn historických objektů, plných cihel s vápennou maltou, je považována za "dýchající" skladbu stěn. Tyto materiály jsou pórovité a umožňují pohyb vlhkosti v konstrukci kapilárním působením. První materiál zvolený pro studii, vápenný pucolán (I1), je kapilárně aktivní materiál, který usnadňuje vysychání vlhkosti stěn a je kompatibilní s původními materiály stěn. Směs vápna a pucolánu se nanáší jako vrstva tepelné omítky v tloušťce 4 cm. Lze ji použít místo běžné historické vápenné omítky s dodatečnou vrstvou vnitřní izolace nebo bez ní. Mechanické, tepelné a hygienické vlastnosti vápenopozolanové omítky jsou měřeny v [59] a jsou uvedeny v tabulce 10.

Druhým materiálem použitým ve studii je křemičitan vápenatý (I2), což je kapilárně aktivní materiál na bázi vápna, což je kompatibilní s historickými materiály. Tento materiál se v poslední době běžně používá při rekonstrukcích historických cihlových zdí. V [41] jsou numericky a in-situ testovány hygrotermické vlastnosti vnitřně izolovaných cihelných stěn po přidání křemičitanu vápenatého. Podle prezentovaných výsledků se ukazují výhody materiálu při procesu vysychání případné zabudované vlhkosti i pro omezení kondenzace v zimním období. V citované disertaci je na studovanou historickou cihlovou zeď aplikován silikát vápenatý v tloušťce 10 cm a později v tloušťce 10 cm s parozábranou. Simulace je provedena pro silikát vápenatý v tloušťce 5 cm s parozábranou na stěnu o tloušťce 45 cm a také na stěnu o tloušťce 61 cm.

Jedním z problémů při instalaci vnitřní izolace do stávajících stěn je omezení dodatečné tloušťky stěny zmenšením vnitřní plochy. Nové tepelněizolační materiály s vysokými tepelnými vlastnostmi, jako jsou vakuové izolační panely (I3), zvyšují tepelný odpor stěny ve srovnání s běžnými izolačními materiály o stejné tloušťce. Tepelný odpor vakuového izolačního panelu (VIP) je 5-10 krát vyšší než u běžných izolačních materiálů [69,70]. Rozsah tloušťky panelů je obvykle 1-5 cm. Panely se skládají z plynotěsného obalu obklopujícího pevné jádro, z něhož byl odveden vzduch. Rozměry panelů se pohybují od 10 x 10 cm do 125 x 300 cm [71]. Materiál, pokud je dokonale aplikován, funguje také jako parozábrana. K ochraně izolace před náhodným proražením byly použity sádkartonové desky o tloušťce 1,25 cm.

Čtvrtým materiálem zkoumaným je minerální vlna (I4). Tento materiál je široce používaný a dostupný na trhu. Je také poměrně snadno proveditelný a není drahý, což z něj činí jednu z nejdostupnějších možností pro majitele takovýchto historických budov. V [38] se studují hygrotermické vlastnosti vnitřního zateplovacího systému na bázi hydrofilní minerální vlny aplikované na historickou cihlovou zeď pomocí poloprovodní měřicí techniky. V této disertaci je na cihlovou stěnu připevněna minerální vlna o tloušťce 10 cm. Později je aplikována (I4) v tloušťce 10 cm s parozábranou. Simulace je provedena pro aplikaci minerální vlny v tloušťce 5 cm s parozábranou na stěnu o tloušťce 45 cm a také na stěnu o tloušťce 61 cm.

Materiál	Tepelná vodivost v suchém stavu (W/mK)	Difúze vodní páry Faktor odporu	Objemová hmotnost (kg.m ³)
I1	0.40	0.18	1320
I2	0.05	3.23	230
I3	0.007	50 000	220
I4	0.04	1.3	60

Tabulka 10 - Základní vlastnosti zkoumaných izolací

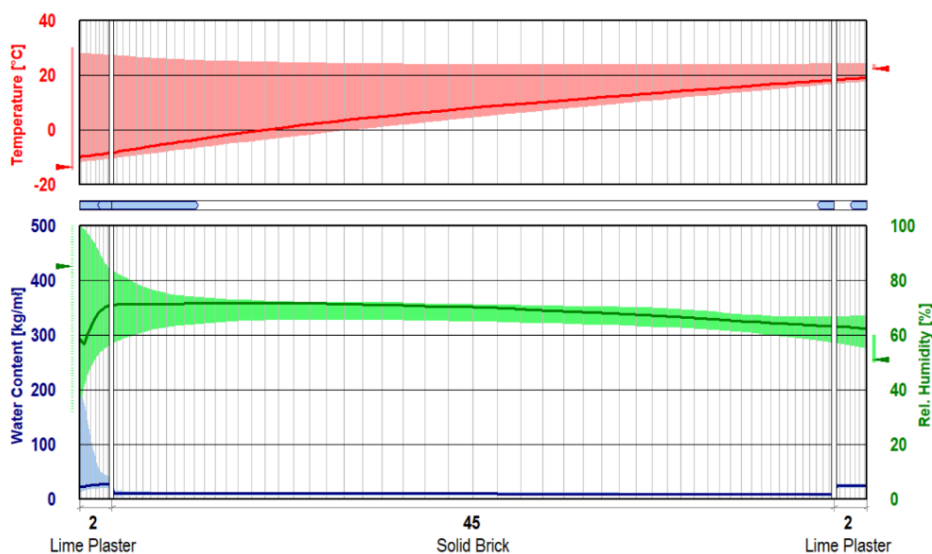
5.3.2 VÝSLEDKY NUMERICKÉ SIMULACE

Průměrný součinitel prostupu tepla původní budovy před úpravou obálky je $U_{em}=1,07 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ a spotřeba tepla na vytápění je $152 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$. Tabulka 11 uvádí součinitel prostupu tepla obálky budovy a spotřebu tepla po přidání vnitřních izolací (I1, I2 ,I3 a I4) na jižní historickou fasádu. Na severní dvorní fasádu je potom simulován zateplovací systém s tepelnou deskovou izolací tl. 6 cm z minerální vlny dachrock.

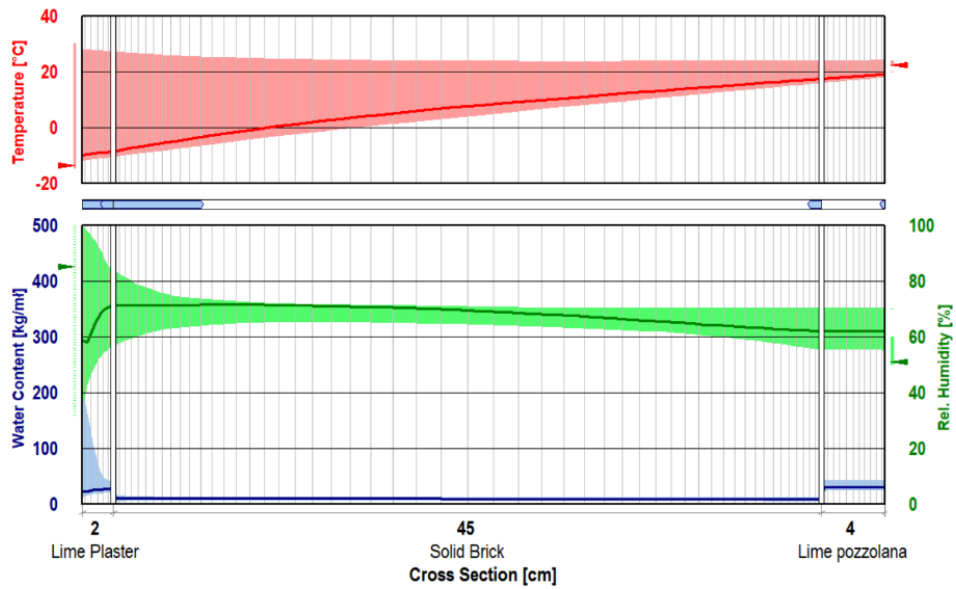
Vnitřní tepelná izolace	Součinitel prostupu tepla obálky budovy ($\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$)	Spotřeba tepla na vytápění budovy ($\text{kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$)
I1 (4 cm)	1,06	150
I2 (10 cm)	1,01	146
I3 (2,5 cm)	1,00	145
I4 (10 cm)	1,00	145
Vnější izolace - dvorní fasáda	0,97	137

Tabulka 11 - Vliv použitých materiálů na potřebu tepla

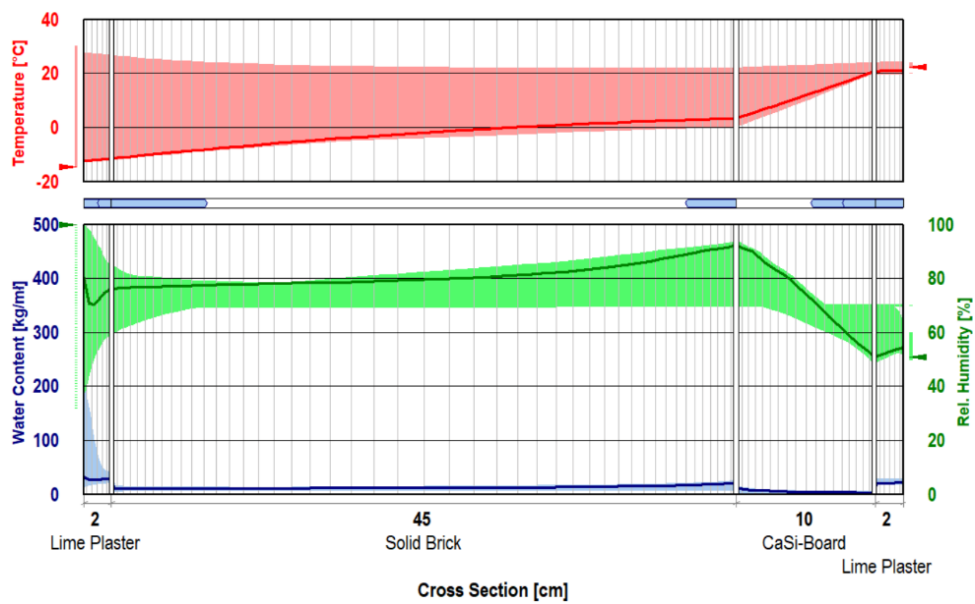
Všechny použité vnitřní izolační materiály vykazují menší úspory energie ve srovnání s opatřeními na obnovu vnější izolace dvorní fasády. Instalace a údržba (I3) jsou složité vzhledem k citlivosti materiálu na poškození a s ohledem na to, že panely mají pevné rozměry a nelze je řezat. Jediný hřebík ve zdi nebo náhodné poškození může do značné míry změnit hygrotermické vlastnosti sestavy a ovlivnit její izolační vlastnosti. Další komplikací při instalaci (I3) zejména u tohoto typu historických budov je, že obvodové stěny obvykle nemají pravidelnou tloušťku v celém svém průřezu, ale ve většině případů se mění pod okny za otopným zařízením. Pokles spotřeby energie na vytápění budovy po použití vnitřních izolací se pohybuje mezi 1,3 % a 4.6 %. Relativní vlhkost, obsah vody a teplota ve vrstvách původní a zateplené stěnové sestavy jsou simulovány pomocí programu WUFI pro vnitřní izolaci s I1, I2, I3 a I4. Výsledky jsou uvedeny na obrázcích 59, 60, 61, 62 a 63.



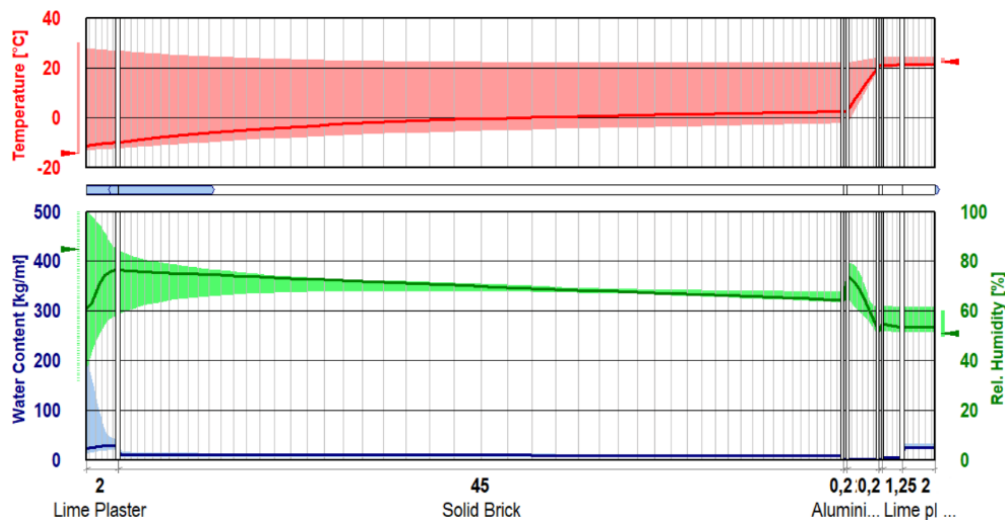
Obr. 59 - — teplota; — relativní vlhkost; — obsah vody v sestavě studované stěny (cihla 45 cm) bez izolace.



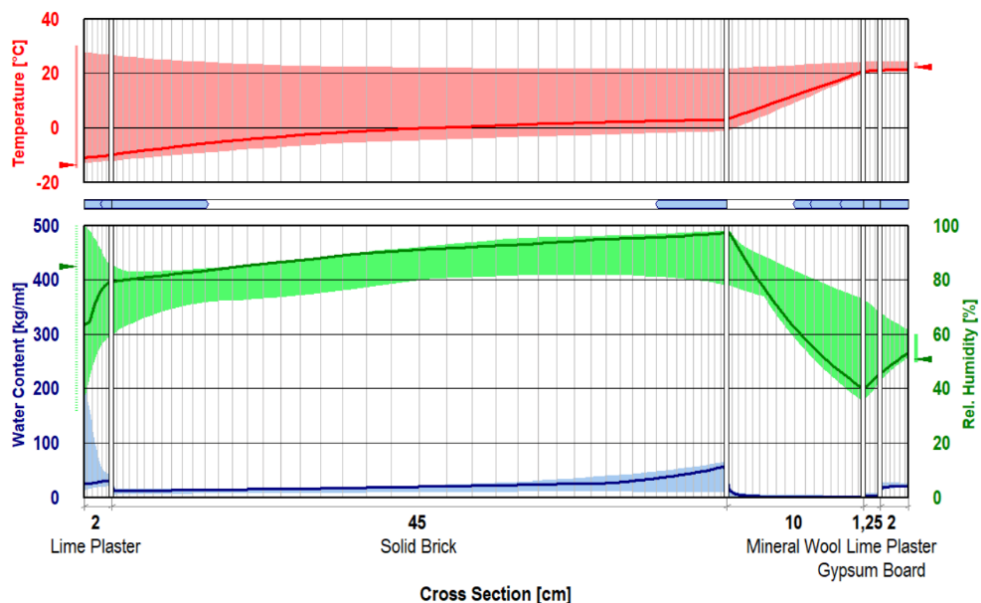
Obr. 60 - — teplota; — relativní vlhkost; — obsah vody v sestavě studované stěny (cihla 45 cm) s vnitřní izolací (I1).



Obr. 61 - — teplota; — relativní vlhkost; — obsah vody v sestavě studované stěny (cihla 45 cm) s vnitřní izolací (I2) 10 cm.

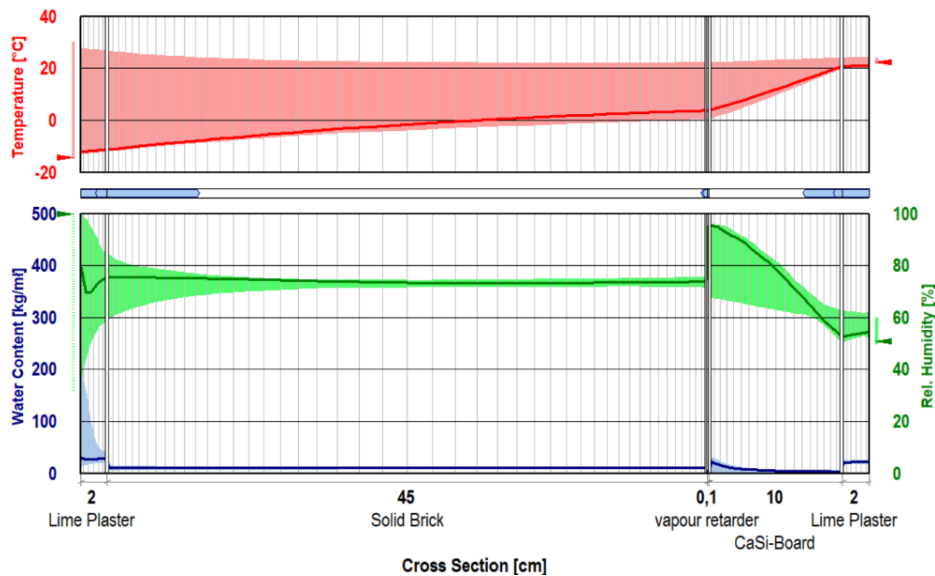


Obr. 62 - — teplota; — relativní vlhkost; — obsah vody v sestavě studované stěny (cihla 45 cm) s vnitřní izolací (I3).

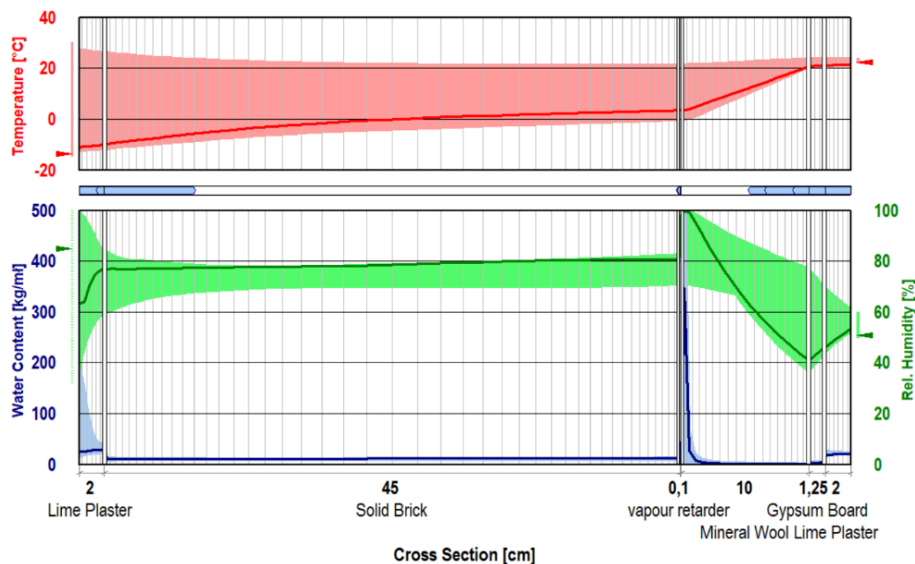


Obr. 63 - — teplota; — relativní vlhkost; — obsah vody v sestavě studované stěny (cihla 45 cm) s vnitřní izolací (I4) 10 cm.

Velký vliv na relativní vlhkost na rozhraní mezi stěnou a izolací je patrný u použití vnitřních izolačních materiálů I2, I4, kde v zimě přesahuje 90%. Další výsledky jsou uvedeny v tabulce 12. Celkový obsah vody ve stěně po použití I2 a I3 se pohybuje mezi 5 kg/m^3 a 8 kg/m^3 . Celkový obsah vody v sestavě po použití I4 se každoročně zvyšuje, aniž by voda, která se do sestavy dostala během zimního období, měla možnost vyschnout. Pro srovnání jsou pomocí WUFI vypočteny teplota, obsah vody a relativní vlhkost ve stejné stěně s použitím izolací I2 a I4, 10cm s parozábranou při stejných vnitřních a vnějších povětrnostních podmínkách, které byly zmíněny dříve. Výsledky jsou uvedeny na obrázcích 64 a 65.

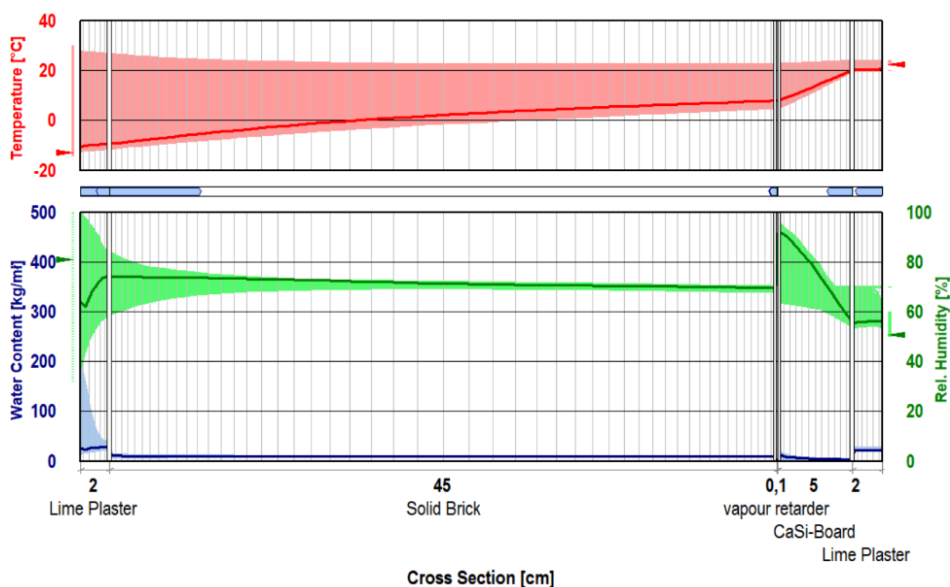


Obr. 64 - —teplota; — relativní vlhkost; — obsah vody v sestavě studované stěny (cihla 45 cm) s vnitřní izolací (I2) 10 cm + parozábrana.

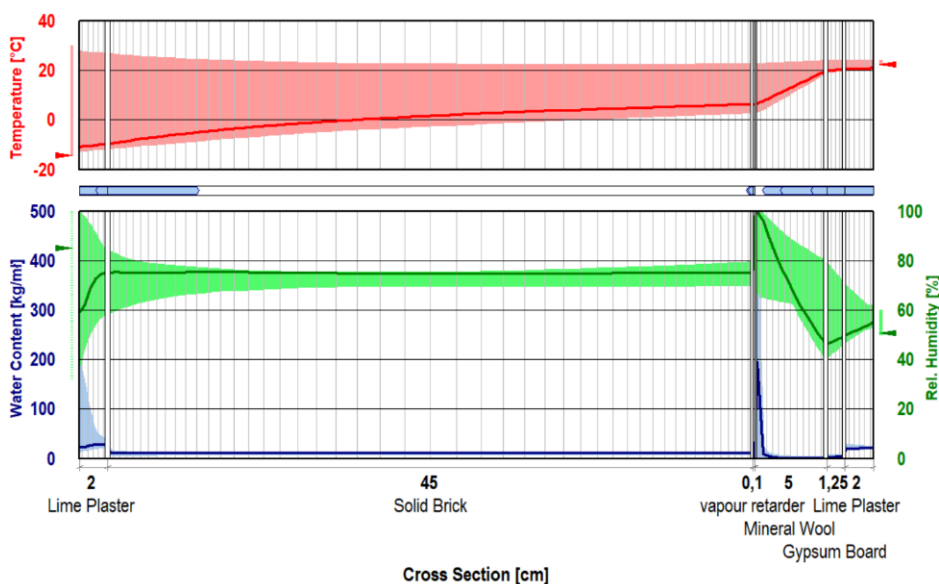


Obr. 65 - —teplota; — relativní vlhkost; — obsah vody v sestavě studované stěny (cihla 45 cm) s vnitřní izolací (I4) 10 cm + parozábrana.

Parozábrana omezuje pronikání difundující a kondenzující vodní páry do cihlové zdi, zatímco relativní vlhkost v samotné izolační vrstvě přesahuje u obou materiálů 90%. Celkový obsah vody ve stěně izolované materiálem I2 se pohybuje mezi $5,5 \text{ kg/m}^3$ a 7 kg/m^3 , zatímco v případě materiálu I4 začíná na 6 kg/m^3 a v každém studovaném roce se stále zvyšuje. Numerické výpočty pro cihlovou stěnu o tloušťce 45cm se opakují za stejných podmínek po snížení tloušťky izolace I2 a I4 na 5cm s parozábranou (obr. 66 a 67). Výsledky jsou rovněž uvedeny v tabulce 12.

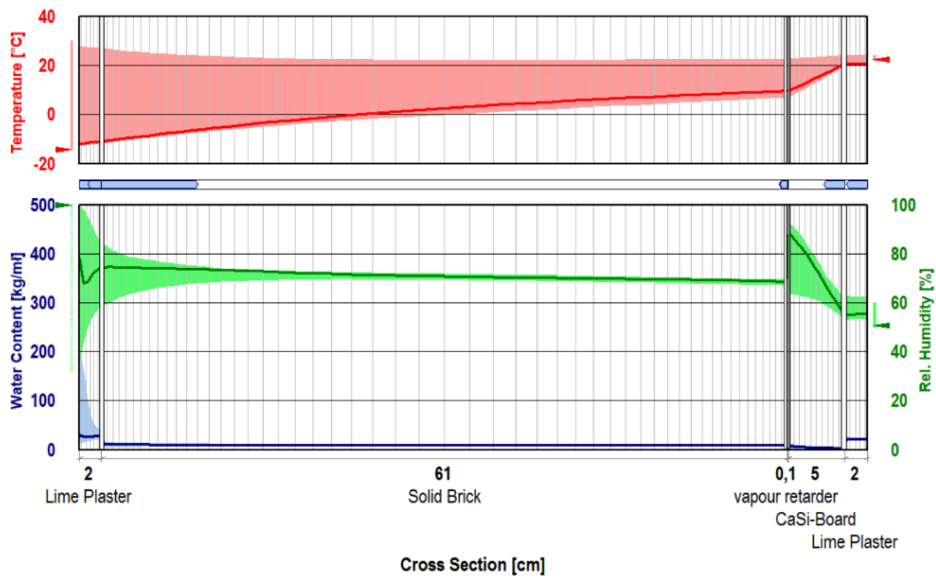


Obr. 66 - **teplota; relativní vlhkost; obsah vody v sestavě studované stěny (cihla 45cm) s vnitřní izolací (I2) 5cm + parozábrana.**

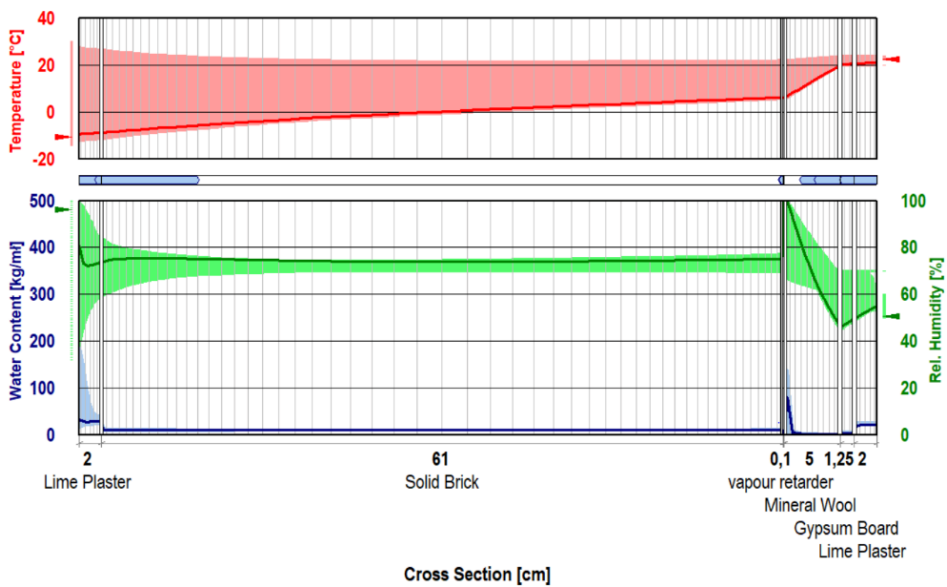


Obr. 67 - **teplota; relativní vlhkost; obsah vody v sestavě studované stěny (cihla 45 cm) s vnitřní izolací (I4) 5 cm + parozábrana.**

Zmenšení tloušťky izolace na 5 cm místo 10 cm nemělo zásadní vliv na výsledky. Relativní vlhkost v obou vrstvách izolace v zimě stále přesahuje 90%, i když se v porovnání s I2 velmi mírně snížila, zatímco celkový obsah vody po zateplení I4 se v každém studovaném roce zvyšuje. Numerická simulace teploty, obsahu vody a relativní vlhkosti ve stěně se opakuje po změně tloušťky cihlové stěny na 61 cm při použití izolací I2 a I4 v tloušťce 5 cm s parozábranou (obr. 68 a 69). Výsledky těchto zkoušek jsou uvedeny v tabulce 12.



Obr. 68 - teplota; relativní vlhkost; obsah vody v sestavě studované stěny (cihla 61 cm) s vnitřní izolací (I2) 5 cm + parozábrana.



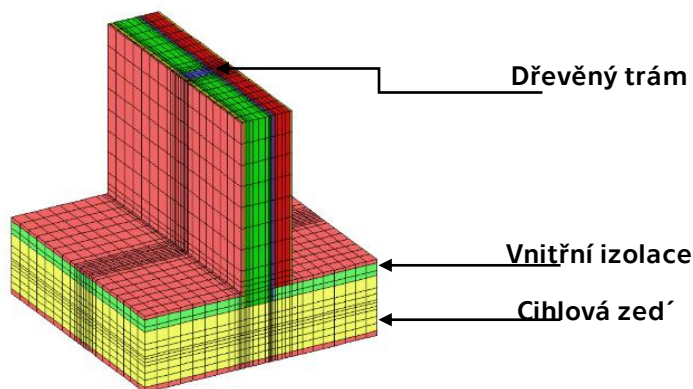
Obr. 69 - teplota; relativní vlhkost; obsah vody v sestavě studované stěny (cihla 61 cm) s vnitřní izolací (I4) 5 cm + parozábrana.

Izolace	Tloušťka stěny (cm)	Obsah vody v izolaci (kg/m ³)	Celkový obsah vody (kg/m ³)
Bez izolace	45	-	4.5-6
I1 (10 cm)	45	3.5-5.3	6-8
I1 (10 cm) + parozábrana	45	3.6-8	5.5-7
I1 (5 cm) + parozábrana	45	3.4-6.5	5-6.5
I1 (5 cm) + parozábrana	61	3.4-5.3	6.5-8
I2	45	0,00	5-6.5
I3 (10 cm)	45	0.8-2.8	6- zvyšuje každý rok
I3 (10 cm) + parozábrana	45	0.9-33.4	5- zvyšuje každý rok
I3 (5 cm) + parozábrana	45	1-34.7	5- zvyšuje každý rok
I3 (5 cm) + parozábrana	61	1-15.6	7- zvyšuje každý rok

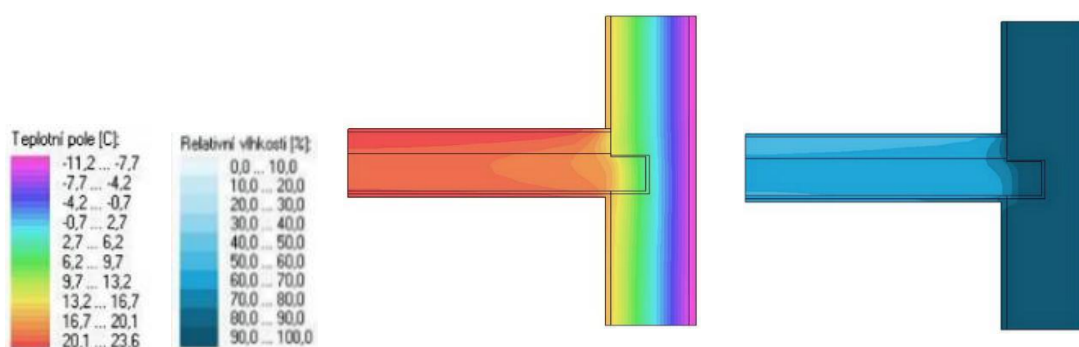
Tabulka 12 - Vliv použitých izolačních materiálů na hygrotermické chování zateplené stěny ve studovaném období

Jak je patrné z výše uvedených obrázků, relativní vlhkost v izolačních vrstvách I2 a I4 po přidání parozábrany přesahuje v zimě ve všech studovaných případech 90%, zatímco po použití I4 s parozábranou dosahuje 100%. Na tuto vysokou relativní vlhkost v obou izolacích neměla podstatný vliv změna tloušťky vrstvy cihel ze 45 cm na 61 cm ani snížení tloušťky izolační vrstvy z 10 cm na 5 cm. Tepelné vlastnosti izolace mohou být výrazně negativně ovlivněny zvýšeným obsahem vody v materiálu. V případě izolace I2 izolace během léta vysychá dovnitř a celkový obsah vody v sestavě se v obou testech před přidáním parozábrany i po něm mění v každém zkoumaném roce ve stabilním rozmezí. Zatímco v případě I4 se celkový obsah vody v každém zkoumaném roce neustále zvyšuje, aniž by měl možnost zcela vyschnout, a to v obou případech před i po použití parozábrany.

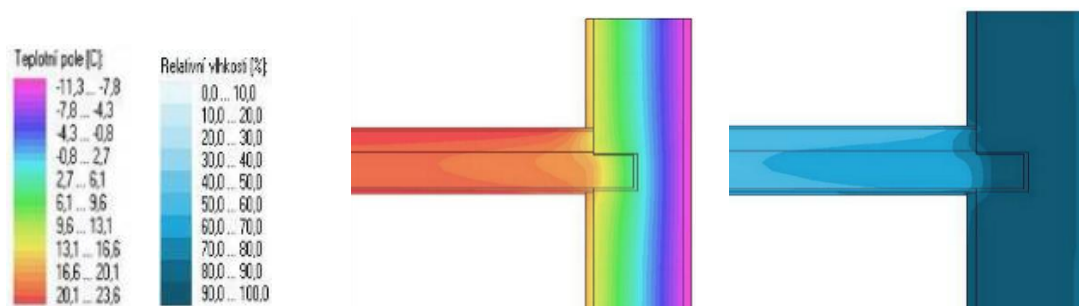
Pro ověření vlivu použitých izolačních materiálů na relativní vlhkost a teplotu v zhlavách dřevěných trámů, které jsou zapuštěny do izolované stěny, byl pomocí softwaru 3D Cube vytvořen 3D model části stropu včetně dřevěného trámu a části cihlové stěny v tloušťce 45 cm (obr. 70). Poté jsou uvedeny řezy znázorňující rozsahy relativní vlhkosti a teploty v dřevěném trámu a v kapsách, v nichž spočívají. Řez na obrázku 71 ukazuje relativní vlhkost a teplotu v tomto detailu před přidáním jakékoliv izolace. Řezy na obrázcích 72, 73, 74 a 75 ukazují výsledek numerické simulace po zateplení stěny s I1, I2, I3 a I4. Simulace byla opakována po použití 10 cm izolací I2 a I4 s parozábranou (obrázky 76 a 77) a poté po snížení tloušťky izolací I2 a I4 na 5 cm s parozábranou (obrázky 78 a 79).



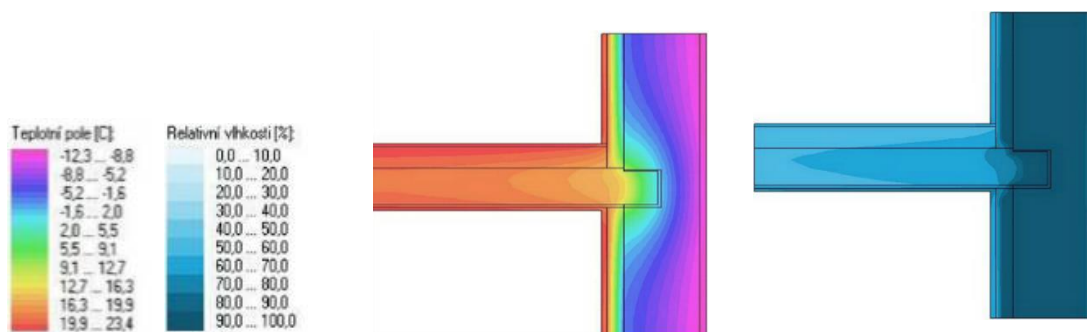
Obr. 70 - 3D model pomocí 3D Cube části stropu, který obsahuje dřevěný trám a část stěny, v níž je trám zapuštěn.



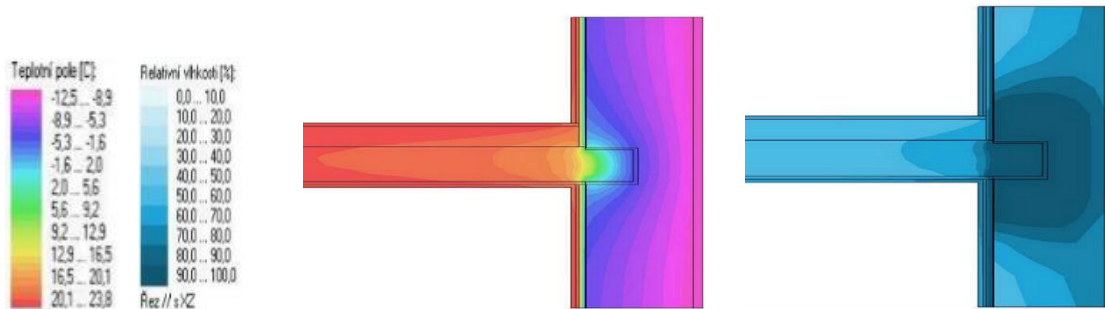
Obr. 71 - Teplotní pole a pole relativní vlhkosti v dřevěném trámu zapuštěném do stěny bez izolace.



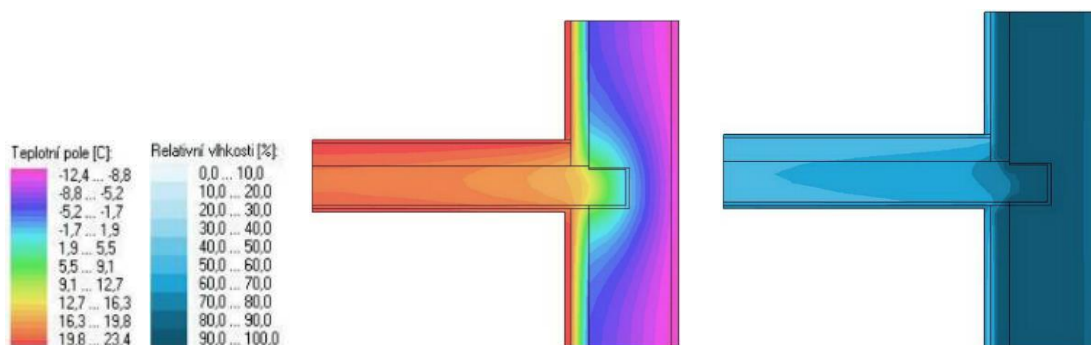
Obr. 72 - Teplotní pole a pole relativní vlhkosti v dřevěném trámu vloženém do stěny izolované I1 (4 cm).



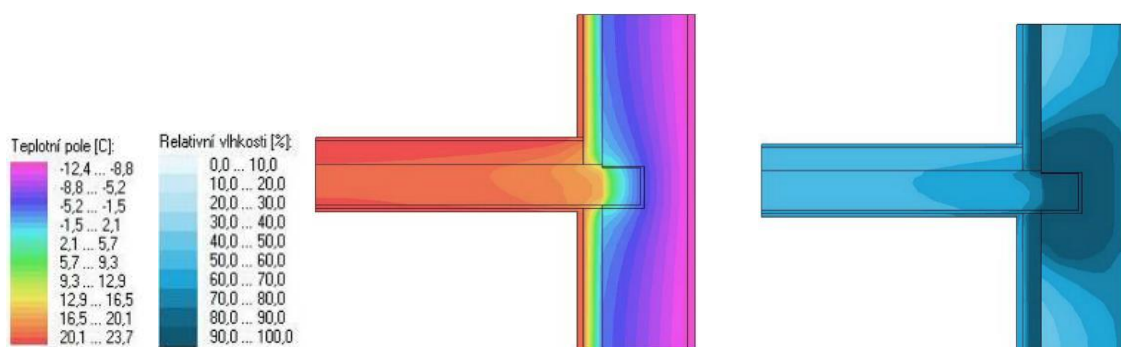
Obr. 73 - Teplotní pole a pole relativní vlhkosti v dřevěném trámu zapuštěném do stěny izolované I2 (10 cm).



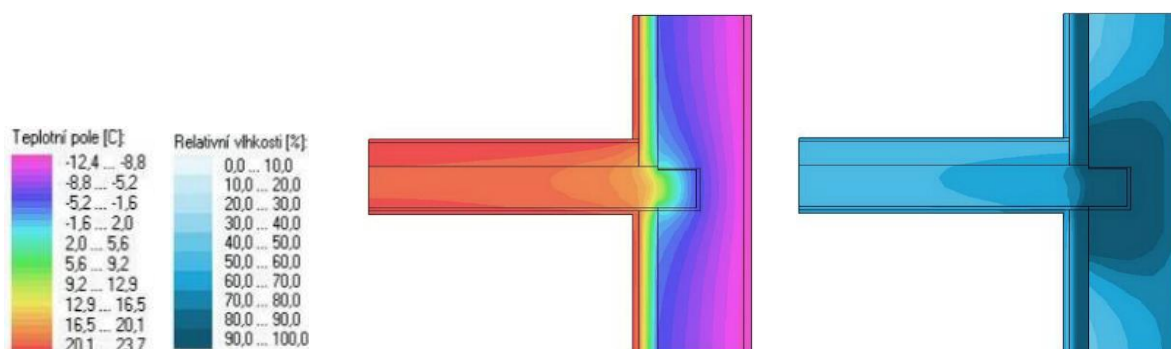
Obr. 74 - Teplotní pole a pole relativní vlhkosti v dřevěném trámu zapařtěném do stěny izolované I3 (2,5 cm).



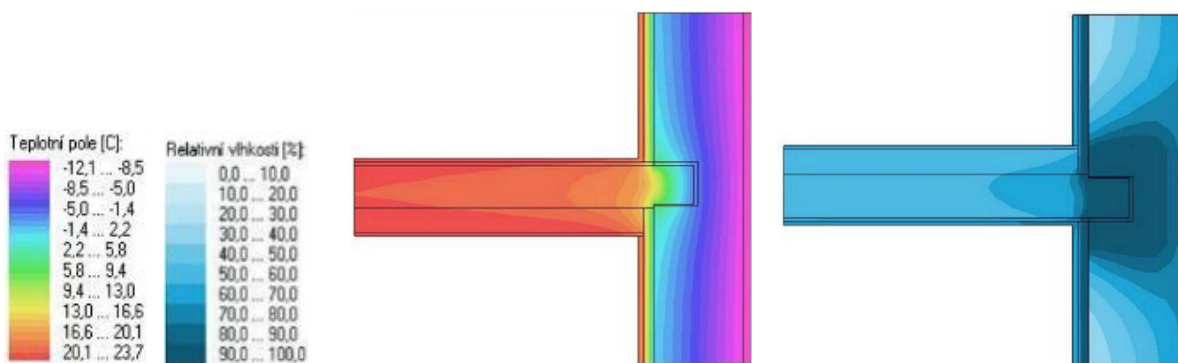
Obr. 75 - Teplotní pole a pole relativní vlhkosti v dřevěném trámu zapařtěném do stěny izolované I4 (10 cm).



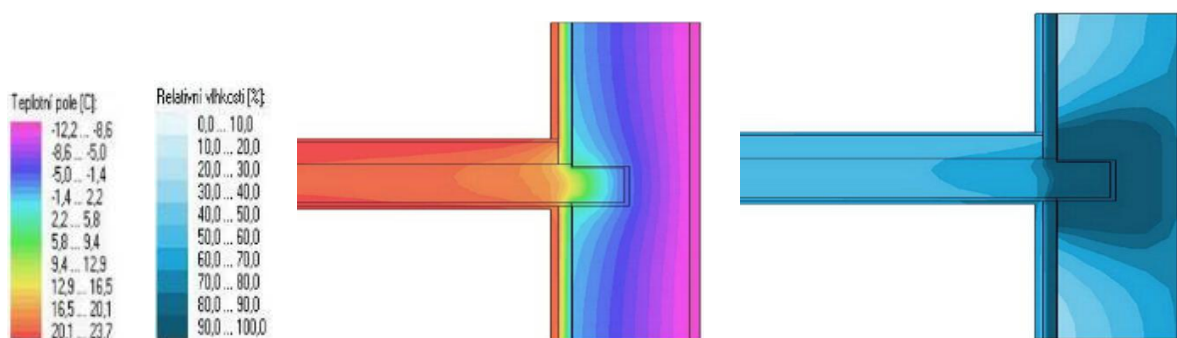
Obr. 76 - Teplotní pole a pole relativní vlhkosti v dřevěném trámu vloženém do stěny izolované I2 (10 cm) + parozábrana.



Obr. 77 - Teplotní pole a pole relativní vlhkosti v dřevěném trámu vloženém do stěny izolované I4 (10 cm) + parozábrana.



Obr. 78 – Teplotní pole a pole relativní vlhkosti v dřevěném trámu vloženém do stěny izolované 12 (5 cm) + parozábrana.



Obr. 79 – Teplotní pole a pole relativní vlhkosti v dřevěném trámu vloženém do stěny izolované 14 (5 cm) + parozábrana.

5.3.3 DISKUZE

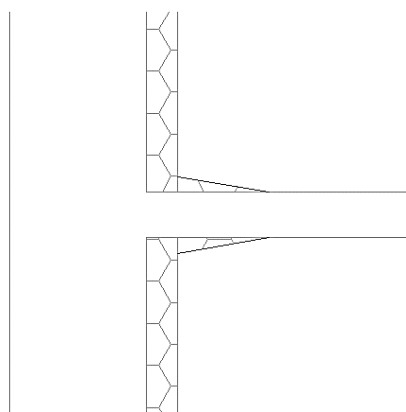
Relativní vlhkost v hlavě dřevěného trámu je ve zkoumaných podmínkách před všemi testovanými úpravami i po nich vyšší než 80%, i když jak lze očekávat, teplota po přidání izolace klesá. Teplotní pole v hlavě dřevěného trámu po zateplení stěny 10 cm křemičitanu vápenatého (12) nebo 10 cm minerální vlny (14) se pohybuje mezi -1° a 12° , zatímco po přidání parozábrany se teplotní pole v hlavě trámu pohybuje mezi -5° a 13° . Přidání parozábrany do sestavy má za následek snížení vlhkosti uvnitř stěny, zatímco na teplém povrchu stěny a v izolační vrstvě je vlhkost vyšší než 80%. Přidání parozábrany nebo změna tloušťky izolace nevede k podstatnému zlepšení úrovně vlhkosti v hlavě dřevěného trámu, která stále přesahuje 80%, zatímco teplota je vyšší než 0° což jsou vhodné podmínky pro růst plísní.

Zatímco relativní vlhkost v izolační vrstvě z kalcium silikátu (12) přesáhla v zimě ve všech testovaných variantách 90%, což ovlivňuje tepelně izolační vlastnosti v době, kdy jsou nejvíce potřebné, relativní vlhkost minerální vlny (14) dosáhla 100% s rostoucím celkovým obsahem vody v sestavě stěny v každém studovaném roce. Vakuové izolační desky (13) mají sice výhodu úspory vnitřního prostoru a vykazují stabilní celkový obsah vody během zkoumaného období s relativní vlhkostí na teplé straně cihlové vrstvy nižší než 70%, ale jejich největší nevýhodou je komplikovanost provádění a vysoká citlivost na poškození. Je důležité poznamenat, že výsledky tohoto článku jsou provedeny numericky, zatímco ve skutečnosti a vzhledem k náročnosti

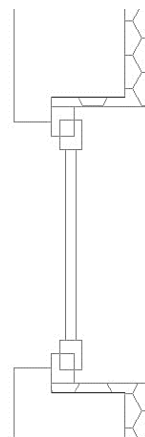
provádění a údržby, zejména citlivých materiálů, se výsledky mohou lišit. Hygrotermické chování ve stěnách po zateplení I2 a I4 s parozábranou se výrazně nelišilo po snížení tloušťky izolace z 10 cm na 5 cm, ani po zvýšení tloušťky stěny ze 45 cm na 61 cm.

Zatímco, jak bylo uvedeno výše, renovace s vnitřní izolací ve všech testovaných případech vedla k jednomu nebo druhému typu komplikací; zvýšená vlhkost v samotné izolaci ovlivňující její tepelné vlastnosti a životnost, zvýšení obsahu vody ve stěně bez úplné vyschnutí, komplikace při provádění a údržbě, jejíž dokonalost v reálu nelze zaručit, nebo představující nebezpečí vzniku plísní a degradace dřevěných konstrukčních prvků, jiná sanační opatření jako vnější zateplení dvorní fasády nepředstavuje pro historickou konstrukci ty nebezpečí a zároveň vede k větším úsporám energie než všechny v této studii testované vnitřní izolace.

Důležité je, aby nekondenzovala vlhkost v rozích místností, proto je třeba vytvořit návaznost mezi tepelnou izolací obvodových a vnitřních konstrukcí, například zaizolováním podlahy v přízemí, které se napojí na izolaci stěny. Rosení stěn se v rozích omezí pomocí šikmých náběhů u vnitřních příček. Kritické místo je v napojení oken na tepelnou izolaci, kde musí vnitřní izolace zaběhnout až pod rám okna. Jinak bude v rohu u rámu okna teplota nižší než teplota rosného bodu a roh bude plesnivět (Obr. 80, 81).



Obr. 80 - Vnitřní napojení příčky s náběhy tepelné izolace.



Obr 81 - Vnitřní napojení okna s tepelnou izolací pod rámem

5.4 ÚPRAVY HISTORICKÝCH OKEN

Okna jsou podstatnou součástí architektonického výrazu stavby. Jejich nevhodná výměna může vzhled stavby značně narušit. Okna jsou významným prvkem nejen jednotlivých staveb, ale také celkového rázu historické oblasti. Čím méně je historická struktura narušena a čím je architektonicky ucelenější, tím větší je důvod považovat okenní rámy za součást jejich charakteristické podoby. Z architektonického hlediska má velký význam zachovat špaletových (dvojitých) oken, protože působí na rozdíl od jednoduchých ráků prostorově. Jednoduché okno s dvojsklem není z hlediska vzhledu fasády plnohodnotnou náhradou okna dvojitého, ani pokud má shodné členění. Osazení jednoduchých ráků nemusí být přínosem ani z hlediska tepelně izolačních vlastností. Dvojité okenní rámy osazené do klasické cihelné zdi obvykle izolují lépe než jeden rám vybavený dvojsklem, který nebrání ochlazování nezateplenou špaletou.

5.4.1 VÝSLEDKY NUMERICKÉ SIMULACE

Další zkoumané úpravy na obálce vybraného historického objektu jsou zaměřeny na historická okna. Po každé z následujících úprav je vypočtena potřeba energie na vytápění budovy:

- A- Výměna historických oken v severní fasádě dvorku za moderní okna s dvojitým zasklením.
- B- Výměna vnějšího rámu + zasklení dvojitých rámových oken v historické jižní fasádě při zachování druhého.
- C- Výměna vnitřního rámu + zasklení dvojitých rámových oken v historické jižní fasádě při zachování druhého.
- D- Výměna skla pouze v jednom z ráků dvojitých oken za dvojitě sklo v oknech historické jižní fasády.
- E- Výměna skel obou ráků v oknech s dvojitým rámem za dvojitá skla v oknech historické jižní fasády.
- F- Úprava A + B.
- G- Úprava A + C.
- H- Úprava A + D.
- I- Úprava A + E.

Průměrný součinitel prostupu tepla původní budovy před úpravou obálky je $U_{em}=1,07 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ a spotřeba tepla na vytápění je $152 \text{ kWh}/(\text{m}^2.\text{a})$. Výsledky simulace potřeby energie na vytápění budovy po každém z předchozích zásahů jsou uvedeny v tabulce 13. Simulace je provedena pomocí softwaru energie 2020.

Úprava	Souč. prostupu tepla upraveného okna U [W/(m ² .K)]	Průměrný souč. prostupu tepla budovy U _{em} [W/(m ² .K)]	Potřeba tepla na vytápění budovy [kWh/(m ² .a)]
A	0,8	1,01	144
B	0,8	1,01	144
C	1,36	1,03	147
D	1,1	1,02	146
E	0,8	1,01	144
F (A+B)	-	0,99	143
G (A+C)	-	0,99	142
H (A+D)	-	0,98	141
I (A+E)	-	0,97	139

Tabulka 13 - Potřeba energie na vytápění budovy po opravách oken.

5.4.2 DISKUZE

V některých případech je dřevěný rám natolik masivní, že lze umístit zvětšení drážky a osadit dvojskla. U dřevěných rámců, které nejsou dostatečně masivní, je možné rám podepřít přidáním dřeva. Toto přidané dřevo může plochu rámu rozšířit o cca 1 cm z každé strany, což způsobí zmenšení plochy skla (snížení přístupu světla do obytného prostoru), avšak rám dostatečně zpevní, aby unesl nové dvojsklo (Obr 82). Bylo také potřeba vyměnit okenní panty, aby vydržely váhu nového skla.



Obr. 82 - Rám okna před opravě (vlevo) a po úpravě vpravo. Rám je podepřen přidáním dřeva na jeho vnější povrch [autor]

Problémem modifikace D (Výměna skla pouze v jednom z rámců dvojitých oken za dvojitě sklo v oknech historické jižní fasády) je kondenzace. Pokud chceme co nejvíce eliminovat kondenzaci na vnitřním povrchu venkovních křídel, je nejlepší zasklít kastlová okna dvojsklem ve venkovních i vnitřních křídlech nebo zasklít venkovní křídla dvojsklem a vnitřní křídla jednoduchým sklem. U slabších rámců může přidaná dřevěná úprava vnějšího rámu mírně změnit vzhled fasády (Obr. 82). Otázkou

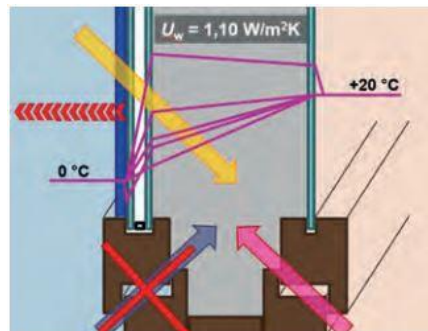
je, je tato úprava (D nebo E), která může snížit energetickou náročnost objektu podle tabulce 13 přijatelná z hlediska památkové péče?

Publikace od Národního památkového ústavu [51] zaměřuje na problém kondenzace. Práce diskutuje vliv způsobu zasklení, při zachování původních křidel, na tepelně technické vlastnosti okna. Níže jsou uvedeny tři příklady zasklení oken s obecně platnými závěry:

D1 – zasklení venkovních křidel dvojsklem a vnitřních křidel jednoduchým sklem

Parameter U_w této varianty splňuje normové požadavky (Požadovaná hodnota pro budovy s převažující vnitřní teplotou 20 °C podle normy ČSN 73 0540-2:2011 je pro U_w 1,5 W/m².K).

Infiltrace mezi vzduchovou mezerou a interiérem nemá negativní vliv na kondenzaci vodní páry na vnitřním povrchu vnějšího skla vzhledem k dobrým tepelně izolačním vlastnostem venkovního křídla. Tepelně izolační účinnost okna se projevuje kondenzací na venkovním povrchu venkovních skel.



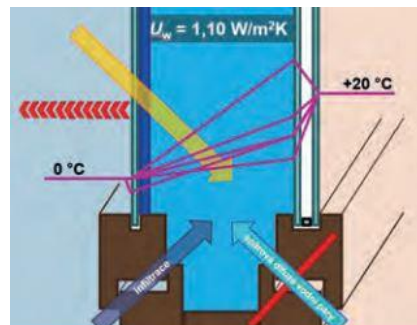
Obr. 83 - Schématické zakreslení průběhu teplot v okně varianty D1 [51].

D2 – zasklení venkovních křidel jednoduchým sklem a vnitřních křidel dvojsklem

Parameter U_w této varianty splňuje normové požadavky.

V případě otevírání vnitřních křidel, vlhký vnitřní vzduch se dostane do vzduchové mezery a vodní pára zkondenzuje na vnitřním povrchu venkovního skla. Ke zvláštnímu jevu dochází při působení slunečního záření. To ohřeje vzduch v mezeře, tím se sníží jeho relativní vlhkost a dojde k „nasávání“ vodní páry z interiéru spárovou difuzí do vzduchové mezery.

Když pak sluneční záření pomine, mezera se ochladí a přebytečná vodní pára zkondenzuje. Venkovní chladné sálání prostor vzduchové mezery a vnější sklo ještě více ochladí, čímž se kondenzace znásobí.



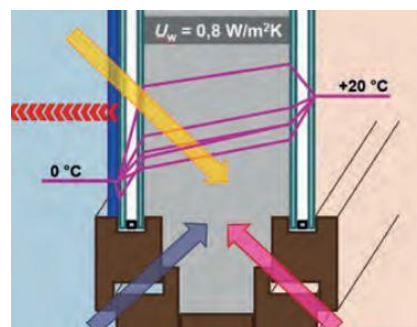
Obr.84- Schématické zakreslení průběhu teplot v okně varianty D2 [51].

E – zasklení venkovních i vnitřních křídel dvojsklem

Parameter U_w této varianty splňuje normové požadavky.

Infiltrace mezi exteriérem a vzduchovou mezerou je vhodná – téměř nezvyšuje prostup tepla a snižuje riziko kondenzace na vnějším skle.

Infiltrace mezi vzduchovou mezerou a interiérem nemá negativní vliv na chování okna. Tepelně izolační účinnosti okna se projevuje kondenzací na venkovním povrchu venkovních skel.



Obr.85 - Schématické zakreslení průběhu teplot v okně varianty E [51].

Rozhodnutí, zda vyměnit vnější či vnitřní křídla za repliku, by se mělo odvíjet od fyzického stavu rámu a jejich kulturní hodnoty. Například tam, kde jsou vnější okna bohatě zdobena profilací a řezbami, kdežto vnitřní jsou prostší, je vhodné zachovat okna vnější. V případě, že je jeden z rámu v neopravitelném stavu, se nabízí výměna za repliku. Při rozhodování o této úpravě (B nebo C) je třeba vzít v úvahu mnoho věcí. V případě repliky je nahrazována celá původní konstrukce. Při výrobě nových výplní se „replikuje“ druh materiálu, technologie zpracování, rozměry a proporce výplně, způsob osazení, způsob otevírání, členění a profilace křídel, ale i mechanismus otevírání, kování, zasklení a konkrétní povrchová úprava. Tato metoda obnovy výplní má za záměr věrně řemeslně napodobit původní výplně a tím přenést v maximální míře nejen vizuálně vnímanou část autenticity na nový prvek, ale i část technického provedení. Záměr obnovy ve smyslu volné repliky se vyznačuje vizuální „nápodobou“ původní výplně bez ambice věrně replikovat řemeslné postupy a původní technologie. V těchto případech je pro zachování autentického výrazu primární určit charakteristické prvky, mezi něž se řadí materiál a jeho povrchová úprava, rozměry, proporce, členění a profilace výplně, způsob osazení okenního rámu a způsob otevírání křídel. Je kladen důraz na materiálovou analogii, shodnou povrchovou úpravu, stejné členění, způsob osazení, zachování velikosti původního otvoru okna a způsob otevírání. Oba tyto výše zmíněné přístupy lze v případě nutnosti kompletní náhrady původních okenních výplní v historických zónách považovat za vhodnou alternativu k replikám. [51]

Moderní požadavky na konstrukci dřevěných oken vyžadují vyšší tloušťku rámu křídla (min. 7 cm). Použitím takové konstrukce u vnějšího rámu se ztrácí původní vizuální dojem. Při požadavku památkové péče na zachování původní konstrukce a způsobu otevírání se snižuje plocha propouštějící světlo do interiéru. V historických zónách je při zachování hodnotných konstrukcí výplní ke zvážení kombinace postupů, kde vnější křídla maximálně zachovávají původní vzhled (repase, replika, volná replika) a vnitřní křídla jsou vyměněna za dobové tvarové analogie s využitím moderních postupů a požadavků na výplně. Nutností je vyřešení stavebně-fyzikálních požadavků, především na účinně provětrávanou mezeru mezi vnějším oknem a exteriérem z důvodu kondenzace vodních par. [51]

V souvislosti s utěsněním exteriéru stavby novými okny je potřeba zajistit dostatečné provětrání vnitřních prostor jiným způsobem. Doporučuje se větrání zajistit nuceně, nejlépe s rekuperací tepla. V historických objektech může být zajištění nuceného větrání navíc problémem z technických i architektonických důvodů.

5.4.3 MATERIÁLOVÉ ŘEŠENÍ

Pro zachování architektonického dědictví je charakteristické užívání tradičních materiálů. Soudobé materiálové alternativy mohou být srovnatelné funkčně, ale z hlediska památkové péče má užití tradičního materiálu hodnotu samo o sobě a je v principu nenahraditelné. Užívání tradičních materiálů udržuje jejich výrobu a také udržuje znalost řemeslného zpracování. Bez výroby odpovídajících materiálů a bez řemeslníků, kteří s nimi umějí pracovat, není zachování architektonického dědictví reálné. Preference užívání tradičních materiálů má v oblasti architektonického dědictví širší společenské souvislosti. Důležitý je i způsob zpracování vycházející z technických vlastností materiálů. Okenní rámy a křídla zhotovené ze dřeva mají jinou formu než kovové anebo plastové, protože kov nebo plast mají jiné vlastnosti než dřevo. Dřevěná okna nemající odpovídající formu mohou historickou architekturu zhodnotit stejně jako okna plastová. Rozdíl je v tom, že zatímco u historicky odpovídajících materiálů je dosažení adekvátní formy reálné, u plastových nebo kovových oken to reálné není, protože tyto materiály jsou spojené s odlišnou konstrukcí.

„Dříve se stavělo z místních materiálů. Dnes dovážíme suroviny často na dlouhé vzdálenosti. Naši předci opravovali a upravovali. Dnes nejčastěji měníme za nové. Dřevo, kámen, pálená a nepálená hlína, vápno a další tradiční materiály nepředstavují pro životní prostředí zátěž ani po svém dožití. Mnohé současné materiály ano. I když historické stavby obvykle nevyhoví aktuálním požadavkům na tepelně izolační vlastnosti, jsou obecně „zelenější“ než produkty současného stavebnictví. Stejně tak idea památkové péče spočívající v udržování a opravách je z hlediska energetické náročnosti k životnímu prostředí šetrnější než stavby chápané jako spotřební zboží.“ [72].

Úpravy B a C (Výměna rámu + zasklení) jsou podstatně dražší a komplikovanější než možnosti D a E (Výměna skla pouze). Výměna celého okenního rámu je i z hlediska památkové péče méně vhodným řešením, neboť tím dochází ke ztrátě původního historického okna. Z hlediska energetické náročnosti mají varianty B, C a D na spotřebu energie na vytápění zkoumaného objektu shodný výsledek. Varianta E vedla k nejnižší energetické náročnosti. Proto se doporučuje postupovat podle variant B a C pouze v případě, je-li to nezbytně nutné. Při úpravě (A) je zasažena jen dvorní fasáda. Historické obytné objekty toho typu jsou obvykle uspořádány do uzavřených dvorů, které nejsou viditelné z městských ulic. Význam dvorních fasád z hlediska historické hodnoty těchto objektů je považován za nízký a jsou přijatelné změny jejich vzhledu i náhrada původních oken moderními. Úpravou A se tedy snižuje spotřeba energie budovy o 3 %, aniž by byla ohrožena kulturní hodnota.

Vzhledem ke všem výše uvedeným bodům je v našem zkoumaném objektu nejvhodnější modifikace H (Výměna historických oken v severní fasádě + Výměna skla pouze v jednom z ráků dvojitých oken za dvojitě sklo v oknech historické jižní fasády). Výměna jednoduchého skla vnitřního rámu za dvojsklo v oknech historické fasády je zde výhodnější než výměna skla obou křídel nebo vnějšího křídla. Důvodem je, že úprava na vnějším křídle (Obr. 82), která změní původní poměr skla a rámu zmenšením plochy skla, bude viditelná z ulice a ovlivní charakter okna i historické fasády. Tato změna nepůsobí, pokud by byla provedena pouze na vnitřním okenním křídle. Úprava (H) snižuje energetickou spotřebu na vytápění ve studovaném objektu o 7.2 %.

5.5 FOTOVOLTAICKÉ PANELE NA STŘEŠE POPSANÉ BUDOVY

Z mnoha způsobů, jak minimalizovat spotřebu energie v historických budovách, jako je například větrání s rekuperací tepla (zpětné získávání tepla), tepelné čerpadlo nebo využití tepla ze sprchové vody atd., v této studii se zaměří na fotovoltaické panely integrovaných do pláště budovy. Střešní fotovoltaické krytiny jsou zatím považovány za nejběžnější řešení, protože poskytují nejlepší roční zisk energie. [55] K pozitivům této technologie se přidává i to, že umístění zdroje energie je většinou shodné s místem spotřeby energie. V důsledku toho nelze vyrobenou elektřinu pouze okamžitě použít k pokrytí potřeb budovy (např. osvětlení, spotřebiče, vytápění atd.), ale také vyměnit mezi budovami a elektrickou sítí v případě, že vyrobené elektřiny je více než spotřeba. Tato část studie navrhuje doplnění fotovoltaických tašek integrovaných do již existujících červených střešních tašek s tím, že fotovoltaické tašky lze zakoupit v různých barvách včetně červené, aby měly minimální vliv na celkový charakter objektu. Jak již bylo zmíněno, budova má šikmou střechu orientovanou k jihu pod úhlem 35° a čistou nezastíněnou plochu 112 m^2 (Obrázek 86).



Obr.86 - Navrhované umístění fotovoltaických panelů na střeše popsané budovy

5.5.1 OČEKÁVANÁ VÝROBA ENERGIE PANELŮ

Podle nástroje poskytnutého [73] se vypočítá odhadovaná výroba elektřiny ze slunečního záření s následujícími vstupy:

Zeměpisná šířka/délka: 50.072, 14.445

Použitá databáze: PVGIS-SARAH PV

Technologie: Crystalline silicon

Instalovaná fotovoltaika: (vypočteno jako: plocha*účinnost/100, účinnost = 16 %).

Ztráty v systému: 14 %

Úhel sklonu: 35°

Úhel azimutu: 0°

Výstupy simulace:

Roční výroba energie z fotovoltaiky: 18262,04 kWh

Roční ozařování: 1317.29 kWh/m²

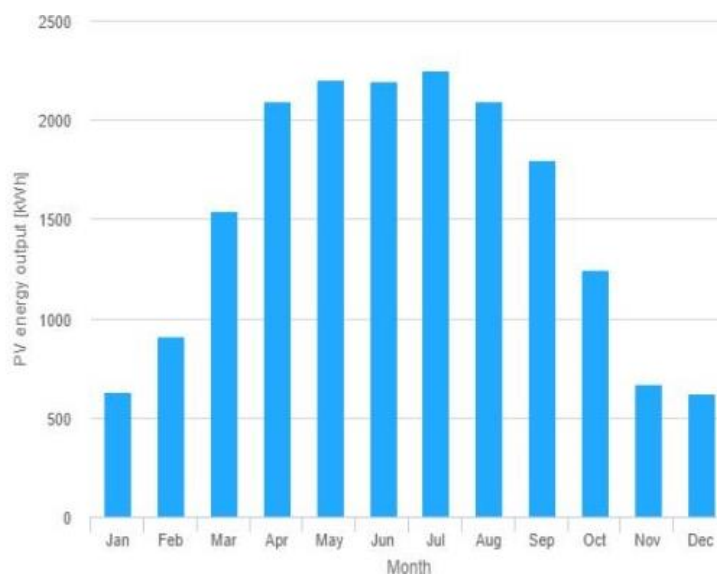
Měsíc	E_m	H(i)_m	SD_m
leden	628.7	41.3	144.0
Únor	910.1	60.2	238.8
Březen	1544.0	106.8	289.4
Duben	2092.4	150.4	324.5
Květen	2204.9	160.9	334.7
Červen	2199.3	163.9	143.4
Červenec	2250.1	171.0	224.9
Srpen	2094.5	159.5	210.6
Září	1799.4	130.9	233.9
Říjen	1249.4	87.8	300.9
Listopad	667.6	45.5	158.6
Prosinec	621.6	41.1	120.4

Tabulka 14 - Očekávána měsíční výroba energie a sluneční záření

E_m: Průměrná měsíční výroba elektřiny z daného systému [kWh].

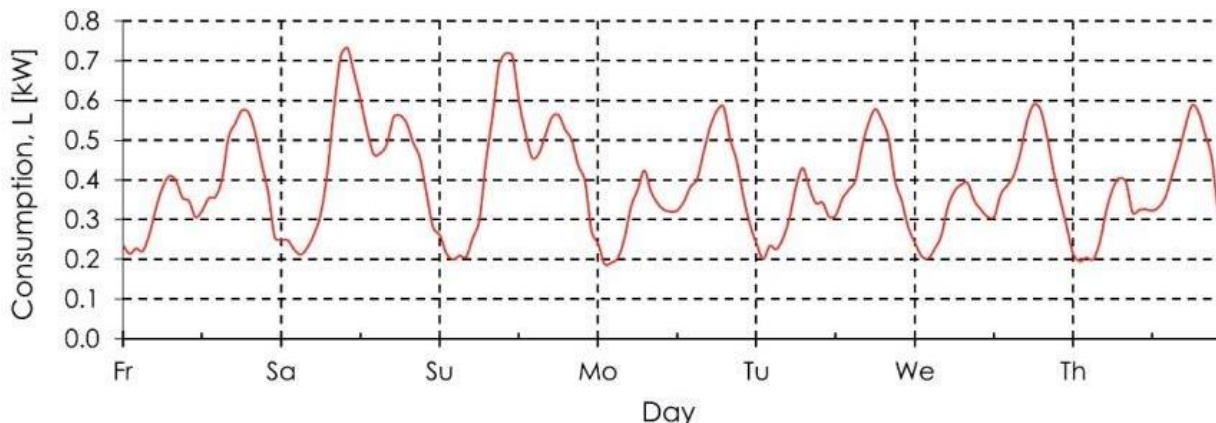
H(i)_m: Průměrný měsíční součet globálního ozáření na metr čtvereční, který obdrží moduly daného systému [kWh/m²].

SD_m: Směrodatná odchylka měsíční výroby elektřiny v důsledku meziročních výkyvů [kWh].



Obr. 87 - Měsíční očekávaná produkce energie z fotovoltaického systému

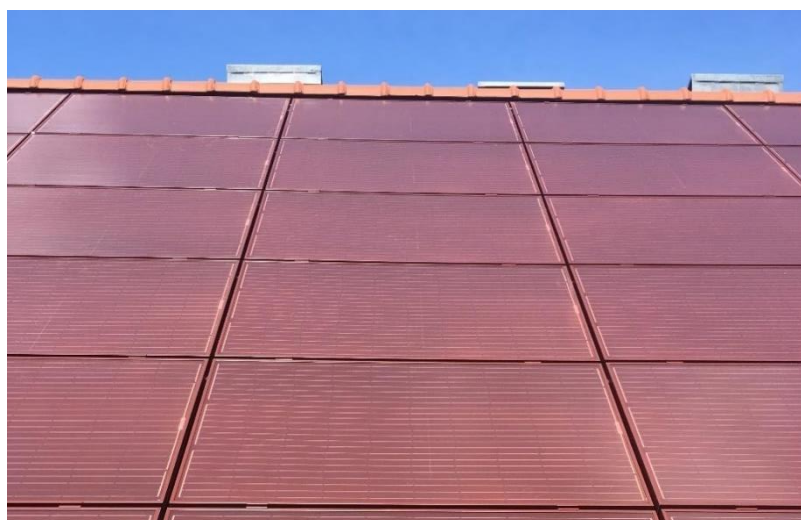
Pro zkoumání shody zatížení v kratším časovém kroku byla použita referenční studie [55]. Použity byly typické profily zatížení obytných budov pro analýzu poptávky po elektřině v hodinových časových krocích. (Obrázek 88).



Obr. 88 - Typický zátěžový profil spotřeby elektřiny pražské domácnosti [55]

V případě Vinohrad se 92 % elektřiny z fotovoltaiky spotřebuje přímo v budovách. Téměř veškerá vyrobená fotovoltaická energie může být využita lokálně v rámci bloku budovy a stačí v průměru na kompenzaci 32 % hodinové spotřeby elektřiny [55].

Mnozí autoři [74] uvádějí minimální množství ročního záření, které je nutné pro přínos fotovoltaického systému, jako konzervativní hodnotu 800 kWh/m² ročně, zatímco jiní ji definují jako procento horizontálního oslunění [75]. Vzhledem k technologickému pokroku a obrovskému poklesu nákladů na fotovoltaiku v posledním desetiletí je stále rozumná přibližně 58% nižší hodnota, např. 650 kWh/m² [76]. V případě, že je toto řešení použito v měřítku bloku budov, zejména ve čtvrtích s velkou hustotou chráněných budov, mohou fotovoltaické systémy fungovat jako jeden celek pro větší rovnováhu ve spotřebě/výrobě. Přebytková energie z jedné budovy může poskytnout energii jiné budově. Fotovoltaické dlaždice integrované do střechy lze zakoupit v různých barvách, což snižuje vliv na celkový vzhled budovy.



Obr. 89 - solární tašky integrované do pláště budovy v červené barvě. [77]

6 VÝSLEDKY A DISKUZE

V této kapitole je každé z výše uvedených opatření posouzeno po zohlednění dopadu na památkové hodnoty a nákladovou efektivitu. Vliv každého měření na kulturní hodnoty je roztržiděn na "velmi nízký vliv", " nízký vliv", "střední vliv" a "vysoký vliv". Na začátku kapitoly jsou uvedena základní kritéria, na kterých je tato kategorizace založena, a poté je uveden odhad rozpočtu potřebného na každou renovaci, očekávané úspory energie a předpokládaná doba návratnosti v tabulkách 15 a 16. následně jsou navrženy různé balíčky úprav z hlediska památkové péče a soukromého vlastníka objektu.

6.1 KATEGORIZACE NAVRHOVANÝCH OPATŘENÍ NA OBNOVU

6.1.1 VLIV NA KULTURNÍ HODNOTY

Jak již bylo uvedeno, kulturní význam a charakteristiky budovy, jak je definují orgány památkové péče v České republice, je historické fasády těchto budov pro svou jedinečně vysokou urbanistickou a architektonickou hodnotu. Fasády a střechy těchto budov jsou chráněny a změny jsou jen těžce tolerovány. Navrhovaná opatření budou roztržiděna podle jejich vlivu a zásahu do vzhledu historických fasád. Ochrana vzhledu fasády není při posuzování vlivu na kulturní dědictví jedinou součástí, která se bere v úvahu, ale také:

Kompatibilita navrhovaného materiálu s historickými materiály, pokud jde o jeho fyzikální a chemické vlastnosti či původ.

Zachování nebo odstranění (replikování) originálních prvků, jako jsou například ornamenty na fasádě nebo historické okenní rámy.

Dopad intervence na historickou strukturu z dlouhodobého hlediska. Ačkoli je hlavním chráněným prvkem těchto budov vzhled jejich vnějších fasád, je také důležité chránit historickou strukturu jako celek. Například přidáním vnitřní izolace by nebyl ovlivněn vzhled, ale mohlo by to vést k problémům s vlhkostí a degradaci historických materiálů, což je při této kategorizaci bráno v úvahu.

Velmi nízký vliv na kulturní hodnoty 0-2

Všechna opatření této kategorie se vůbec netýkají historické fasády, ale jiných částí pláště budovy, jako je střecha, strop nebo dvorní fasáda. Do klasifikace 1 spadají opatření, která na vzhledu historické fasády nic nemění, při kterých jsou použity kompatibilní materiály, nemají negativní vliv na historickou strukturu (na základě předchozích analýz v této studii), a nepočítají s likvidací původních předmětů. Do klasifikace 2 spadají opatření, která neovlivňují vzhled historické fasády ani konstrukce objektu a neobsahují likvidaci původních prvků, ale používají nekompatibilní materiály s historickými.

Nízký vliv na kulturní hodnoty 3-4

V této kategorii renovace zahrnují žádné nebo jen velmi malé změny vzhledu historické fasády, například opatření F1 (Výměna historických oken v severní fasádě dvorku za moderní okna) na ni nemá žádný vliv, ale jedná se o likvidaci historických oken dvorní fasády, a proto nepatří do kategorie velmi nízkého vlivu. Opatření E3 se týká pouze vnitřního rámu oken, při této renovaci se obvod skla zmenší o 1 cm z každé strany, zatímco vnější rám zůstane původní. Mírně to ovlivní vzhled fasády, ale celkový charakter objektu zůstane zachovaný, bez výrazných architektonických změn.

Vliv středního rozsahu na kulturní hodnoty 5-6

Renovace tepelnou omítkou může zahrnovat replikaci, tedy vytvoření kopie původních ornamentů, což znamená likvidaci originálních řemeslných prvků historické fasády. U kvalitní repliky se očekává, že nedojde ke změně vzhledu. U velmi dekorované fasády by byl tento zásah přesto zařazen do kategorie s vysokým vlivem na kulturní hodnotu z důvodu ztráty autenticity a původní řemeslné a rukodělné výroby. Fasáda studijního objektu je ale, jak bylo uvedeno dříve, poměrně jednoduchá, bez větších ornamentů ani zvláštních uměleckých děl. Proto za předpokladu, že repliky jsou provedeny ve vysoké kvalitě, jsou zásahy A1, A2 a A4 považovány za zásahy se středním vlivem na památkovou hodnotu. Při těchto úpravách se používá kompatibilních materiálů na bázi vápna, takže bez negativního vlivu na historickou strukturu.

Přestože intervence vnitřního zateplení nemají vliv na vzhled historické fasády, jsou přesto z různých důvodů klasifikovány jako středního vlivu. Jak bylo numericky simulováno dříve, by mohlo dojít ke kondenzaci a případně k degradaci historického materiálu dřevěných hlavic trámů. Proto, přestože jsou použité materiály kompatibilní s historickými a hodnotná fasáda zůstává neporušená, jsou renovace považovány za renovace se středním vlivem na kulturní hodnotu. Například úpravy B5 (tepelná izolace na vnitřní straně historické fasády, 10cm minerální kamenné vata) a B6 (tepelná izolace na vnitřní straně historické fasády, 5cm minerální kamenné vata) jsou provedené z materiálů, které jsou kompatibilní s historickými, ale jak bylo vyhodnoceno v numerické simulaci, celkový obsah vody v konstrukci stěny se v důsledku těchto úprav každoročně zvyšuje, a proto jsou klasifikovány jako středního vlivu. Při renovaci B4 je použitý materiál nekompatibilní s historickými materiály (vakuové izolační panely). Je třeba vzít na vědomí, že jeho hygrotermické vlastnosti lze ve skutečnosti jen velmi těžko předvídat, už jediný hřebík do zdi může způsobit výraznou změnu vlastností a výkonu. V takových objektech není snadné perfektně realizovat vakuové izolační panely kvůli topným zařízením, potrubí a změně tloušťky stěny, proto nelze dokonalé provedení garantovat. Při hodnocení vlivu na kulturní hodnotu se berou v úvahu možné nedokonalosti provedení, zejména pokud se jedná o materiál náročný na realizaci u tohoto typu staveb a pokud jakákoli nedokonalost může mít za následek dlouhodobé poškození historické struktury.

Vysoký vliv na kulturní hodnoty 7-10

U opatření v této klasifikaci se neočekává, že by změnila charakter nebo vzhled historické fasády, ale naruší její autenticitu nahrazením původních prvků replikami, např. výměnou oken chráněné fasády v opatřeních E1 a E2 nebo u opatření A3, které zahrnuje likvidaci původních ornamentů a zároveň používá nekompatibilní materiál. Solární panely mění charakter a vzhled historických střech, které mají tradiční červené keramické tašky, proto jsou také považovány za opatření s vysokým vlivem na kulturní hodnotu.

6.1.2 NÁKLADY NA STAVEBNÍ ÚPRAVY

U každého druhu renovace je v této studii uveden potřebný rozpočet (tabulka 15). Uvedené náklady zahrnují cenu samotného materiálu a cenu provedení jakožto cenu náradí nebo dalších potřebných pomůcek k provedení a mzdu pro stavební dělníky. Ceny jsou získány na podzim roku 2023 od dodavatelů na evropském trhu nebo od statistického úřadu v české republice, který vydal „Indexy cen stavebních prací, indexy cen stavebních děl a indexy nákladů stavební výroby - čtvrtletní časové řady - 2. čtvrtletí 2023“[78]. Mezi materiály byly navrženy také některé nové nákladné varianty jako aerogel, který se vyrábí ve Švýcarsku ve formě tepelné omítky Fixit 222. Pro účely porovnání jsou uvedeny i ostatní dostupné a rozšířené materiály jako EPS nebo minerální vlna. V nákladech nejsou zahrnuty ceny za přípravu povrchů ani za likvidaci starých materiálů. Nejsou také zahrnuty náklady na dopravu materiálů. Ceny se mohou lišit v závislosti na mnoha faktorech;

kvalita nakupovaného materiálu
dodavatele a vzdálenosti transportu materiálu
mzdy stavebních dílen
fyzický stav, ve kterém se stavba nachází
další faktory, jako je inflace nebo zvýšené ceny energií.

Proto je celková cena (po sečtení ceny materiálu + mzdy + ostatních potřebných nástrojů a materiálů na realizaci + povrchových oprav) uvedena v rozsahu. Ceny oken jsou získávány přímo od poskytovatelů. Ceny zahrnují cenu nového okna nebo repliky, demontáž starých oken a likvidaci, dopravu nových oken od českých poskytovatelů nebo výrobců a smontování na místě. Cena fotovoltaického systému zahrnuje cenu fotovoltaických panelů + síťového měniče + náklady konstrukce pro panely na šikmou střechu + kabely a příslušenství + mzdy. Navrhované fotovoltaické panely jsou připojeny k síti bez baterie.

6.1.3 NÁVRATNOST INVESTICE

Kalkulace návratnosti je prosté vydělení nákladů na renovaci ušetřenými penězi za vytápění za rok. Předpokládá se, že majitel na renovaci neobdržel žádnou dotaci. Roční úspora peněz za vytápění se odvíjí od nákladů za energie, které se v posledních letech rychle a výrazně mění. V této kalkulaci se počítá při vytápění plynem. V současné době (podzim 2023) se cena 1 kWh zemního plynu pohybuje kolem 3 Kč. Návratnost fotovoltaických panelů je vypočtena na základě cen panelů do podzimu

2023 a cen elektřiny, v dané době 5,9 Kč/KWh. Predikce cen energií je mimo rozsah této práce, dá se ale očekávat, že porostou rychleji než ceny materiálů, proto konečná návratnost může být ve skutečnosti kratší. Doby návratnosti investice jsou uvedené v tabulce 16, ve které je uvedena životnost stavebních konstrukcí podle [79].

Průměrný součinitel prostupu tepla původní budovy před úpravou obálky je $U_{em}=1,07 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ a spotřeba tepla na vytápění je $152 \text{ kWh}/(\text{m}^2\cdot\text{a})$. V dalších dvou tabulkách je vyhodnocen vliv každou stavební úpravu na kulturní hodnotu a na spotřebu energie. Je také vypočítán rozpočet a doba návratnosti každé renovace.

Odkaz	POPIS OPATŘENÍ	SPOTŘEBA ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ kWh/(m ² .a)	VLIV NA KULTURNÍ HODNOTU	ROZSAH ROZPOČTU NA RENOVACI 1000 Kč
HISTORICKÁ FASÁDA – TEPELNĚ IZOLAČNÍ OMÍTKA NA VNĚJŠÍ STRANĚ				
A1	4 cm vápenný pucolán	150	Střední vliv 5	280-350
A2	4 cm vápenného perlitu	147	Střední vliv 5	280-350
A3	4 cm aerogel, FIXIT 222	141	Vysoký vliv 7	1 100-1 300
A4	4 cm vápenná + aerogel v poměru 1:1	145	Střední vliv 5	1 250-1 450
HISTORICKÁ FASÁDA – TEPELNÁ IZOLACE NA VNITŘNÍ STRANĚ				
B1	4 cm vápenný pucolán	150	Velmi nízký vliv 1	250-320
B2	10 cm Kalcium-silikát	146	Střední vliv 5	700-800
B3	5 cm Kalcium-silikát	148	Střední vliv 5	450-550
B4	2,5 cm vakuové izolační panely	145	Střední vliv 5	900-1 100
B5	10 cm minerální kamenné vata	145	Střední vliv 5	300-400
B6	5 cm minerální kamenné vata	148	Střední vliv 5	280-350
DVORNÍ FASÁDA – TEPELNĚ IZOLAČNÍ OMÍTKA NA VNĚJŠÍ STRANĚ				
C1	4 cm vápenný pucolán	150	Velmi nízký vliv 1	400-450
C2	4 cm vápenného perlitu	147	Velmi nízký vliv 1	400-450
C3	4 cm aerogel, FIXIT 222	139	Velmi nízký vliv 2	1 700-1 900
C4	4 cm vápenná + aerogel v poměru 1:1	144	Velmi nízký vliv 1	1 850-2 050
DVORNÍ FASÁDA – TEPELNÁ IZOLACE NA VNĚJŠÍ STRANĚ				
D1	10 cm EPS	126	Velmi nízký vliv 2	450-500
D2	10 cm Kamenné vlny	137	Velmi nízký vliv 1	550-600
D3	10 cm PIR	123	Velmi nízký vliv 2	650-700
D4	15 cm PIR	121	Velmi nízký vliv 2	750-800
OKNA HISTORICKÉ FASÁDY				
E1	Výměna vnějšího rámu + skla oken dvojitého rámu (replika)	144	Vysoký vliv 8	880-950
E2	Výměna vnitřního rámu + skla oken s dvojitým rámem (replika)	145	Vysoký vliv 7	880-950

E3	Výměna skla pouze vnitřního rámu	146	Nízký vliv 4	350-390
E4	Výměna skel obou rámu	144	Střední vliv 5	680-750
OKNA DVORNÍ				
F1	Výměna historických oken za moderní s dvojitým zasklením	144	Nízký vliv 3	350-390
STŘECHA (podkroví je zde považováno za vytápěný obytný prostor, celková energeticky vztažná plocha budovy je o 280 m² více než u ostatních renovací)				
G1	15 cm Kamenné vlny	96	Velmi nízký vliv 1	600-650
G2	25 cm Kamenné vlny	94	Velmi nízký vliv 1	750-850
G3	30 cm EPS	93	Velmi nízký vliv 2	550-600
G4	25 cm PIR	92	Velmi nízký vliv 2	850-950
STROP (v případě, že podkroví nebude vytápěné)				
H1	20 cm Kamenné vlny	137	Velmi nízký vliv 1	320-400
H2	20 cm PIR	135	Velmi nízký vliv 2	420-480
H3	30 cm PIR	134	Velmi nízký vliv 2	550-650
PODLAHA PŘÍZEMÍ				
I1	15 cm Kamenné vlny	145	Velmi nízký vliv 1	420-480
I2	15 cm PIR	143	Velmi nízký vliv 2	450-550
I3	15 cm EPS	144	Velmi nízký vliv 2	280-350
I4	20 cm PIR	143	Velmi nízký vliv 2	500-600
VYUŽÍVÁNÍ UDRŽITELNÉ ENERGIE				
J1	Solární panely	-	Vysoký vliv 9	350-400

Tabulka 15 - Porovnání jednotlivých úprav z hlediska energetické potřeby, kulturního a ekonomického

OPATŘENÍ	ROČNĚ UŠETŘENÁ ENERGIE (kWh)	ROČNĚ UŠETŘENÉ PENÍZE (kč)	DOBA NÁVRATNOSTI (let)	ŽIVOTNOST STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ A KOMPONENTŮ (let)
A1	1 967	5 901	53	40
A2	4 917	14 751	21	
A3	10 817	32 451	36	
A4	6 884	20 652	65	
B1	1 967	5 901	48	40
B2	5 900	17 700	42	35
B3	3 934	11 802	42	
B4	6 884	20 652	48	
B5	6 884	20 652	16	
B6	3 934	11 802	26	
C1	1 967	5 901	67	
C2	4 917	14 751	28	
C3	12 784	38 352	47	
C4	7 867	23 601	82	
D1	25 518	76 554	6	30
D2	14 751	44 253	13	
D3	28 517	85 551	8	
D4	30 485	91 445	9	
E1	7 867	23 601	38	50
E2	6 884	20 652	43	25
E3	5 900	17 700	21	
E4	7 867	23 601	30	
F1	7 867	23 601	16	
G1	28 190	84 570	7	30
G2	30 717	92 151	9	
G3	31 980	95 940	6	
G4	33 244	99 732	9	
H1	14 751	44 253	8	30
H2	16 717	50 151	9	
H3	17 701	53 103	11	
I1	6 884	20 652	22	30
I2	8 850	26 550	19	
I3	7 867	23 601	14	
I4	8 850	26 550	21	
J1	18 262	54 786	5	25 (výkon neustále klesá)

Tabulka 16 - Doba návratnosti každé renovace

6.1.4 NAVRHOVANÉ BALÍČKY STAVEBNÍCH ÚPRAV

Jak už bylo uvedeno, opatření na obnovu uvedená v tabulce 15 byla zkoumána individuálně – podle jednotlivých případů. Standardně se doporučuje, aby se renovační opatření zvažovala v balíčcích nebo souborech kompatibilních řešení. Následuje návrh pěti různých balíčků renovací. Tři balíčky jsou sestaveny z hlediska ochrany kulturních hodnot: S nízkým, středním a vysokým vlivem na kulturní hodnotu. Balíček s nízkým vlivem na kulturní hodnotu se skládá z jednotlivých opatření, která mají minimální nebo žádný dopad na kulturní hodnoty. Balíček středního vlivu se skládá z jednotlivých opatření, která mají na památkovou hodnotu střední nebo mírný vliv. Třetí balíček zahrnuje mimo jiné jednotlivá opatření, která jsou z hlediska dopadu na kulturní hodnoty mírně přijatelná. Čtvrtý a pátý balíček jsou sestaveny z pohledu vlastníka budovy. Čtvrtý balíček zahrnuje opatření s nejkratší dobou návratnosti. Pátý balíček je navržen pro případ, kdy je budova obydlená a není možné provádět například odstranění podlahy v přízemí nebo přidání vnitřní izolace.

Balíček s nízkým vlivem na kulturní hodnotu (0-3)

Skládá se z následujících úprav:

B1: Vápenná omítka (4 cm vápenný pucolán) na vnitřní straně historické fasády

D2: 10 cm Kamenné vlny na vnější straně dvorní fasády

F1: Výměna historických oken dvorní fasády za moderní s dvojitým zasklením

G2: Tepelná izolace na střechu (25 cm Kamenné vlny)

I1: Tepelná izolace do přízemí (15 cm Kamenné vlny)

Po provedení uvedených opatření vychází měrná spotřeba tepla na vytápění objektu na 61 kWh/(m².a). Průměrný součinitel prostupu tepla budovy se vypočítá $U_{em}=0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Odpovídá to snížení spotřeby energie na vytápění přibližně o 48.4%, viz tabulka. 17. Toto snížení spotřeby energie přináší dodatečnou výhodu malého nebo žádného dopadu na kulturní hodnoty s tím, že se vůbec nedotýká žádného z prvků historické fasády. Celková energeticky vztažná plocha budovy včetně podkroví: 1263,4 m². Doba návratnosti je 12 let. Je důležité si uvědomit, že výpočet doby návratnosti nezohledňuje náklady na údržbu. Například je tady doba návratnosti omítky delší než předpokládaná doba životnosti.

Balíček se středním vlivem na kulturní hodnotu (0-5)

Skládá se z následujících úprav:

A4: Tepelně izolační omítka (4 cm aerogel + vápenná) na vnější straně historické fasády

B6: 5 cm minerální kamenné vata na vnitřní straně historické fasády

D3: 10 cm PIR tepelná izolace na dvorní fasádu

E3: Výměna skla pouze vnitřního rámu oken historické fasády

F1: Výměna historických oken dvorní fasády za moderní s dvojitým zasklením

G4: 25 cm PIR na střechu

I2: Tepelná izolace do přízemí 15 cm PIR

Po provedení uvedených opatření bude měrná potřeba tepla na vytápění objektu 43 kWh/(m².a). Průměrný součinitel prostupu tepla budovy se vypočítá $U_{em}=0,43$ W/(m²K). Odpovídá to snížení spotřeby energie na vytápění přibližně o 63,6 %, viz tabulka. 17. Celková energeticky vztažná plocha budovy včetně podkroví: 1263,4 m². Doba návratnosti je 16 let. Je důležité si uvědomit, že výpočet doby návratnosti nezohledňuje náklady na údržbu. Například je tady doba návratnosti omítky delší než předpokládaná doba životnosti, stejně jako v předchozím balíčku.

Balíček s vysokým vlivem na kulturní hodnotu (0-10)

Skládá se z následujících úprav:

A3: Tepelná omítka (4 cm aerogel) na vnější straně historické fasády

B4: 2,5 cm vakuové izolační panely na vnitřní straně historické fasády

D3: 10 cm PIR tepelná izolace na dvorní fasády

E1: Výměna vnějšího rámu + skla oken dvojitého rámu (replika)

F1: Výměna historických oken dvorní fasády za moderní s dvojitým zasklením

G4: 25 cm PIR na střechu

I2: Tepelná izolace do přízemí 15 cm PIR

Možná další úprava je J1: Fotovoltaické panely na střechu

Po provedení uvedených opatření se měrná potřeba tepla na vytápění objektu vypočítá na hodnotu 39 kWh/(m².a), není v tom shrnutí vliv fotovoltaické panely. Průměrný součinitel prostupu tepla budovy se vypočítá $U_{em}=0,38$ W/(m²K). Odpovídá to snížení spotřeby energie na vytápění přibližně o 67%, viz tabulka. 17. Celková energeticky vztažná plocha budovy včetně podkroví: 1263,4 m². Doba návratnosti je 18 let. Tento balíček nabízí nejnižší dosažitelnou spotřebu energie na vytápění této budovy. Doba návratnosti v případě, že bychom přidali opatření J1 k předchozím uvedeným opatřením, je 15 let. Cena vakuových izolačních panelů je tak vysoká, že jejich předpokládaná životnost není dostatečně dlouhá na to, aby se investované peníze vrátily. Navíc, jak již bylo zmíněno, je tento materiál velmi citlivý na poškození, což může způsobit, že jeho životnost bude ve skutečnosti kratší.

Balíček, který nabízí nejkratší dobu návratnosti

Skládá se z následujících 6 úprav:

B5: 10 cm minerální kamenné vata na vnitřní straně historické fasády

D1: 10 cm EPS na dvorní fasádu

E3: Výměna skla pouze vnitřního rámu oken historické fasády

F1: Výměna historických oken dvorní fasády za moderní s dvojitým zasklením

G3: 30 cm EPS na střechu

I3: 15 cm EPS do přízemí

Možná další úprava je J1: Fotovoltaické panely na střechu

Po provedení uvedených opatření se měrná potřeba tepla na vytápění objektu vypočítá na hodnotu 44 kWh/(m².a). Průměrný součinitel prostupu tepla budovy se vypočítá $U_{em}=0,44$ W/(m²K). Odpovídá to snížení spotřeby energie na vytápění přibližně o 62,8 %, viz tabulka. 17. Celková energeticky vztažná plocha budovy včetně podkroví: 1263,4 m². Doba návratnosti je 9 let. Tento balíček nabízí nejkratší dobu návratnosti. Všechny opravy obsažené v tomto balíčku představují nízký vliv na kulturní hodnotu s výjimkou opravy B5, která má střední vliv. Všechny původní prvky historické fasády jako ornamenty a okna jsou zachovány. Jedinou změnou je mírná úprava vnitřního rámu oken. Fotovoltaické panely na střeše se jeví pro tuto budovu jako vhodná investice. Doba návratnosti v případě, že bychom přidali opatření J1 k předchozím uvedeným opatřením, je 6.5 let.

Návratnost opatření tepelných omítek (skupiny A+C) je ve srovnání s jinými renovací poměrně dlouhá a v mnoha případech je delší než očekávaná životnost. Do tohoto typu úprav se doporučuje investovat především tehdy, když je originální omítka ve špatném stavu a stejně vyžaduje výměnu nebo velkou opravu. Návratnost zateplení stropu je poměrně rychlá a rozpočet není v porovnání s ostatními opravy tak vysoký. Nevýhodou je, že podkroví zůstává neobydlený. Zateplení střechy přidává výhodu přípravy prostoru k obývání (pod střechu studovaného objektu se vejdou 2 byty 3kk). Oprava B4, vakuové izolační panely na vnitřní straně historické budovy, vyžaduje poměrně velký rozpočet a dlouhou dobu návratnosti, ale ve srovnání s B2 nebo B5 mohou ušetřit až 2 m² vnitřní plochy. některé investice jako D1 (10 cm EPS na dvorní fasádu), G3 (30 cm EPS na střechu) nebo F1 (Výměna historických oken dvorní fasády za moderní) mají životnost mnohem delší než doba návratnosti, což z nich pravděpodobně činí pro investory výhodnější volbu. Tyto úpravy jsou z hlediska ochrany kulturních hodnot velmi přijatelné.

Balíček vhodný v případě, že je budova obydlená

Skládá se z následujících úprav:

D2: 10 cm Kamenné vlny na vnější straně dvorní fasády

E3: Výměna skla pouze vnitřního rámu oken historické fasády

F1: Výměna historických oken dvorní fasády za moderní s dvojitým zasklením

G2: Tepelná izolace na střechu (25 cm Kamenné vlny)

J1: Fotovoltaické panely na střechu

Po provedení uvedených opatření se měrná potřeba tepla na vytápění objektu vypočítá na hodnotu 59 kWh/(m².a). Průměrný součinitel prostupu tepla budovy se vypočítá $U_{em}=0,64$ W/(m²K). Odpovídá to snížení spotřeby energie na vytápění přibližně o 50,1 %, viz tabulka. 17. Celková energeticky vztažná plocha budovy včetně podkroví: 1263,4 m². Doba návratnosti je 10 let. Doba návratnosti v případě, že bychom přidali opatření J1 k předchozím uvedeným opatřením, je 7 let.

Balíček	Potřeba energie na vytápění kWh/(m ² .a)	Snížení spotřeby energie (%)	Vliv na kulturní hodnotu	Doba návratnosti (let)
Bez úprav-původní stav historické budovy	152	-	-	-
Balíček s nízkým vlivem na kulturní hodnotu	61	48.4 %	0-3 velmi přijatelné	12
Balíček se středním vlivem na kulturní hodnotu	43	63.6 %	0-5 mírně přijatelný	16
Balíček s vysokým vlivem na kulturní hodnotu	39	67 %	0-10 stěží či nikdy přijatelné	18
Balíček, který nabízí nejkratší dobu návratnosti	44	62.8 %	0-5 velmi nebo mírně přijatelné	9
Balíček vhodný v případě, že je budova obydlená	59	50,1 %	0-3 velmi přijatelné	10

Tabulka 17 - Porovnání výsledků renovačních balíčků

DISKUZE

Diskuse o způsobu hodnocení kulturní hodnoty budovy

Zachování historických prvků a historické hodnoty je v této studii prioritou při opatřeních za účelem zvýšení energetické účinnosti historických budov. V práci bylo použito hodnocení, které vychází z požadavků pražských památkových úřadů. Posouzení vlivu stavební úprav na památkovou hodnotu je založeno výhradně na osobní interpretaci uvedených kulturních hodnot úřadů, a je tedy subjektivní.

Požadavky památkové péče se zaměřují na urbanistickou hodnotu obytných objektů z 19. století v Praze. Proto se zajímají především o vzhled historických fasád, materiály a řemeslné zpracování použité při obnově těchto fasád, autenticitu jejich prvků jako oken a ornamentů. Zatímco vzhled fasády je pro historickou konzervaci nejhodnotnější částí, je tedy přijatelné, aby se na zachování struktury nebral ohled? Jak hodnotit stavební úpravy, které nemají vliv na vzhled, autenticitu ani materiály historické fasády, ale představují potenciální ohrožení životního cyklu konstrukčních prvků a materiálů?

V této práci je zohledněna struktura těchto budov jako součást kulturní hodnoty. Ochrana jejich konstrukce značí prodloužení celkové životnosti budovy a ochranu původních materiálů a řemeslného zpracování. I když renovace neovlivňuje vzhled fasády, považuje se v této studii za negativní vliv na kulturní hodnotu, pokud je v rozporu se zachováním struktury budovy.

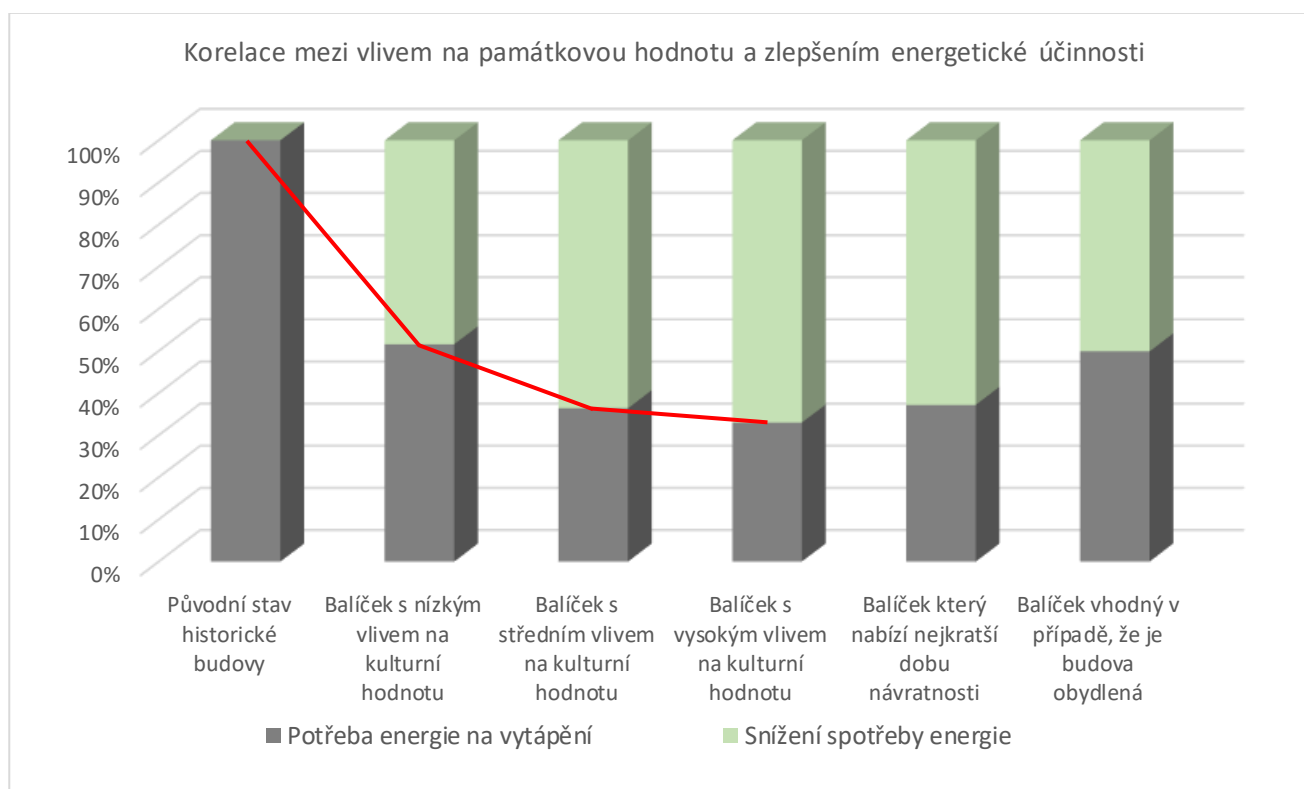
Opatření, při kterých by mohlo docházet k ohrožení stavby, by mohly znamenat, že v dlouhodobém důsledku mohou být fasády těchto budov dobře zachovalé, zatímco konstrukce za nimi trpí hnilobou dřevěných trámů, což může ovlivnit integritu a stabilitu celé konstrukce a jejíž oprava je často obtížná a nákladná. Pokud by si hniloby trámů nikdo nevšiml nebo ji dlouho ignoroval, může dojít k trvalému poškození konstrukce nebo k pádu. Přestože fasády nadále zachovávají stejný vzhled, autenticitu a charakter, kulturní hodnota budovy, která má všechny původní prvky a materiály dobře zachované, je vyšší než kulturní hodnota budovy s historickou fasádou, která zakrývá převážně moderní stavbu. Proto se v této studii doporučuje před rozhodnutím o renovaci prozkoumat vliv renovace na konstrukční prvky budovy, a to především při renovaci přidáním izolace na vnitřní stranu vnějších stěn. Tento pohled, jak je zmíněno výše, je subjektivní a široce diskutabilní. Různé úhly pohledu na problematiku představují odlišné způsoby hodnocení vlivu renovace na kulturní hodnotu, než jaké byly uvažovány v této studii.

Další diskuse se týká kulturní hodnoty prvků nebo materiálů, které byly do budovy v průběhu let přidány nebo změněny. Jaký význam mají tyto prvky z hlediska kulturní hodnoty? V rámci této studie byl objekt analyzován ve svém původním historickém stavu. Zatímco v mnoha jiných scénářích objekt prošel velkými rekonstrukcemi, které mohou zasáhnout materiály nebo někdy i tvary nějakých prvků, například jiný materiál vnější omítky nebo výměna okna za dveře a podobně. Lze argumentovat, že zachování později přidávaných materiálů není při budoucích rekonstrukcích nejdůležitější. Důležitým aspektem, který je třeba zachovat, může být v tomto případě estetika jako design a forma. Jak by se z hlediska ochrany historické hodnoty v tomto případě posuzovalo použití moderních materiálů, jako je aerogel na tepelnou omítku? Lze také argumentovat, že je v tomto případě vhodnější použít původní historické materiály, jako je dřevo a vápenná omítky než materiály, které byly přidány později, jako je například cement. Tady taky při plánování renovace významnou roli představuje způsob hodnocení vlivu stavební úpravy na kulturní hodnotu.

Je důležité zmínit, že hodnocení historické hodnoty budovy je u každé budovy jiné. Například některé objekty mají velmi zdobené a ornamentální fasády, které jsou v dobrém fyzickém stavu. Provedení tepelně izolační omítky by v takovém případě bylo považováno za renovaci s vysokým vlivem na kulturní dědictví, než je hodnoceno v případě objektu této práce. U jednoduchých fasád bez ornamentů nebo zvláštních uměleckých děl by stejná úprava mohla být považována za renovaci se středním vlivem.

Korelace mezi vlivem na památkovou hodnotu a zlepšením energetické účinnosti

Jak je z Obrázku 90 patrné, sklon přímky spojující původní budovu s jednotlivými balíčky renovací představuje dodatečný přínos opatření. Úspory energie o přibližně 48 %, se dosáhne balíček s lehkým vlivem na kulturní hodnotu, dalších 15 % úspor se dosáhne balíček se středním vlivem, zatímco balíček se velkým vlivem se dosáhne pouze o 4 % více úspor. Nejstrmější sklon je mezi balíčkem s nízkým vlivem a původním stavem budovy. Tedy míra, o kterou balíček s nízkým vlivem na kulturní dědictví snižuje spotřebu energie na vytápění, je nejvyšší. Sklon přímky se snižuje s rostoucím vlivem renovačního balíčku na kulturní bohatství.



Obr. 90 - Korelace mezi vlivem na památkovou hodnotu a zlepšením energetické účinnosti

Balíček s nízkým dopadem na historické budovy nemá vliv na vnější vzhled budovy ani na konstrukce. Původní povrchy a materiály exteriéru, a všechny historické prvky jsou zachovány, zatímco potřeba energie je o 48,4 % menší. Balíček s největším vlivem na kulturní dědictví, na druhé straně, nepřináší velký přínos pro úspory energie. Takové relativně malé zlepšení energetické náročnosti není dostatečným důvodem pro tak vysoký dopad na kulturní hodnotu. K tomu je třeba dodat, že balíček se velkým vlivem má nejdelší návratnost. Lze tedy konstatovat, že energetické účinnosti lze dosáhnout, aniž by došlo k výraznému narušení kulturních hodnot.

Další bod diskuse se dotýká postupu uvedeného v normě SS-EN 16883:2017 pro rozhodovací proces pro zlepšení energetické náročnosti kulturně cenných budov. V uvedené normě se doporučuje zkoumat účinek jednotlivých opatření na energetickou náročnost a vyhodnotit je z hlediska kulturní hodnoty. Doporučuje se pak sestavit

balíčky měření, porovnat je a následně vybrat nejvhodnější renovaci. Přínos tohoto postupu spočívá v tom, že představuje rozhodovací metodu, která zajišťuje ochranu kulturní hodnoty budovy během zlepšení energetické náročnosti historických objektů. Nevýhodou je časová náročnost a potřeba speciální odborné konzultace, což vede ke skutečnosti, že se v praxi norma často nepoužívá. Při energetické obnově historických budov se doporučuje postupovat podle metody popsané v normě, a proto za účelem větší praktičnosti a rozšíření se navrhuje doplnit metodický plán uvedený v normě o doporučení speciální pro obnovu obytných budov z 19. století tohoto typu. Na základě uvedené normy (Obr 1) a analýzy provedené v této práci je navržen metodický plán energetické renovace městských obytných historických budov z 19. století:

Postup

Zahájení procesu plánování → Průzkum a hodnocení budov → Stanovení cílů → Rozhodování o tom, zda je nutné zlepšit energetickou náročnost → Posouzení a výběr opatření pro energetickou renovaci:

- Sestavení dlouhého seznamu opatření
- Vyloučení nevhodné opatření:
k tomuto seznamu opatření patří, mimo renovací, které nejsou z hlediska kulturní rezervace přijatelné, opatření, které jsou rizikem pro historickou strukturu. Pozornost je třeba věnovat zejména úpravě zateplení na vnitřní straně fasády (úpravy skupiny B). Proto se zde pro rozhodnutí doporučuje posoudit hygrotermické chování konstrukce po úpravě.
Doporučuje se také vyloučit opatření, které jsou obzvláště náročné na provedení nebo údržbu v případě, že není zajištěno vysoce kvalitní provedení. To zejména v případech, kdy problémy s jejich provedením a údržbou by mohlo vést k ohrožení historické struktury.
Doporučuje se vyloučit opatření jako vytváření replik oken nebo ornamentů (viz úpravy skupiny B a E), pokud nejsou původní prvky ve velmi špatném stavu, který nelze opravit. Tyto renovace kromě toho, že poškozují autenticitu budovy, mají u studované budovy v této práci delší dobu návratnosti než oprava stávajícího prvku. Mají delší dobu návratnosti než většina ostatních studovaných renovací, zatímco jiné levnější renovace představují vyšší efekt na energetickou účinnost objektu.
- Posouzení zbývajících opatření:
Doporučuje se nejdříve uvažovat o renovacích, jako je zateplení dvorní fasády a střechy nebo výměna oken na dvorní fasádě za moderní (opatření skupin D, F a G). Tyto změny jsou z hlediska ochrany kulturního dědictví velmi přijatelné. Jak také vyplynulo z této studie, tyto jednotlivé renovace vedou k nejvyššímu dopadu na energetickou náročnost a mají relativně krátkou dobu návratnosti ve srovnání se všemi ostatními analyzovanými úpravami. Zateplení střechy nebo stropu souvisí s tím, zda bude podkroví předěláno na bytové jednotky, nebo ne.

Další úpravou analyzovanou v této studii s velmi malým dopadem na kulturní hodnotu, ale mírně delší dobou návratnosti než předchozí stavební úpravy, je zateplení podlahy přízemí. Ukazuje se v té studii, že má podobný vliv na energetickou účinnost budovy jako přidání vnitřní izolace nebo vytvoření replik (skupina A, B), ale s kratší dobou návratnosti a bez rizika ztráty autenticity a bez rizika kondenzace a poškození historické konstrukce.

Na základě této studie se doporučuje zvážit renovaci historické fasády jako až poslední variantu. doporučuje se také, jak již bylo zmíněno, zajistit, že provedení proběhne na vysoké úrovni a nedojde k ohrožení historické struktury. Na základě posouzení studovaného objektu se doporučuje zvážit výměnu skel vnitřního rámu oken jako jednu z prvních renovací na historické fasádě. To v případě, že nebude nutné provádět žádné zásadní změny původního rámu. Úpravy přidáním vnitřní izolace je následující volbou, doplněná hydrotermickou analýzou. Posledním řešením, jsou tepelné omítky nebo repliky oken. Přicházejí v úvahu pouze v případě, že původní prvky jsou ve velmi špatném stavu.

- Výběr balíčků renovačních opatření
- Posouzení balíčků podle cílů
- Rozhodnutí

Studie jednoho objektu nestačí k vytvoření spolehlivých doporučení k plánování a rozhodnutím při energetických renovacích historických budov. Čím více se posoudí a porovná případů, tím podrobnější bude ten doporučený plán renovace. Vytvoření takového plánu majitelům a inženýrům zjednoduší průběh renovace, a hlavně zajistí ochranu historické budovy a hodnotu v průběhu renovace.

Jaké je ideální řešení?

Optimální řešení pro zkoumaný objekt, pokud jde o hlediska péče o kulturní hodnoty, by tedy mělo být mezi balíčkem nízkým a středním vlivem, nebo jako kombinace obou, v závislosti na tom, který přístup se při posuzování kulturních hodnot použije. Ideální renovace z ekonomického hlediska, popsané v balíčku s nejkratší dobou návratnosti, mají velmi nízký až nízký dopad na kulturní hodnotu a ušetří až 62,8 % energie potřebné na vytápění budovy. V posuzovaném objektu největší zájem investora je v souladu s ochranou kulturního dědictví a výrazně snižuje spotřebu energie.

Z energetického hlediska je ideálním řešením balíček s vysokým dopadem na kulturní hodnotu. Tento balíček ušetří až 67 % energie spotřebované v budově, ale je nejméně vhodný z hlediska ekonomické investice a ochrany památkové hodnoty. Navíc úspory energie, které tento balíček nabízí, nejsou o mnoho vyšší než 62,8 %, které nabízí balíček s nejkratší dobou návratnosti. Stojí pětiprocentní úspora energie za vysokou ztrátu kulturní hodnoty a úspory?

Rekonstrukce zaměřené na minimalizaci spotřeby energie historických budov často přináší výzvu k vyvážení obou cílů, tj. zachování historických prvků a minimalizace spotřeby energie, a často se vnímají v souvislosti s ohrožením historické hodnoty budovy, přičemž tomu tak vždy není. V této studii je ukázáno, že hlavní zájem památkové péče a energetické úspornosti a investora se ne vždy navzájem střetávají. Renovace s nejmenším nebo mírným dopadem na kulturní dědictví vykazují z hlediska energetických úspor nebo ekonomické investice nejlepší výsledky. Ideální variantou zohlednění všech tří hledisek ve zkoumaném objektu je kombinace balíčků s nízkým a mírným dopadem na kulturní dědictví.

Ideální řešení se u různých objektů liší. Při hledání ideálního řešení záleží na řadě faktorů, z nichž uvedme např. polohu objektu v urbanistické struktuře, umělecká díla nebo zvláštní prvky s vysokou kulturní hodnotou, úpravy, ke kterým na něm v průběhu let došlo, současný stav objektu, okolí, orientaci a mnoho dalších faktorů, které činí každý objekt jedinečným, a tudíž každý objekt vyžaduje vlastní rozhodovací proces. Například zkoumaná budova prošla v roce 2000 rekonstrukcí, při níž byly opraveny vnější i vnitřní povrchové materiály, zateplena střecha a podlaha v přízemí, podkroví upraveno na byty, několik dvorních oken nahrazeno moderními. Upraveny byly taky stropy koupelen, kuchyní a podkroví. Ke každému dřevěnému trámu byly přidány kovové I-profily. Měrná potřeba tepla na vytápění po rekonstrukci je 82,6 kWh/m²a což je 30 % méně než potřeba tepla budovy před rekonstrukcí. Otázkou je, do jaké míry je nutné při budoucích rekonstrukcích zohlednit bezpečnost historické konstrukce v případě, že mnohé dřevěné trámy již byly podepřeny kovovými profily, a jelikož kovové profily méně trpí plísněmi a hnilobou způsobenou zvýšenou vlhkostí? V jiných scénářích, kde jsou například ornamenty na fasádě budovy již replikovány při minulých rekonstrukcích, jak důležitá je jejich autenticita pro kulturní hodnotu při budoucích rekonstrukcích a jak hodnotit opětovné replikování z hlediska památkové péče?

Dalším příkladem je, když je historická fasáda orientována na sever nebo když je velká polovina fasády po většinu roku zastíněna. V tomto případě by přidání vnitřní izolace na tou historickou fasádu mohlo mít lepší vliv na spotřebu energie než v studovaném objektu této studii, kde je historická fasáda orientována na jih a dostává po celý rok spoustu slunečního záření. V takovém případě by tato úprava mohla mít také kratší dobu návratnosti, než co je v studovaném objektu. Proto by to mohlo být vhodnější řešení než u studované budovy v této studii. Doporučuje v tomto případě se doplnit posouzení této úpravy o hygrotermickou analýzu, aby byla zajištěna bezpečnost konstrukce. Existuje nekonečné množství scénářů, ve kterých se může posuzovaná budova nacházet, díky čemuž je každá posuzovaná budova velmi jedinečná a před renovací vyžaduje vlastní zvážení. Proto neexistuje jedno ideální řešení, které by bylo možné použít při rekonstrukcích všech obytných historických budov z 19. století.

Význam posouzení nákladové efektivity měření

Je důležité při plánování renovace s cílem zvýšit spotřebu energie v historické budově, zohlednit pohled vlastníka budovy, který ve většině případů při rozhodování o úpravách upřednostňuje nákladovou efektivitu před ostatními faktory a který hraje důležitou roli při rozhodování o renovacích zkoumaných typů budov. V zájmu dlouhodobé ochrany historických prvků je účinným postupem navrhnout jiné řešení ke snížení spotřeby energie, které nabízí lepší investiční příležitost. Jedním ze způsobů, jak například ochránit historická okna před výměnou nebo ztrátou z dlouhodobého hlediska, je informovat majitele o jiných měřeních, která jim nabízejí lepší investici. Stavební úpravy, které mají v této studii nejkratší dobu návratnosti, jsou ty, které mají malý nebo střední vliv na kulturní dědictví, jako například zateplení dvorní fasády nebo zateplení střechy, strop či podlahy přízemí. Tyto úpravy mají také mnohem delší životnost, než je doba návratnosti, což je pro investory výhodnější. Úpravy jako jsou tepelně izolační omítky nebo repliky historických oken, které zahrnují repliku stávajících prvků a ztrátu autenticity historické fasády, nejsou ve srovnání s ostatními renovacemi v této studii dobrými investicemi. Zateplení dvorní fasády nebo střechy je z hlediska investora ekonomicky výhodnější než výměna historických oken. Ekonomicky nejefektivnějším opatřením v této práci je použití fotovoltaických panelů na střeše, nicméně toto opatření je přísně nepřijatelné. Proto se doporučuje při plánování takových renovací informovat investora o ekonomickém potenciálu opatření s nízkým dopadem na kulturní hodnoty. měření s nejkratší dobou návratnosti jsou fotovoltaické panely na střeše, i když je přísně nepřijatelné úřady.

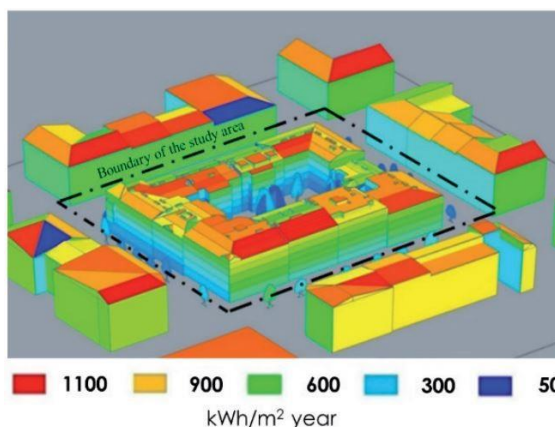
Solární panely na střechách historických budov

Fotovoltaické panely jsou v této studii z hlediska úspor energie i ekonomické investice vhodnou volbou. Je přísně zakázáno instalovat fotovoltaické panely na střechy těchto historických budov, přestože představují dobrou možnost úspory energie. Je zřejmé, proč jsou solární panely zakázány, a to především proto, že výrazně pozměňují charakter budovy tím, že značně narušují vzhled střechy. Jak se zvyšují požadavky na úsporu energie a jak se zvětšují cíle minimalizovat emise CO₂, existuje způsob, jak v budoucnu realizovat fotovoltaické panely bez velkého zásahu do celkového charakteru budovy? Již nyní se ve Švýcarsku zkouší integrace fotovoltaických tašek do pláště budovy. Na obrázek. 91 je historická budova se střechou pokrytou červenými solárními taškami.



Obrázek 91 - Střešní fotovoltaické tašky integrované do historického chráněného objektů v Ecuwillens, Švýcarsko [80]

Mohlo by to být řešení umožňující využívat solární energii v historických budovách? Samotný tento postup pravděpodobně nebude stačit k ochraně charakteru historických budov. Omezení při použití fotovoltaických dlaždic může zajistit, že historické tašky se výrazně neztratí, a že charakter historických budov se co nejvíce zachová původní vzhled. Například použít fotovoltaické tašky pouze tehdy, když potenciální výroba elektřiny překročí určitou hranici, s ohledem na to, že výroba solárních dlaždic s časem klesá. Podle očekávání na Vinohradech byly nejlepší solární zdroje pozorovány u šikmých střech (sklon 35°) orientovaných na jih, přesahujících $1200 \text{ kWh} / \text{m}^2$ ročně, což znamená, že fotovoltaické tašky mohou být použity pouze na červeně zbarvených střechách na Obrázku 92, zatímco všechny ostatní si ponechají své původní tašky. Je vysoká očekávaná produkce elektřiny dostatečným důvodem pro výměnu těchto tašek za fotovoltaické? Další omezení může zajistit, že jižní strany střechy nepřijdou o všechny své původní tašky, je například limitování plochy, na kterou lze tyto červené fotovoltaické tašky aplikovat na určité procento.



Obr. 92 - Roční mapa slunečního záření a relativní FV potenciál stavebního bloku na základě vybraných prahů ozáření v oblasti Vinohrad [55]

Jaký je v tomto případě dopad na kulturní dědictví jednotlivých budov a na městské fasády obecně? Představuje to potenciální způsob, jak v budoucnu snížit spotřebu energie, aniž by byla příliš ztracena kulturní hodnota?

Význam zohlednění hygrotermického posouzení v procesu plánování

Zateplení nechráněné dvorní fasády z vnější strany vede k nižší potřebě tepla ve srovnání s přidáním vnitřní izolace na historickou fasádu. V této studii je zkoumáno hygrotermické chování stěnové konstrukce po přidání 4 různých materiálů. Znovu je zkoumáno po přidání parozábrany, po změně tloušťky izolace nebo tloušťky cihel. Vlhkost v hlavě dřevěného trámu, která u všech materiálů a ve všech zkoušených případech přesahuje 80%, zatímco vlhkost na teplé straně izolované stěny byla u každého materiálu jiná. Parozábrana v některých případech, ale ne ve všech, mírně zlepšila hygrotermické vlastnosti, zatímco ostatní zkoušené faktory nevykazují podstatné zlepšení.

Při hygrotermickém hodnocení svislé konstrukce po přidání vnitřní izolace existuje mnoho faktorů, které mohou ovlivnit výsledky, např. použití mechanického větrání k regulaci úrovně vlhkosti v interiéru, provedení izolace s mezerou nad nebo pod podlahou/stropem, způsob ošetření kapes ve cihlové stěně kde leží dřevěné trámy, impregnace fasády vodotěsným materiálem pro minimalizaci vlivu deště, orientace zateplené fasády, a mnoho dalších možností, které mohou ovlivnit výsledky hygrotermických vlastností izolovaných stěn. Pro účely této studie, není cílem hledání způsobu, jak zlepšit hygrotermické vlastnosti izolované svislé konstrukce, ale cílem je upozornit na důležitost ověřování vlivu vnitřní izolace na historickou strukturu pro každý případ při plánování renovace, jelikož numerické výsledky ovlivňuje mnoho faktorů. další faktory, jako je kvalita provedení nebo údržba, mohou odlišit numerické výsledky od skutečné situace.

7 ZÁVĚR

Výsledky uvedené v této studii jsou shrnuty následovně:

- Úspory energie při vytápění historických budov lze dosáhnout i pouze zlepšením obálky budovy, bez výrazného vlivu na památkové hodnoty. Ve zkoumaném objektu je dosaženo úspory více než 60% energie na vytápění pomocí renovačních opatření s nízkým nebo mírným dopadem na kulturní dědictví.
- Balíčky opatření nízkého i středního vlivu, popř. kombinace obou variant můžou představovat vhodné opatření k úspoře energie s minimálními dopadem na historické hodnoty.
- Je důležité zahrnout do procesu plánování renovace i ekonomickou efektivitu měření. Informování investora o ekonomických výhodách opatření s malým dopadem na kulturní hodnotu by mohlo v dlouhodobém i krátkodobém horizontu přispět k ochraně historické hodnoty objektu.
- Ekonomický přínos úprav nízkého i středního vlivu na kulturní hodnotu v této studii je lepší než ekonomický přínos renovace velkého vlivu na kulturní hodnoty.
- Míra úspor energie u balíčku s malým vlivem na kulturní dědictví je nejvyšší, zatímco s rostoucím vlivem na kulturní dědictví míra úspor energie klesá.
- Proces posuzování kulturních hodnot a vliv renovace na kulturní hodnoty je subjektivní, což znamená, že rozdílné perspektivy vedou k různým postupům modernizace.
- Norma SS-EN 16883:2017 je vytvořena tak, aby upřednostňovala ochranu historické hodnoty, proto se v zájmu její praktičtější implementace doporučuje doplnit konkrétní doporučení a pokyny, která odpovídají historickým obytným budovám z 19. století.
- Doporučuje se zvážit a zhodnotit renovace s velmi nízkým dopadem na kulturní dědictví již na začátku rekonstrukce, jako je zateplení dvorní fasády nebo střechy. Tato opatření jsou také dobrou volbou z hlediska efektivity nákladů.
- Všechny čtyři numericky testované vnitřní izolace historické fasády této budovy vykazují potenciální nebezpečí vzniku plísní v dřevěných trámech uložených ve stěnách.
- Zatímco hlavním zájmem orgánů památkové péče je chránit vzhled zkoumaných historických budov, jejich historická konstrukce je další důležitou

součástí, která vyžaduje ochranu. Stavební techniky, řemesla a materiály jsou velmi cennou součástí kulturního dědictví historických budov, proto se vnitřní zateplení fasády, přestože nemění vzhled, doporučuje schválit až po pečlivé hygrotermické analýze chování historické stěny a zhlavice dřevěného trámu a po zvážení, jak dobře lze tento zásah provést a udržovat

- Současných a krátkodobých cílů v oblasti energetické účinnosti lze dosáhnout bez výrazného změnit charakter a historickou hodnotu předmětné budovy a podobných budov.
- Současných a blízké budoucnosti klimatických a energetických cílů je možné dosáhnout pouze zlepšením obálky budovy. Dlouhodobé cíle však budou pravděpodobně vyžadovat optimalizaci konzumních návyků, energetických systémů a zavedení obnovitelných zdrojů energie

Je nepravděpodobné, že by historické budovy dosáhly současných standardů energetické náročnosti, aniž by došlo k ovlivnění jejich kulturních hodnot, když dojde pouze ke zlepšení tepelně technických vlastností obálky budovy. Jedna studie jednoho případu nestačí k tomu, aby se mohlo vycházet z takového zobecnění. Aby bylo možné nalézt ideální způsob, jak dosáhnout dlouhodobých cílů energetických úspor, je třeba i nadále zkoumat zlepšení tepelně technické vlastnosti obvodových plášťů historických obytných budov z 19. století. Dlouhodobé cíle budou pravděpodobně vyžadovat i optimalizaci konzumních zvyklostí, energetických systémů, zavedení obnovitelných zdrojů energie a výroby energie na místě a/nebo použití vysoce účinných izolačních materiálů. Jinými slovy, dosažení budoucích energetických požadavků v historických budovách je možné pouze při zvážení všech dostupných možností. Čím více výzkumu se provádí v oblasti vylepšení vlastností historických materiálů a zlepšení hygrotermické chování historických stěn vnitřně izolovaných, tím snadněji se dosáhne vysokých úspor energie při nízké ztrátě kulturní hodnoty. Proto lze doporučit více výzkumů zaměřených na zlepšení materiálů kompatibilních s historickými materiály s vysokým tepelným výkonem nebo nalezení lepších způsobů ochrany historické konstrukce po zateplení historických stěn.

Rozsah této práce je omezený několika faktory, z nichž jeden spočívá v tom, že v úvahu se berou pouze energeticky úsporná opatření na obálce budovy. To například znamená, že nebyly změněny žádné energetické nebo technické systémy v budově. Moderní technická řešení mohou pravděpodobně zlepšit energetickou náročnost budovy, aniž by příliš negativně ovlivnila památkové hodnoty. V takovém případě by se zlepšení energetické náročnosti budovy mohlo dále zvýšit. Další opatření, jako je zvýšení vzduchotěsnosti obálky budovy například utěsněním oken nebo hran mezi plochami, tepelné závěsy nebo UV vrstva na oknech, jsou opatření, která mohou přinést větší úspory energie, ale nejsou zahrnuta do této práce. Dalším faktorem, který není v práci zahrnut, je typ a účinnost topného systému použitého v budově, který rovněž hraje roli v celkové energetické náročnosti.

8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] National Centers for Environmental Information. www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/faq/indicators.php
- [2] European Environment Agency, Greenhouse gas emissions from energy use in buildings in Europe Přístupní: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/greenhouse-gas-emissions-from-energy/assessment>
- [3] European Commission Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast) s.1
- [4] EU Building Stock Observatory (BSO) n.d. Building Stock Characteristics (Dataset) Přístupní: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-performance-of-buildings/eu-bso>
- [5] Český Statistický Úřad, Domy podle období výstavby nebo rekonstrukce a krajů 2021 Přístupní: <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=vystupobjekt&pvokc=&katalog=33477&pvo=SLD21012&z=T#w=>
- [6] Charter for conservation and restoration, Italian Ministry of Instruction, 1972
- [7] SS-EN 16883:2017 Conservation of cultural heritage – Guidelines for improving the energy performance of historic buildings. European Committee for Standardization, Brussels.
- [8] "EnerPHit – Quality-Approved Energy Retrofit with Passive House Components" Certificate. www.passipedia.org/certification/enerphit
- [9] Portál hlavního města Prahy. Historie hlavního města Prahy. www.praha.eu/jnp/cz/co_delat_v_praze/o_praze/historie_mesta/index.html
- [10] E. Semotanová a kolektiv. Ottův historický atlas Praha, (2015) s. 245 a 347
- [11] <https://hb.hypotecnibanka.cz/jak-bydli-cesi-1-navstivte-s-nami-pavlacove-domy/>
- [12] Chvátalová K. Pavlačový dům v architektonickém a urbanistickém vývoji města Žižkova. Diplomová práce na FF UK, vedoucí práce PhDr. Vladimír Czumalo, Praha, (2015), s.36–40.
- [13] M. Hruša. Přednáška na téma: Vv ývoj staveb pro bydlení od počátku, s důrazem na vývoj od 19. do poloviny 20. století. slideplayer.cz/slide/2804612/
- [14] J. Witzany. Konstrukce pozemních staveb 60. poruchy a rekonstrukce staveb. D. 2. Praha: České vysoké učení technické, 1995
- [15] B. Štumpa, O. Šefců. 100 osvědčených stavebních detailů: Zednictví, (2011) s. 56-59
- [16] B. Štumpa, O. Šefců. 100 osvědčených stavebních detailů: Zednictví, (2011) s. 162
- [17] B. Štumpa, O. Šefců. 100 osvědčených stavebních detailů: Tradice z pohledu dneška, (2010), s. 110-111
- [18] B. Štumpa, O. Šefců. 100 osvědčených stavebních detailů: Tradice z pohledu dneška, (2010), s. 34-46
- [19] Stavební komunita, dřevěné stropní konstrukce. Zveřejněn 2012. Přístupní:

<http://stavebnikomunita.cz/profiles/blogs/drevene-stropni-konstrukce>

- [20] B. Štumpa, O. Šefců. 100 osvědčených stavebních detailů: Zednictví, (2011) s. 144-151
- [21] B. Štumpa, O. Šefců. 100 osvědčených stavebních detailů: Tradice z pohledu dneška, (2010), s. 147-153
- [22] J. M. Řihák. Pokrývačství: Tradice z pohledu dneška, (2003), s.100-102
- [23] B. Štumpa, O. Šefců. 100 osvědčených stavebních detailů: Tradice z pohledu dneška, (2010), s. 172-173
- [24] TABULA, Příručka typologií obytných budov s příklady opatření ke snížení jejich energetické náročnosti, česká republika 2011. S.7.
- [25] B. Štumpa, O. Šefců. 100 osvědčených stavebních detailů: Tradice z pohledu dneška, (2010), s. 70–81
- [26] M. Netopilová. Materiály: Stavební materiály. Učební texty pro posluchače Fakulty bezpečnostního inženýrství, (2004), s.42
- [27] Český normalizační institut, Česká technická norma 73 0540-3, (2005).
- [28] M. Netopilová. Materiály: Stavební materiály. Učební texty pro posluchače Fakulty bezpečnostního inženýrství, (2004), s.7
- [29] Historical English. Traditional Windows: Their Care, Repair and Upgrading. (2014), s. 44 – 47
- [30] www.envic-sdruzeni.cz/stavba-energetika/diagnostika-staveb/termokamera-teplota-vlhkost-co2-mereni-uniku-tepla-vlhkost-plisne.htm
- [31] M. Báčová, M. Ebel, P. Lesniaková, A. Schubert, M. Sloař, L. Špaček, J. Štulc, R. Švácha, P. Všečetka. Obnova okenních výplní a výkladců. (2010) s. 81 - 85
- [32] R. Šubrt, M. Škopek, P. Charvátová, J. Kurc, B. Kierulf, J. Hazucha, J. Čech, A. Brotánek, R. Kubíček. Tepelné mosty: Pro nízkoenergetické a pasivní domy, (2011), s.9
- [33] R. Šubrt, Tepelně vlhkostní problematika zhlaví dřevěných trámů, s.1 - 4
docplayer.cz/105332488-Tepelne-vlhkostni-problematika-zhlavi-drevenych-tramu.html
- [34] J. Toman, A. Vimmrova, R. Cerny. Long-term on-site assessment of hygrothermal performance of interior thermal insulation system without water vapour barrier. Energy Build., 41 (2009), pp. 51-55
- [35] J. Zhaoa, J. Grunewald, U. Ruisingera, S. Fengb. Evaluation of capillary-active insulation systems for interior retrofit solution
- [36] P. Häupl, K. Jurk, H. Petzold. Inside thermal insulation for historical facades
Research in Building Physics: Proceedings of the 2nd International Conference on Building Physics Leuven, Belgium (2003), pp. 463-469. 14-18 September
- [37] R.L. Quirouette. The difference between a vapour barrier and an air barrier. Building Practice Note, (1985), pp. 2-3.
- [38] Z. Pavlík, R. Černý Experimental assessment of hygrothermal performance of an interior thermal insulation system using a laboratory technique simulating on-site conditions.
- [39] J. Zach, A. Korjenic, V. Petránek, J. Hroudová, T. Bednar. Performance evaluation and research of alternative thermal insulations based on sheep wool. Energy Build., 49 (2012), pp. 246-253

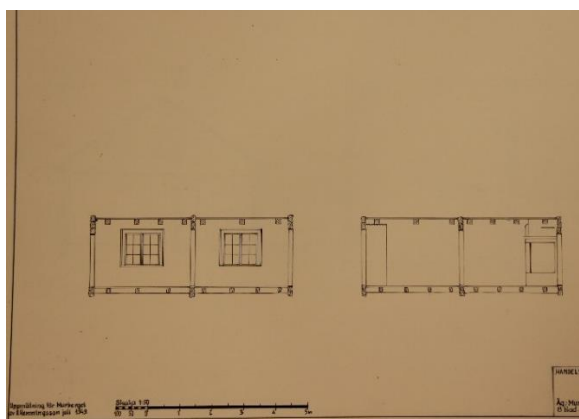
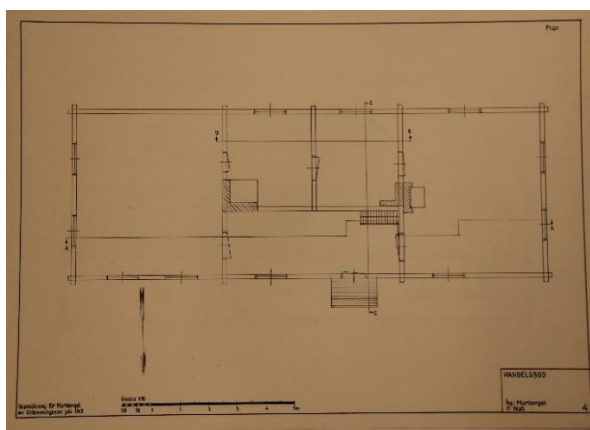
- [40] A. Korjenic, V. Petránek, J. Zach, J. Hroudová. Development and performance evaluation of natural thermal-insulation materials composed of renewable resources. *Energy Build.*, 43 (2011), pp. 2518-2523
- [41] P. Häupl, K. Jurk, H. Petzold. Inside thermal insulation for historical facades. Dresden University of Technology, Institute for Building Climatology.
- [42] E. Vereecken, S. Roels. A comparison of the hygric performance of interior insulation systems: A hot box–cold box experiment. *Energy and buildings* 80 (2014) 37-44.
- [43] H.M. Künzel. Simultaneous. Heat and Moisture Transport in Building Components. One- and Two-Dimensional Calculation Using Simple Parameters. Fraunhofer-IRB-Verlag, Stuttgart (1995)
- [44] P. Kopecký, K. Staněk, M. Bureš, J. Richter, J. Tywoniak. Experimental investigations of wooden beam ends in masonry with internal insulation. *Energy Procedia* 132 (2017) s. 682–687.
- [45] E. Vereecken, S. Roels. Wooden beam ends in combination with interior insulation: An experimental study on the impact of convective moisture transport. *Building and Environment*, volume 148, (2019) s. 524-534
- [46] M. Harrestrup, S. Svendsen. Internal insulation applied in heritage multi-storey buildings with wooden beams embedded in solid masonry brick façades. *Building and Environment*, volume 99, (2016), s. 59-72
- [47] H.M. Künzel. Effect of interior and exterior insulation on the hygrothermal behavior of exposed walls. *Mater. Struct.*, 31 (1998), s. 99-103
- [48] WTA Merkblatt 6-4-09/D: Innendämmung nach WTA I: Planungsleitfaden, 2010.
- [49] Gholam Reza Finkenab, Søren Peter Bjarløv, Ruut HannelePeuhkuri. Effect of façade impregnation on feasibility of capillary active thermal internal insulation for a historic dormitory – A hygrothermal simulation study. *Construction and Building Materials*. Volume 113, (2016), s. 202-214
- [50] E. Vereecken, L. Van Gelder, H. Janssen, S. Roles. Interior insulation for wall retrofitting – a probabilistic analysis of energy savings and hygrothermal risks. *Energy Build.*, 89 (2015), s. 231 - 244
- [51] Š. Martin, N. Miroslav, L. Vlasta, K. Gabriel, S. Petr. Repliky oken v památkových zónách. (2016), s.33-35
- [52] Thermal Performance of Traditional Windows and Low-cost Energy-saving retrofits Craig Kennedy, Paul H. Baker, Roger Curtis, Chris Wood. January 2008. *APT Bulletin* 41(1):29
- [53] Exploring novel solutions for incorporating vacuum glazing in new and existing window constructions. Ulrich Pont, Magdalena Woelzl, Matthias Schuss, Peter Schober, Ardeshir Mahdavi. *E3S Web of Conferences* 172, 24006 (2020)
- [54] SHUKLA, A. K., SUDHAKAR, K., BAREDAR, P. Recent advancement in BIPV product technologies: A review. *Energy and Buildings*. 2017, 140, 188-95.
- [55] S. Nikolaos, T. Jan, S. Kamil, M. Lenka. The PV Potential in the City of Prague: Methodology and Assessment for Residential Buildings. 2018, 382-389

- [56] ROBINSON, D., HALDI, F., KÄMPF, J., LEROUX, P., PEREZ, D., RASHEED, A., WILKE, U. CitySim: Comprehensive micro-simulation of resource flows for sustainable urban planning. In: Eleventh International IBPSA Conference: Building Simulation. Glasgow, UK. 2009.
- [57] . K. van Balen, B. van Bommel, R. van Hees, M. van Hunen, J. van Rhijn, M. van Rooden, Kalkboek. Het gebruik van kalk als bindmiddel voor metsel-en voegmortels in verleden en heden. Rijksdienst voor de Monumentenzorg, Zeist, 2003, ISBN 90 72691 36 9.
- [58] ICOMOS, Declaration of Amsterdam, 1975.
- [59] R. Cerny, A. Kunca, V. Tydlitát, J. Drchalová, P. Rovnaníková. Effect of pozzolanic admixtures on mechanical, thermal and hygric properties of lime plasters. 2005.
- [60] M. Vyšvaril, M. Pavlíková, M. Záleská, A. Pivák, T. Zizlavský, P. Rovnaníková, P. Bayer, Z. Pavlík. Non-hydrophobized perlite renders for repair and thermal insulation purposes: Influence of different binders on their properties and durability. 2020.
- [61] Y. Govaerts, R. Hayen, M. Bouw, A. Verdonck, W. Meulebroeck, S. Mertense, Y. Grégoire. Performance of a lime-based insulating render for heritage buildings. 2018.
- [62] M. Schuss, U. Pont, A. Mahdavi. Long-term experimental performance evaluation of aerogel insulation plaster
- [63] P. Westgate, K. Paine, R. J. Bal. Physical and mechanical properties of plasters incorporating aerogel granules and polypropylene monofilament fibres. 2017.
- [64] C. Groot, R. van Hees, T. Wijffels, Selection of plasters and renders for salt laden masonry substrates, *Constr. Build. Mater.* 23 (2009) 1743–1750.
- [65] J. Petković, H.P. Huinink, L. Pel, K. Kopinga, R.P.J. van Hees, Moisture and salt transport in three-layer plaster/substrate systems, *Constr. Build. Mater.* 24 (2010) 118–127.
- [66] Galliano, R.; Ghazi Wakili, K.; Stahl, T.; Binder, B.; Daniotti, B. Performance evaluation of aerogel-based and perlite-based prototyped insulations for internal thermal retrofitting: HMT model validation by monitoring at demo scale. *Energy Build.* 2016, 126, 275–286.
- [67] www.npu.cz/en/repairing-a-historical-building/common-issues/facade
- [68] [voxeljet.com /additive-manufacturing/case-studies/art-and-design/replicas-for-the-cologne-cathedral/](http://voxeljet.com/additive-manufacturing/case-studies/art-and-design/replicas-for-the-cologne-cathedral/)
- [69] Baetens R., Jelle BP., Thue JV., Tenpierik MJ., Grynning S., Uvsløkk S., 2010. Vacuum insulation panels for building applications: a review and beyond. *Energy Build.*
- [70] Kalnæs SE., Jelle BP., 2014. Vacuum insulation panel products: a state-of-the-art review and future research pathways. *Appl Energy.*
- [71] Bozsaky D., 2016. Application of nanotechnology-based thermal insulation materials in building construction. *Slovak Journal of Civil Engineering*
- [72] REINBERG, Georg W. Ekologická architektura – rekonstrukce památek. In: SVOBODOVÁ, Mahulena (ed.). Zelené památky: Možnosti snižování energetické náročnosti památkově cenných staveb. Slavonice: 2011, cit. s. 6
- [73] JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission (europa.eu)

- [74] LI, D., LIU, G., LIAO, S. Solar potential in urban residential buildings. *Solar Energy*. 2015, 111, 225-35.
- [75] VULKAN, A., KLOOG, I., DORMAN, M., ERELL, E. Modeling the potential for PV installation in residential buildings in dense urban areas. *Energy and Buildings*. 2018, 169, 97-109
- [76] KANTERS, J., WALL, M., DUBOIS, M-C. Typical Values for Active Solar Energy in Urban Planning. *Energy Procedia*. 2014, 48, 1607-16.
- [77] Tile red monocrystalline solar panels - All in solar energy (todoensolar.com)
- [78] <https://www.czso.cz/csu/czso/indexy-cen-stavebnich-praci-indexy-cen-stavebnich-del-a-indexy-nakladu-stavebni-vyroby-ctvrtletni-casove-rady-2-ctvrtleti-2023>
- [79] SBToolCZ, národní český certifikační nástroj pro vyjádření úrovně kvality budov. <https://www.sbtool.cz/kriterium/zivotnost-stavebnich-konstrukci-a-komponentu-vk1/>
- [80] Swiss center for microelectronics and microtechnologies, the beauty of invisible solar, 2021.

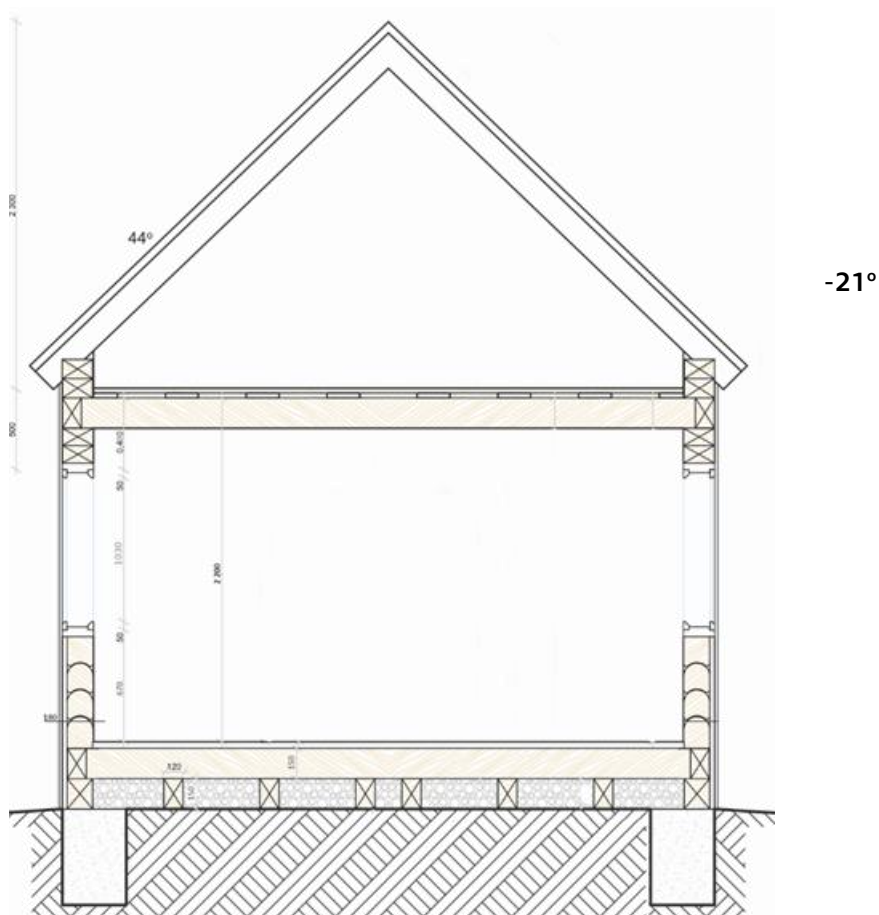
9 PŘÍLOHA – PRÁCE VZTAHUJÍCI SE K DISERTACI

Ve spolupráci s výzkumníky z Technické univerzity Luleå ve Švédsku, v rámci výzkumného projektu "Spara Och Bevara" neboli " Zachránit a zachovat", jehož cílem je integrovat energetickou účinnost do péče o stavební dědictví, byl studován obytný objekt z roku 1700. V době výstavby se objekt nacházel v centru města Härnösand a v něm žily dvě rodiny ve dvou propojených obytných jednotkách. Objekt byl přestěhován do skanzenu Murberget v Härnösandu a říká se mu Långstugan neboli Dlouhý Srub. Od 40. let 20. století slouží objekt jako obchod ve skanzenu. Výkresy a fotky jsou presentované v obrázcích 93, 94, 95 a 96.



Obr. 93, 94, 95 a 96 - Långstugan; půdorys, řezy a fasády *

Objekt je kompletně vyroben ze dřeva, zatímco strop a podlaha jsou izolovány tradičními pilinami. Výkres řezu objektem je vidět v Obrázku.97 s vyznačením konstrukce a rozměry na základě měření při osobní návštěvě.



Obr. 97 - struktura a rozměry, na nichž je simulace založena.

Metoda práce vychází z normy SS-EN 16883:2017 která je uvedena v metodách této disertace. Po shromáždění všech potřebných informací o obálce budovy byla provedena simulace energie potřebné k vytápění budovy pomocí softwaru Energie 2020.

Stěny; plocha: 83.7 m², hodnota-U: 0,49 W/k. m²

Strop; plocha: 93 m², hodnota-U: 0.55 W/k. m²

Podlaha; plocha: 93 m², hodnota-U: 0.5 W/k. m²

Okna; plocha: 14.3 m², hodnota-U: 2.5 W/k. m²

Energie potřebné k vytápění budovy: 237 kWh/m².a

Navržena byla potom různá řešení renovace. Simuloval se poté vliv každé renovace na celkovou potřebu energie na vytápění budovy a porovnával se s potřebou energie před jakoukoli renovací. výsledky jsou uvedeny v tabulce 18. Izolační materiály vybrané pro renovaci zahrnují materiály kompatibilní s historickou strukturou dřeva jako Isocell a dřevovláknó a materiály, které jsou méně kompatibilní, ale mají lepší tepelné vlastnosti, jak jsou třeba PIR a Aerogel.

BUILDING ELEMENT	REFERANCE	DESCRIPTION OF REFURBISHMENT MEASURE	ENERGY NEEDED TO HEAT THE BUILDING kWh/(m ² .a)
EXTERNAL WALLS			
	A	30 mm of internal Hunton Nativo Wood Fiber Insulation Boards	223
	B	60 mm of internal Hunton Nativo Wood Fiber Insulation Boards	214
	C	20 mm of Aerogel sheet as internal insulation	217
CEILING			
	D	Replacing the sawdust with 150 mm of Isocell cellulosafiber insulation (keeping the sawdust in the floor)	209
	E	Replacing the sawdust with 300 mm of Isocell cellulosafiber insulation (keeping the sawdust in the floor)	199
	F	Replacing the sawdust with 150 mm of PIR insulation boards (keeping the sawdust in the floor)	202
	G	Replacing the sawdust with 300 mm of PIR insulation boards (keeping the sawdust in the floor)	194
ROOF			
	H	150 mm Hunton Nativo Wood Fiber Insulation Boards insulation	218
	I	300 mm Hunton Nativo Wood Fiber Insulation Boards	214
	J	150 mm of IKO enertherm ALU insulation (polyisocyanurate foam core)	215
	K	300 mm IKO enertherm ALU insulation (polyisocyanurate foam core)	212
FLOOR			
	L	Replacing the sawdust with 150 mm of Hunton Nativo Wood Fibre Blow-In Insulation ((keeping the sawdust in the ceiling)	221
	M	Replacing the sawdust with 150 mm of PIR insulation boards (keeping the sawdust in the ceiling)	216
WINDOWS			
	N	Changing the window glass of the internal frames with energy glass (u-value= 1.8 W/m ² K)	225

	O	Replacing the internal window with a new one (u-value= 0.8 W/m ² K). This measure increases the air tightness of the envelope (estimated 5 instead of 5.4)	204
DECREASING AIR LEAKAGE			
By 20% (4.32 l/h)	X ₁	Sealant to the frames of the windows and the door, sealant to the existing coving for wall/ceiling and wall/floor junctions, sealant to the wood beams' pockets, sealant to the chimney penetrations in the ceiling and the roof, sealant to the attic hatch, sealant to the wall/wall junctions, airtight membrane is laid on the top of the breathable insulation underneath the floor, and on top of the ceiling panels underneath the breathable insulation, or insulating with airtight boards (PIR) with foam sealant between the boards and the beams	228
By 30% (3.78 l/h)	X ₂		224
By 40% (3.24 l/h)	X ₃		219
By 50% (2.7 l/h)	X ₄		215

Tabulka 18 - vliv jednotlivých renovací na spotřebu energie na vytápění

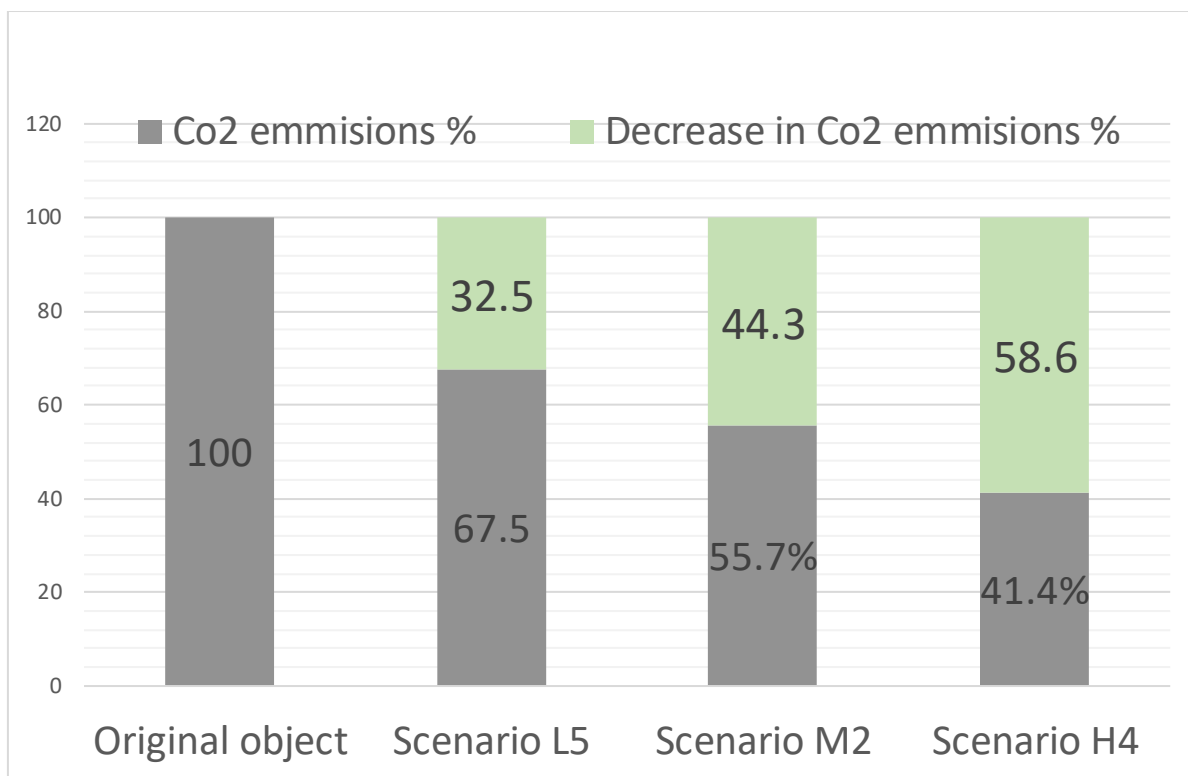
Z různých kombinací výše uvedených jednotlivých úprav pak bylo vytvořeno mnoho balíčků renovací. Tyto balíčky byly vyhodnoceny na základě jejich vlivu na kulturní hodnotu do tří kategorií; balíčky s nízkým vlivem, středním vlivem a vysokým vlivem na kulturní hodnotu. Balíček s nízkým vlivem na kulturní hodnotu byl vytvořen z renovací, které mají nepatrný nebo žádný vliv na vnitřní ani vnější vzhled nebo materiály či konstrukci budovy. Podobným způsobem byly vytvořeny balíčky se středním a vysokým vlivem na kulturní hodnotu. Vliv těchto balíčků na energii potřebnou k vytápění budovy byl simulován pomocí programu Energie 2020. Všechny výsledky navrhované balíčky renovací jsou uvedeny v tabulce 19.

ze všech navržených balíčků v tabulce 19 byly pro srovnání vybrány ty nejvhodnější. balíček s nízkým vlivem číslo 5 ušetří až 32,4 % energie potřebné na vytápění budovy ve srovnání s původním objektem. Tento balíček zahrnuje renovaci zateplení stropu a podlahy kompatibilními materiály. Nemá žádný vliv na vzhled v interiéru ani exteriéru ani na konstrukci. Střední balíček číslo 2 ušetří až 44,4 % energie potřebné na vytápění budovy ve srovnání s původním objektem. Balíček s velkým dopadem na kulturní hodnotu číslo 4 ušetří až 58,6 % energie potřebné na vytápění budovy ve srovnání s původním objektem. Tento balíček zahrnuje renovaci zateplení stropu a podlahy s PIR, vnitřní izolaci a výměnu vnitřního křídla dvoukřídlových oken za moderní.

Reference	Light packages (L)						Medium packages (M)					Heavy packages (H)			
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	1	2	3	4
A								*			*				
B													*	*	*
C									*	*					
D	*	*	*												
E				*	*	*	*	*						*	
F										*					
G										*	*	*	*	*	*
J			*			*									
I															
J															
K															
L	*	*	*	*	*	*	*	*						*	
M									*	*	*	*	*		*
N							*	*	*	*	*				
O												*		*	*
X ₁															
X ₂															
X ₃															
X ₄		*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Energy needed for heating the building kWh/(m ² .a)	193	170	164	183	160	158	147	132	117	124	123	120	127	107	98

Tabulka 19 - Vliv balíčků renovací na spotřebu energie

V dalším kroku se porovnává snížení emisí CO₂ v budově za 50 let po třech vybraných balíčcích s emisemi v případě, že by budova nebyla renovována. Při tomto výpočtu byly zohledněny emise CO₂ vzniklé při výrobě izolačních materiálů nebo moderních oken použitých při renovaci a celkové emise CO₂ ušetřené v důsledku snížení spotřeby energie v případě, že budova zůstane v Härnösandu.



Obr. 98 -Vliv scénářů renovace na emise CO₂ v příštích 50 letech ve srovnání s původní budovou

Balíček s velkým dopadem na kulturní hodnotu ušetří o 26,2 % více energie ve srovnání s balíčkem s nízkým vlivem, ale vliv na kulturní dědictví budovy je mnohem větší. Například výměna oken za moderní neznamená jen ztrátu autenticity a originálních prvků, ale také změnu vzhledu. Přidáním vnitřní izolace se změní viditelná tloušťka stěny, poloha okna ve stěně a vnitřní rozměry. Stojí 26,2% úspora energie za takovou velkou ztrátu?. Z této studie vyplývá, že je možné dosáhnout úspory energie až 32,4 % a snížit emise CO₂ z budovy v příštích 50 letech o 32,5 % aniž by to jakkoli ovlivnilo kulturní hodnotu objektu.