

SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE
Stavebná fakulta

Ing. Nora Naddourová

Autoreferát dizertačnej práce

Historické okno a možnosti jeho uplatnenia v súčasnej stavebnej praxi v oblasti pamiatkovej obnovy.

na získanie akademického titulu „philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“

v doktorandskom študijnom programe
3659 Teória a konštrukcie pozemných stavieb

v študijnom odbore
stavebníctvo

Forma štúdia
denná

Miesto a dátum
v Bratislave dňa

Dizertačná práca bola vypracovaná na:

Slovenská technická univerzita v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra architektúry

Predkladateľ: Ing. Nora Naddourová

Katedra architektúry
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Školiteľ: doc. PhDr. Magdaléna Kvasnicová, PhD.

Katedra architektúry
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Konzultant: doc. Ing. Rastislav Mend'án, PhD.

Katedra konštrukcií pozemných stavieb
Stavebná fakulta STU v Bratislave
Radlinského 11, 810 05 Bratislava

Autoreferát bol rozoslaný dňa

Obhajoba dizertačnej práce sa bude konať dňa o h
na Stavebnej fakulte STU v Bratislave, Radlinského 11, 810 05 Bratislave.

.....
prof. Ing. Stanislav Unčík, PhD.
dekan Stavebnej fakult

Abstrakt

Okno patrí k stavebným prvkom, ktoré svojim technicko-konštrukčným a architektonickým riešením podstatným spôsobom ovplyvňujú výraz architektúry. Okná kontrolujú prienik svetla, vzduchu a zvuku. V dejinách stavebníctva navrhovaním rôznych typov okien a prekonávaním obmedzení, ktoré diktovali konštrukčné metódy a stavebný materiál, sa stavitelia a architekti pokúšali o zlepšenie osvetlenia, teploty a vlhkosti budov. Okná z nových materiálov v snahe zabezpečiť vysokú mieru komfortu a primeranosť finančných nákladov na energiu stále viac vytláčajú autentické historické výplne okenných otvorov. Vzhľadom na alarmujúci úbytok historických okien, je vysoko žiadúci ich systematický výskum. Práca sa vo výskumnej časti zamerala na pohľad metodikov KPÚ na obnovu okenných výplní a mapovanie a dokumentáciu zachovaných artefaktov in situ. Vo vedeckej časti komparáciou vybraného typu tradičnej dvojitej okennej výplne a novodobej výplne a ďalších metód výskumu, overovala možnosti stavebno-technického a konštrukčného riešenia drevenej výplne pri rešpektovaní požiadavky energetickej efektívnosti ako aj zachovania pamiatkovej hodnoty historických stavieb. Téma dizertačnej práce zapadá do širšieho rámca výskumu historických stavieb a dejín stavebnej kultúry.

Abstract

The window is one of the building elements that significantly influence the expression of architecture with its technical-structural and architectural solution. Windows control the penetration of light, air and sound. Throughout the history of construction, by designing different types of windows and overcoming the limitations dictated by construction methods and building materials, builders and architects have attempted to improve the lighting, temperature and humidity of buildings. In an effort to ensure a high level of comfort and the adequacy of financial energy costs, windows made of new materials are increasingly displacing authentic historical windows. Due to the alarming decline of historical windows, their systematic research is highly desirable. In the research part, the work focused on the view of KPÚ methodologists on the restoration of windows and the mapping and documentation of preserved artifacts in situ. In the scientific part, by comparing the selected type of traditional double window fill and modern fill and other research methods, it verified the possibilities of construction-technical and structural solutions of wooden fill while respecting the requirement of energy efficiency as well as preservation of the historical value of historic buildings. The topic of the dissertation fits within the broader framework of research on historic buildings and the history of architectural culture.

Obsah

1	Úvod	4
2	Tézy dizertačnej práce	4
2.1	Ciele práce	4
2.2	Metódy spracovania dizertačnej práce	5
2.2.1	Postup spracovania problematiky	6
3	Súčasný stav prístupu k obnove okenných výplní	6
4	Vyhodnotenie dotazníka	6
5	Určovanie tepelnotechnických vlastností dvojitej okennej výplne	10
5.1	Počítačové určenie vlastností okna	10
5.1.1	Výber reprezentanta	10
5.1.1	Priebeh počítačového určenia vlastností okna	10
5.1.2	Vyhodnotenie – čiastkový záver	16
6	Záver	19
6.1	Vyhodnotenie cieľov práce	19
6.2	Zhrnutie prínosov práce	22
6.2.1	Odporúčanie pre ďalší výskum	23

1 Úvod

Výplne otvorov majú vo výraze budovy podstatný význam. Ich funkcia je primárne úžitková, keďže zabezpečujú prístup svetla, bezpečnosť budovy a vetranie.

V minulosti sa meniaci forma okenných konštrukcií významným spôsobom podieľala na štýlovom výraze stavieb a určovala charakteristiku architektonických slohov. Stavebné postupy a dostupné materiály tvorili obmedzenia, ktoré sa stavitelia snažili prekonať a zlepšiť tým pohodu vnútorného prostredia. V súčasnosti sa požiadavky na tepelnotechnické vlastnosti okenných výplní neustále zvyšujú. Energetické a ekonomické hľadisko zapríčinilo, že okenné konštrukcie z nových materiálov vytláčajú vo veľkej miere autentické historické výplne okenných otvorov.

Aktuálnosť a naliehavosť spracovania tejto témy potvrdzuje aj rapídne sa zmenšujúci fond historických okien. Podieľajú sa na tom stavebné úpravy objektov, pri ktorých z nevedomosti alebo antipatie investora, majiteľa alebo stavebnej firmy spolupracovať s pamiatkovými inštitúciami miznú posledné okná bez dôkladnej dokumentácie.

Ohrozujúcim pre pamiatkový fond by mohol byť aj plán obnovy a odolnosti SR, ktorý sa snaží o dosiahnutie klimatickej neutrality do roku 2050. Splnenie tohto cieľa ovplyvní sektor budov v Európe, ktorý je najväčším spotrebiteľom energie. „Na vykurovanie a chladenie sa používa takmer 50% konečnej spotreby energie v Únii, z čoho 80% sa využíva v budovách.“ [1, s. 74]

V komponente 2 Obnova budov, bude v rámci reforiem a investícií vyčlenených vyše 700 mil. €, z toho 200 mil € na obnovu verejných historických a pamiatkovo chránených budov a vyše 500 miliónov na zlepšenie hospodárnosti rodinných domov. [1, s. 71]

Plán obnovy uvádza že „Historické a pamiatkovo chránené verejné budovy patria k najhorším z pohľadu energetickej hospodárnosti, avšak disponujú kultúrnou hodnotou a dedičstvom, ktoré je dôležité zachovať a chrániť. Tvoria dôležitú časť verejných budov a vzhľadom na finančnú náročnosť obnovy a potrebu špecifického prístupu k nej sa im nevenuje dostatočná pozornosť.“ [1, s. 74]

Nakoľko sú historické budovy najhoršie z hľadiska energetickej hospodárnosti, Plán obnovy sa v rámci komponentu 2 Obnova budov sústreďuje na cieľ – energetická efektivita budov. Medzi konkrétnymi opatreniami ako dosiahnuť aplikáciu energetickej efektívnosti v historických budovách je aj výmena otvorových konštrukcií. Znepokojujúce je, že v celom dokumente nie je ani raz spomenutá obnova otvorových konštrukcií, vždy len výmena.

Počas spracovania dizertačnej práce bola v roku 2023 v rámci Plánu obnovy Pamiatkovým úradom SR vypracovaná Metodika pre rozhodovací proces Pamiatkového úradu SR. Relevantné v nadväznosti na riešenie témy sú dva dokumenty a to Výplne stavebných otvorov – okná v časti 8. Stavebná časť – stavebné prvky [2] a Energetická efektivita historických stavieb v časti 11. Súčasné požiadavky na výstavbu [3]. Metodika má pracovníkom krajských pamiatkových úradov pomôcť, aby sa obnova okenných výplní neriešila intuitívne, ale aby vedeli ponúknuť možné riešenia a nájsť pravidlá, ktoré sa na historickú výplň pozerú aj z hľadiska tepelného komfortu.

2 Tézy dizertačnej práce

2.1 Ciele práce

Cieľom dizertačnej práce je preveriť prístup k obnove okenných výplní, z pohľadu energetickej efektívnosti v zimnom období a navrhnúť konštrukčné riešenia rešpektujúce pamiatkové kritéria. Problematika bude demonštrovaná na príklade preverenia požadovaných

parametrov z hľadiska energetickej efektivity originálnych historických okien v Banskej Štiavnici na objekte rodinného domu s možnosťou uplatnenia ďalších premenných a komparáciou s novodobými okennými výplňami. Výsledky tejto práce budú slúžiť pamiatkovému úradu pri metodickom rozhodovaní a vlastníkom národných kultúrnych pamiatok a objektov so zachovanými historickými okennými výplňami pri akceptovaní riešení zohľadňujúcich ich pamiatkové hodnoty.

Cieľ č.1: Overiť či sú historické okenné výplne trvalo udržateľné, za súčasných nárokov na tepelný komfort.

Cieľ č.2: Preveriť, za akých podmienok je možné zvýšiť energetickú efektivitu historických okenných výplní.

Cieľ č.3: Aplikovať zistenia pri riešení modelového príkladu historického objektu a na základe toho doplniť súčasné poznatky o dvojitých okenných výplňach.

Cieľ č.4: V prípade, že sa nezachovala pôvodná okenná výplň, na modelovom príklade dvojitej výplne hľadať optimálne riešenie z tepelnotechnického hľadiska, ktoré rešpektuje kritéria pamiatkovej obnovy.

Vedľajší cieľ č.5: Vypracovanie katalógu historických okenných výplní spĺňajúce kritéria pamiatkovej ochrany.

Hypotéza č.1: Aj historické okno môže byť z energetického hľadiska za určitých podmienok akceptovateľné.

Hypotéza č.2: Na zabezpečenie požadovaného komfortu užívateľa a zároveň požiadaviek pamiatkovej starostlivosti je potrebné uvažovať nad kompromisnými riešeniami.

Hypotéza č.3: Postup návrhu okennej výplne v historických objektoch obsahuje niektoré kritériá, ktoré pri návrhu do novostavieb nevstupujú.

2.2 Metódy spracovania dizertačnej práce

Pri overení metodiky prístupu k obnove okenných výplní boli využívané vedecké metódy pozorovania, komparácie, analýzy, syntézy, dotazníka, kvantitatívny výskum v podobe počítačového určovania vlastností dvojitej okennej výplne a do určitej miery aj metóda zovšeobecňovania.

Metódou komparácie boli zisťované zhodné znaky a odlišnosti okenných výplní a ich prvky, ktoré by mohli pomôcť k zlepšeniu energetickej efektívnosti okien. Metóda porovnávania má veľký význam pri objasňovaní procesov zmien, vývoji a zákonitostí skúmaných okien. Materiál získaný metódou pozorovania a komparácie bude spracovaný pomocou využitia metód analýzy a syntézy.

Analýza ako vedecká metóda bola použitá pri rozčleňovaní problému s tepelnotechnickými vlastnosťami historického dvojitého okna na jednotlivé znaky a ich skúmanie s cieľom vyčleniť z viacerých faktov a súvislostí tie podstatné.

Zásahy, ktoré by mohli zlepšiť tepelnotechnické vlastnosti okna budú rozdelené v diapazóne od mäkkých zásahov po tvrdé zásahy.¹ Na čo najobjektívnejšie rozdelenie zásahov bola použitá výskumná metóda dotazníka.§

¹ Podobnú metódu hodnotenia zásahov na tvrdé a mäkké zvolila pri dizertačnej práci *Aspekty udržateľnosti pri obnove pamiatkovo chránených štruktúr*, autorka: Ing. arch. Petronela Pagáčová, PhD. [9]

Na zistenie, či je historické okno schopné súperiť z tepelnotechnického hľadiska so súčasnými okennými výplňami bolo vykonané počítačové určovanie vlastností okna pomocou troch softvérov.²

Výskum sa bude zameriavať na drevené dvojité okenné výplne, ktoré v historických a pamiatkovo chránených budovách tvoria najpočetnejšiu skupinu, pri ktorých možno opravou, dotesnením, prípadne úpravou dosiahnuť vyhovujúce tepelnotechnické vlastnosti. [4, s. 16; 4]

Metóda zovšeobecňovania sa bude dať v tomto prípade použiť len do určitej miery, pretože aj pri jednotnom slohovom jazyku historických objektov, stav zachovania tiež určuje individualitu každého objektu a to platí aj pre historické okenné výplne.

2.2.1 Postup spracovania problematiky

Počas práce bola ambícia zistiť tepelnotechnické vlastnosti okennej výplne 2 spôsobmi a to laboratórnym meraním a počítačovým overením vlastností okna v programe Cube3D 2017. Na základe tejto ambície bol vybraný reprezentant dvojitej okennej výplne, ktorý splnil kritéria výberu:

- okenná výplň, ktorá by sa dala preniesť do laboratória na STU,
- možnosť robiť laboratórne meranie,
- existujúca dokumentácia,
- okno, ktorého výskyt v pamiatkovom fonde je najrozšírenejší,
- okno nachádzajúce sa v obytnom priestore,
- objekte, na ktorom sa nachádza zachovaný originál a teraz už aj replika. V budúcnosti možnosť vykonať meranie in situ a porovnať výsledky.

Kvôli viacerým dôvodom³ nebolo laboratórne meranie vykonané a určenie vlastností okennej výplne vybraného reprezentanta prebehlo pomocou počítača v programe Cube3D 2017. Pomocou počítača boli nasimulované situácie, kedy a do akej miery by zásahy z diapazónu od mäkkých po tvrdšie zásahy mohli zlepšiť tepelnotechnické vlastnosti okna. Pre porovnanie bol výpočet vykonaný aj v programe Area 2017, ktorý pracuje v 2D prostredí.

3 Súčasný stav prístupu k obnove okenných výplní

Dôležitými dôvodmi obnovy okien sú zníženie energetických strát, zvýšenie komfortu bývania, ako aj ochrana stavebnej konštrukcie.

Problémy :

- splnenie normy a nárokov na komfort,
- ekonomická stránka – z hľadiska prevádzkových nákladov,
- celkový deficit remeselníkov a práca s tradičnými materiálmi a technológiami,
- absencia pozitívneho vzťahu ku kultúrnemu a architektonickému dedičstvu,
- nízka úroveň stavebnej kultúry.

4 Vyhodnotenie dotazníka

Ako súčasť dizertačnej práce bol vytvorený anonymný dotazník s názvom Historické okenné výplne, ktorý bol určený metodikom krajských pamiatkových úradov. V prvom kole bol dotazník poslaný všetkým riaditeľom KPÚ a 11 vytypovaným metodikom. V druhom kole bol poslaný ďalším 77 metodikom, takže spolu ich bolo oslovených 96. Všetci oslovení metodici

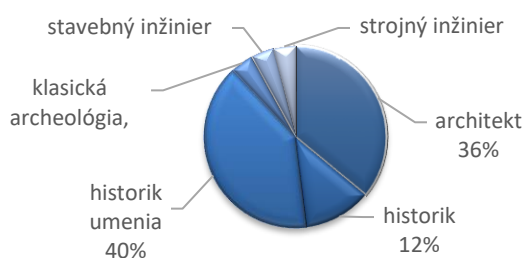
² Cube3D 2017, Area2017, SketchUp free

³ Okenná výplň bola širšia ako ako rozmery klíma komory v laboratóriu, neskorý termín kedy by okno bolo možné merať.

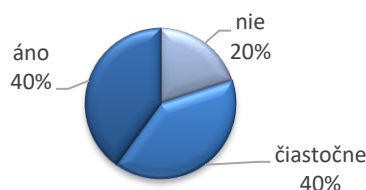
mali na internete uvedené, že sa venujú nehnuteľným kultúrnym pamiatkam. Dotazník bol v obehu päť týždňov. Bol rozdelený do troch častí, prvá sa týkala otázok o respondentoch, druhá pozitívnych príkladov obnov a tretia zoradenia zásahov (od prijateľných po najmenej prijateľné), ktoré ovplyvňujú tepelnú ochranu dvojitej okennej konštrukcie. Celkovo obsahoval 25 otázok. Na základe dotazníka vznikol katalóg pozitívnych príkladov obnov okenných výplní, nešpecifikovaných podľa konštrukcie.

Na dotazník odpovedalo spolu 25 metodikov z každého krajského pamiatkového úradu aspoň dvaja. To znamená, že sa zapojilo zhruba 26% metodikov KPÚ. Viac ako polovica respondentov pracuje na KPÚ viac ako desať rokov a na otázku o ukončenom vzdelaní mali najväčšie zastúpenie historici umenia a architekti – Graf 4.1.

Nosnou témou dotazníka bolo energetické hľadisko historických okenných konštrukcií a ako k nemu pristupujú metodici z KPÚ. Na hlavnú otázku číslo 8., či je energetické hľadisko z pohľadu metodika KPÚ relevantná téma pri metodickom usmerňovaní projektantov a vlastníkov objektov respondenti odpovedali v pomere, ktorý vidíme na zovšeobecnenom Graf 4.2.

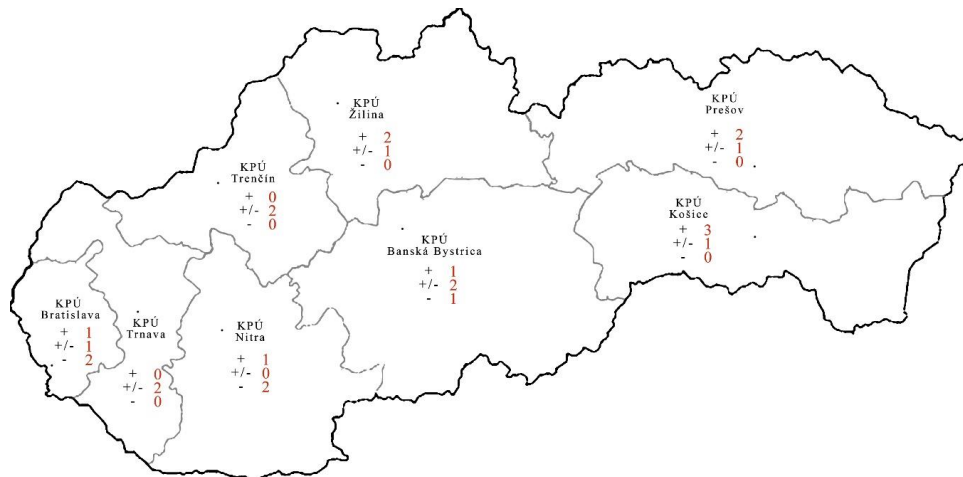


Graf 4.1 – Ukončené vzdelanie opýtaných respondentov



Graf 4.2: Relevanť energetického hľadiska pri metodickom usmerňovaní

Pred vyhodnotením bol predpoklad, že odpovede budú súvisieť s ukončeným vzdelaním a pre historikov, historikov umenia nebude energetické hľadisko relevantné a pre architektov naopak áno. Tento predpoklad sa vôbec nepotvrdil. Medzi opýtanými bol jeden stavebný inžinier a jeden archeológ/filológ a odpovede boli opačne ako sa predpokladalo. Pre stavebného inžiniera nebola téma energetického hľadiska relevantná a pre archeológa/filológa energetické hľadisko pri metodickom usmerňovaní projektantov a vlastníkov relevantné bolo. Jasná odpoveď nie na otázku o relevantnosti energetického hľadiska prišla len od piatich respondentov, z toho od dvoch z Bratislavy, dvoch z Nitry a jedného z Banskej Bystrice, takže ani predpoklad, že na západnom Slovensku budú metodici na túto otázku odpovedať skôr kladne, z dôvodu silnejšieho tlaku od majiteľov a projektantov sa nepotvrdil. Z Obr. 4.1 vidíme, že podľa dotazníka tiež vyšiel presný opak a skôr na východnom Slovensku je pre metodikov KPÚ otázka energetického hľadiska relevantná.



Obr. 4.1 – Mapa zobrazujúca, v ktorých KPÚ metodici považujú energetické hľadisko ako relevantnú tému pri metodickom usmerňovaní projektantov a vlastníkov. (+ áno, +/- čiastočne, - nie)

Druhou veľmi dôležitou otázkou dotazníka bola otázka číslo 9 a to, aké možné úpravy pri pamiatkovej obnove okennej výplne považujete za prípustné pri zlepšení jej tepelnotechnických vlastností? Zaujímavé bolo, že až 80% opýtaných spomenulo vloženie izolačných dvojskiel. Niektorí k tejto odpovedi doplnili, napr.:

- ak obnovovaná výplň nie je originál je možné uvažovať o použití izolačného dvojskla, pri origináloch nie
- vloženie izolačného dvojskla bez zmeny hrúbky profilov
- je ideálne ak ide o vnútorné krídla,
- izolačné dvojsklo by malo mať minimálnu hrúbku a malo by sa použiť len, ak nepríde k nepriaznivej zmene pohľadovej hrúbky rámu
- použiť pri dodržaní čo najsubtílnejších rámov
- ak sa jedná o vyrábanie nového okna ako reprodukcie toho pôvodného, je prípustné upraviť okenné krídla alebo rám tak, aby sa okno dalo riešiť s použitím izolačného dvojskla
- vloženie izolačných skiel do originálnych rámov, výmena rámov s vložením izolačných dvojskiel

Spolu s izolačným dvojsklom bola častá odpoveď doplnenie tesnení, v dvoch odpovediach aj s vyfrézovaním drážky pre tesnenie. V odpovediach sa objavili aj interiérové okenice, závesy, termonáter ostení okien a využitie systému, ktorý tam pôvodne bol napr. Eslingerove rolety.

Vyhodnotenie otázok číslo 10 až 24, ktoré patrili do skupiny zoradenia zásahov (od prijateľných po najmenej prijateľné), ktoré ovplyvňujú tepelnú ochranu dvojitej okennej konštrukcie je zhrnuté na Grafe 7.2. Niektorí respondenti, ale upozornili, že pri rozoberaní jednotlivých otázok a pri aplikácii na rôzne objekty by sme sa pravdepodobne dopracovali aj k úplne rôznym odpovediam.



Graf 4.3 – Zoradenie zásahov (od prijateľných – 0, po najmenej prijateľné – 10), ktoré môžu ovplyvniť tepelnú ochranu dvojitej okennej konštrukcie

Z odpovedí na otázku číslo 9 aj na poslednú otázku číslo 25, v ktorej bola možnosť svoje predchádzajúce odpovede v dotazníku doplniť môžeme konštatovať, že konkrétna metodika obnovy okennej výplne je vždy individuálna a závislá od množstva faktorov, ktoré by sme mohli rozdeliť do troch skupín. Prvá skupina faktorov sa viaže ku konkrétnemu objektu a stupňu jeho ochrany. Metodici rozdielne pristupujú k okennej výplni, ktorá je súčasťou NKP, je súčasťou objektu, ktorý je vytypovaný na zápis za KP alebo je súčasťou objektu, ktorý sa nachádza v pamiatkovom území a nemá status NKP.⁴

Druhá skupina faktorov sa viaže na konkrétne okno. Pri tejto skupine by sme faktory mohli rozdeliť do troch podskupín a to:

- esteticko-slohová charakteristika výplne, posudzovaná v kontexte štýlového výrazu fasád
- stavebno-technický stav výplne a či je okno možné repasovať
- stavebno-konštrukčné vlastnosti výplne a jej detailov ako spôsob otvárania, hrúbka profilov, poloha osadenia okna v konštrukcii...

Tretia skupina faktorov sa viaže na jednotlivé zásahy, či sa napr. rolety alebo okenice na oknách nachádzali aj pôvodne. Vnútrné drevené okenice sú vítané tam, kde sú typické – napr. pri mestských domoch 18. a 19. storočia, ale nemusia byť vhodné inde. Pri výmene jednoduchého zasklenia za dvojsklo je potrebné nemeniť hrúbky profilov existujúceho okna a dištančnú pásku v dvojskle farebne zjednotiť s farbou okna. Je veľmi časté, že hrúbka medzi sklami je max 6-8 mm.. Originálne okenné krídla je možné meniť len v prípade nevyhovujúceho stavu, nie len z dôvodu potreby zasklenia. Pri použití tepelnoizolačnej fólie je dôležité vybrať takú, aby fólia nezmenila farbu skla a nebola reflexná.

⁴ „Pamiatkové územie je sídelný územný celok alebo krajinný územný celok sústredených pamiatkových hodnôt alebo archeologických nálezov a archeologických nálezísk, ktorý je z dôvodu ich ochrany podľa tohto zákona vyhlásený za pamiatkovú rezerváciu alebo pamiatkovú zónu.“[10]

5 Určovanie tepelnotechnických vlastností dvojitej okennej výplne

5.1 Počítačové určenie vlastností okna

5.1.1 Výber reprezentanta

Výber reprezentanta objektu rodinného domu v Banskej Štiavnici na ulici Horná Ružová 2, bol podmienený viacerými pragmatickými dôvodmi. Pred počítačovým určením vlastností okna bola ambícia zmerať okno v laboratóriu tepelnej techniky budov, ktoré sa nachádza na Stavebnej fakulte STU v klíma komore. Z toho vyplynula požiadavka na okennú výplň, ktorú by bolo možné priniesť na Stavebnú fakultu. K dispozícii sa naskytla presná replika výplne z druhej polovice 19. storočia. Od merania v laboratóriu vzišlo a výskum pokračoval s počítačovým určením vlastností okna. Rozhodla som sa pokračovať pri počítačovom určení vlastností s touto okennou výplňou. Prvým dôvodom bolo, že ide o reprezentanta, ktorý zastupuje skupinu okenných výplní, ktorých výskyt v pamiatkovom fonde je jedným z najrozšírenejších. Druhým dôvodom bolo, že bola veľmi presne zhotovená dokumentácia k tejto okennej výplni a tretím dôvodom, že na objekte sa nachádza zachovaný originál a teraz už aj replika. V budúcnosti by bolo možné zopakovať meranie in situ a porovnať výsledky.



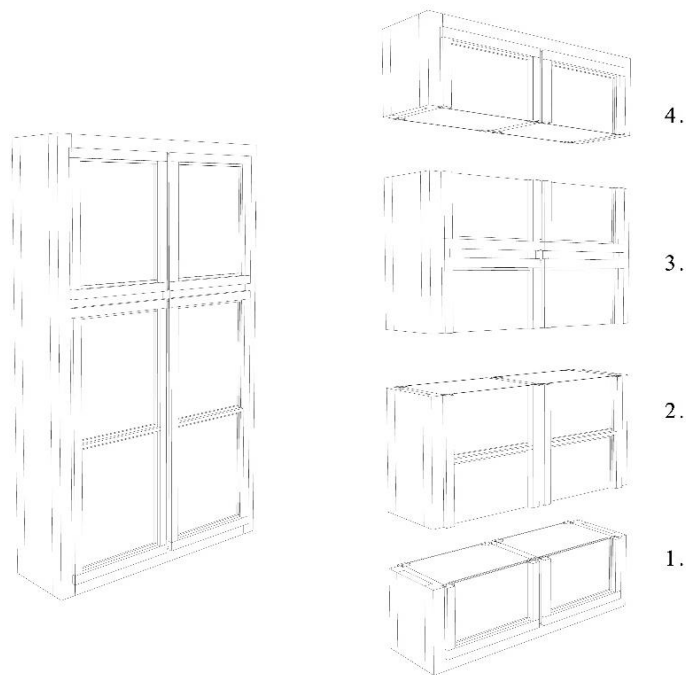
Obr. 5.1 – Pohľad na repliku a zachovanú okennú výplň (Zdroj: archív autorky, 2024, Banská Štiavnica)

5.1.1 Priebeh počítačového určenia vlastností okna

Veľká časť počítačového určenia vlastností vybraného reprezentanta dvojitého okna prebehla v programe Cube3D 2017 [5].

Modelovanie dvojitého okna v programe Cube3D 2017

Kvôli obmedzeniam ako je maximálne 100 hranolových homogénnych oblastí a maximálne 100 okrajových podmienok, bolo potrebné vybrané okno a určité detaily zjednodušiť, rozdeliť. Dvojitá okenná výplň bola najskôr vymodelovaná v programe SketchUp free [6] a až dodatočne zadaná v programe Cube3D na štyri časti. Takýto postup bol zvolený, kvôli zložitosti zadávania súradníc hraníc oblastí v programe Cube3D 2017. Rovina rezu okna a rozdelenie na 4 časti bolo vždy v polovici výšky zasklenia Obr. 5.2



Obr. 5.2 – Zjednodušené vybrané okno a rozdelené na 4 časti

Tab. 5.1– Základné rozmery riešeného okna

A_{wi} – plocha vnútorného okna	1,375 m ²
A_{we} – plocha vonkajšieho okna	1,375 m ²
A_{gi} – plocha vnútorného zasklenia	0,770 m ²
A_{ge} – plocha vonkajšieho zasklenia	0,850 m ²
A_{ri} – plocha vnútorného rámu a krídla	0,605 m ²
A_{re} – plocha vonkajšieho rámu a krídla	0,525 m ²
l_{gi} – obvod zasklenia v interiérovom krídle	8,652 m
l_{ge} – obvod zasklenia v exteriérovom krídle	9,084 m

Výpočet súčiniteľa prechodu tepla zasklenia

Pre výpočet tepelného odporu vzduchovej vrstvy medzi sklami a z toho určenie ekvivalentného súčiniteľa tepelnej vodivosti uzavretej vzduchovej vrstvy som postupovala podľa vzťahov nasledovne:

Grashofovo číslo:

$$Gr = \frac{g \cdot \Delta T \cdot dg^3 \cdot \rho^2}{\mu^2 \cdot T_m} = \frac{9,81 \cdot 15 \cdot 0,263^3 \cdot 1,232^2}{(1,761 \cdot 10^{-5})^2 \cdot 283} = 46296033,126$$

Prandtlovo číslo:

$$Pr = \frac{\mu \cdot c}{\lambda} = \frac{1,761 \cdot 10^{-5} \cdot 1008}{0,02496} = 0,711$$

Nusseltovo číslo:

$$Nu = 0,035 \cdot (Gr \cdot Pr)^2 = 0,035 \cdot (46296033,126 \cdot 0,711)^2 = 25,161$$

Upravený súčiniteľ vzájomného sálenia:

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} = \frac{1}{\frac{1}{0,84} + \frac{1}{0,84} - 1} = 0,724$$

Výpočet tepelného odporu vzduchovej vrstvy medzi sklami podľa vzťahu:

$$\frac{1}{R_g} = 25,161 \cdot \frac{0,0249}{0,263} + 4,5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,724 \cdot 283^3 = 6,110 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$R_g = 0,164 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$$

Súčiniteľa tepelnej vodivosti uzavretej vzduchovej medzery:

$$\lambda_g = \frac{d_g}{R_g} = \frac{0,263}{0,164} = 1,607 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

U_g hodnota zasklenia dvojitého okna bola vypočítaná podľa vzťahu:

$$U_g = \frac{1}{0,13 + \frac{0,004}{1} + 0,164 + \frac{0,004}{1} + 0,04} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$U_g = 2,924 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Súčiniteľ prechodu tepla rámu okna U_{fi} a U_{fe}

Pre stanovenie, presnejšej hodnoty U_f bol použitý 3D model vytvorený v programe Cube3D 2017. Cieľom bolo minimalizovať tepelné toky cez zasklenie, tak aby ich hlavná časť prechádzala cez drevenú rámovú konštrukciu. Toto sa dosiahlo takým spôsobom, že za súčiteľ tepelnej vodivosti zasklenia bola dosadená hodnota 0,0001W/m.K. Aby bolo možné v programe odčítať hodnotu tepelného toku zvlášť cez drevenú rámovú konštrukciu a cez zasklenie, musela byť zadaná na zasklení iná teplota, a to na interiérovej strane 19,9°C a na exteriérovej strane 0,1 °C. Na drevenej rámovej konštrukcii boli zadané štandardné okrajové podmienky, a to na interiérovej strane teplota 20°C a na exteriérovej strane 0°C. Výhoda programu vzhľadom na meranie je v tom, že keď sa minimálne zmenia teploty, môžeme priamo odčítať tepelný tok, ktorý prechádza cez zasklenie a tepelný tok prechádzajúci cez rám.

Pre výpočet U_{fi} a U_{fe} sme dostali z programu Cube3D 2017 pre každú časť tepelný tok Q.

Tab. 5.2 – Výňatky z protokolov potrebné na výpočet Súčiniteľ prechodu tepla rámu z programu Cube3D 2017[5]

Číslo časti ⁵	Zadané a vypočítané hodnoty jednotlivých častí rámov a zasklení ⁶						
1.	Prostředí	T [C]	Rs [m²K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W]	Propust. L [W/K]
	1	0.0	0.04	80	0.13	-3.96237	---
	2	0.1	0.04	80	0.11	-0.30447	---

⁵ Časti okna sú rozdelené podľa Obr. 5.2

⁶ Modrou farbou sú vyznačené exteriérové časti rámu, červenou farbou sú vyznačené interiérové časti rámu

	3	20.0	0.13	50	15.93	2.57663	---
	4	20.0	0.20	50	14.39	1.39318	---
	5	19.9	0.13	50	16.32	0.29775	---
2.	Prostředí	T [C]	Rs [m ² K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W]	Propust. L [W/K]
	1	0.0	0.04	80	0.44	-4.42494	---
	2	0.1	0.04	80	0.11	-0.71073	---
	3	20.0	0.13	50	15.94	2.16066	---
	4	20.0	0.20	50	14.41	2.31132	---
	5	19.9	0.13	50	16.42	0.66419	---
3.	Prostředí	T [C]	Rs [m ² K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W]	Propust. L [W/K]
	1	0.0	0.04	80	0.16	-7.82162	---
	2	0.1	0.04	80	0.11	-0.74639	---
	3	20.0	0.13	50	16.35	2.35946	---
	4	20.0	0.20	50	15.54	2.33104	---
	5	19.9	0.13	50	15.39	3.87832	---
4.	Prostředí	T [C]	Rs [m ² K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W]	Propust. L [W/K]
	1	0.0	0.04	80	0.13	-3.95694	---
	2	0.1	0.04	80	0.11	-0.29796	---
	3	20.0	0.13	50	15.93	2.57854	---
	4	20.0	0.20	50	14.42	1.38332	---
	5	19.9	0.13	50	16.37	0.29348	---

$$Q_e = 3,96237 + 4,42494 + 7,00362 + 3,95694 = 19,34787W$$

$$Q_i = 2,57663 + 1,39318 + 2,16066 + 2,31132 + 2,9605 + 3,34685 + 2,57854 + 1,38332 = 18,711W$$

Pre výpočet tepelnej priepustnosti (vodivosti) použijeme vzťah (5.1) a (5.2),

$$L_e = \frac{Q_e}{\Delta T} \text{ [W/K]} \quad (5.1)$$

kde L_e je tepelná priepustnosť z exteriérovej strany,
 Q_e – tepelný tok z exteriérovej strany vo W,
 ΔT – rozdiel teplôt v K,

$$L_i = \frac{Q_i}{\Delta T} \text{ [W/K]} \quad (5.2)$$

kde L_i je tepelná priepustnosť z interiérovej strany,
 Q_i – tepelný tok z interiérovej strany vo W,
 ΔT – rozdiel teplôt v K.

$$L_e = \frac{19,348}{20} = 0,967 \text{ [W/K]}$$

$$L_i = \frac{18,711}{20} = 0,936 \text{ [W/K]}$$

Pre výpočet súčiniteľa prechodu tepla rámu na interiérovej a na exteriérovej strane z Cube3D 2017 použijeme vzťahy (5.3) a (5.4).

$$U_{fe} = \frac{L_e}{A_{fe}} \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{K)]} \quad (5.3)$$

kde U_{fe} je súčiniteľ prechodu tepla vonkajšieho rámu a krídla,
 L_e – je tepelná priepustnosť z exteriérovej strany vo W/K,

A_{fe} – plocha vonkajšieho rámu a krídla v m^2 ,

$$U_{fi} = \frac{L_i}{A_{fi}} [W/(m^2 \cdot K)] \quad (5.4)$$

kde U_{fi} je súčiniteľ prechodu tepla vnútorného rámu a krídla,

L_i – je tepelná priepustnosť z interiérovej strany vo W/K,

A_{fi} – plocha vnútorného rámu a krídla v m^2 .

$$U_{fe} = \frac{0,967}{0,525} = 1,842 W/(m^2 \cdot K)$$

$$U_{fi} = \frac{0,936}{0,605} = 1,547 W/(m^2 \cdot K)$$

Na výpočet U_f použijeme vzťah (6.5).

$$U_f = \frac{U_{fe} \cdot A_{fe} + U_{fi} \cdot A_{fi}}{A_{fe} + A_{fi}} [W/(m^2 \cdot K)] \quad (5.5)$$

kde: U_f je súčiniteľ prechodu tepla rámu okna,

U_{fe} – súčiniteľ prechodu tepla vonkajšieho rámu a krídla vo $W/(m^2 \cdot K)$,

A_{fe} – plocha vonkajšieho rámu a krídla v m^2 ,

U_{fi} – súčiniteľ prechodu tepla vnútorného rámu a krídla vo $W/(m^2 \cdot K)$,

A_{fi} – plocha vnútorného rámu a krídla v m^2 .

$$U_f = \frac{1,842 \cdot 0,525 + 1,547 \cdot 0,605}{0,525 + 0,605} = 1,684 W/(m^2 \cdot K)$$

Výpočet súčiniteľa prechodu tepla dvojitého okna

Zadané okrajové podmienky:

Referenčné teplotné podmienky boli zadané podľa normy STN EN ISO 10077-2 pre interiér 20 °C a pre exteriér 0°C. Odpor pri prestupe tepla na vonkajšej a vnútornej strane povrchu okna boli zadané podľa **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**

Z programu Cube3D 2017 sme dostali pre každú časť Priepustnosť L .

Tab. 5.3 – Výňatky z protokolov potrebné na výpočet Súčiniteľ prechodu tepla okna z programu Cube3D 2017 [5]

Číslo častí ⁷	Zadané a vypočítané hodnoty jednotlivých častí okna						
1.	NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSToty TEPELNÉHO TOKU:						
	Prostředí	T [C]	Rs [m²K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W]	Propust. L ₁ [W/K]
	1	0.0	0.04	80	0.09	-11.55700	0.57785
	2	20.0	0.13	50	12.32	9.87099	0.49355
	3	20.0	0.20	50	12.32	1.68691	0.08435
2.	NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSToty TEPELNÉHO TOKU:						
	Prostředí	T [C]	Rs [m²K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W]	Propust. L ₂ [W/K]

⁷ Časti okna sú rozdelené podľa Obr. 5.2

	1	0.0	0.04	80	0.26	-20.07318	1.00366
	2	20.0	0.13	50	12.24	17.06755	0.85338
	3	20.0	0.20	50	12.24	3.00652	0.15033
3.	NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSToty TEPELNÉHO TOKU:						
	Prostředí	T [C]	Rs [m ² K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W]	Propust. L ₃ [W/K]
	1	0.0	0.04	80	0.10	-22.86372	1.14319
	2	20.0	0.13	50	12.50	18.85330	0.94267
	3	20.0	0.20	50	12.72	4.01138	0.20057
4.	NEJNIŽŠÍ POVRCHOVÉ TEPLoty A HUSToty TEPELNÉHO TOKU:						
	Prostředí	T [C]	Rs [m ² K/W]	R.H. [%]	Ts,min [C]	Tep.tok Q [W]	Propust. L ₄ [W/K]
	1	0.0	0.04	80	0.10	-11.55259	0.57763
	2	20.0	0.13	50	12.32	9.87188	0.49359
	3	20.0	0.20	50	12.32	1.68155	0.08408

Pre celkovú tepelnú vodivosť (priepustnosť) celého okna použijeme vzťah (5.4), kde sčítame tepelnú vodivosť všetkých 4 častí určených z 3D výpočtu.

$$L^{3D} = L_1 + L_2 + L_3 + L_4 \quad [\text{W/K}] \quad (5.4)$$

Kde: L^{3D} – Tepelná vodivosť (priepustnosť) určená z 2D výpočtu v W/(m.K)

L_x – Tepelná vodivosť (priepustnosť) časti x v W/(m.K)

$$L^{2D} = 0,57785 + 1,00366 + 1,14319 + 0,57763 = 3,30233 \text{ W/K}$$

Pre výpočet súčiniteľa prechodu tepla z Cube3D 2017 použijeme vzťah (5.2).

$$U_{w3D} = \frac{3,302}{1,375} = 2,401 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Na základe vzťahu (5.3) môžeme odvodiť vzťah (6.5)

$$\Psi_g = \frac{U_w \cdot (A_{gi} + A_{ge} + A_{fi} + A_{fe}) - U_g \cdot A_{gi} - U_g \cdot A_{ge} - U_{fi} \cdot A_{fi} - U_{fe} \cdot A_{fe}}{(l_{gi} + l_{ge})} \quad [\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})] \quad (5.5)$$

$$\Psi_g = \frac{2,401 \cdot 2,75 - 2,924 \cdot 0,770 - 2,924 \cdot 0,850 - 1,547 \cdot 0,605 - 1,842 \cdot 0,525}{17,736}$$

$$\Psi_g = -0,002 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Podľa rozpisaneho postupu v kapitole 6 boli vymodelované a vypočítané všetky varianty, ktoré sa nachádzajú v Tab. 5.4. Výsledky výpočtov z kapitoly 6 sú zhrnuté v Tab. 5.5

Tab. 5.4 – Popis variantov, ktoré boli modelované a vypočítané v programe Cube3D 2017

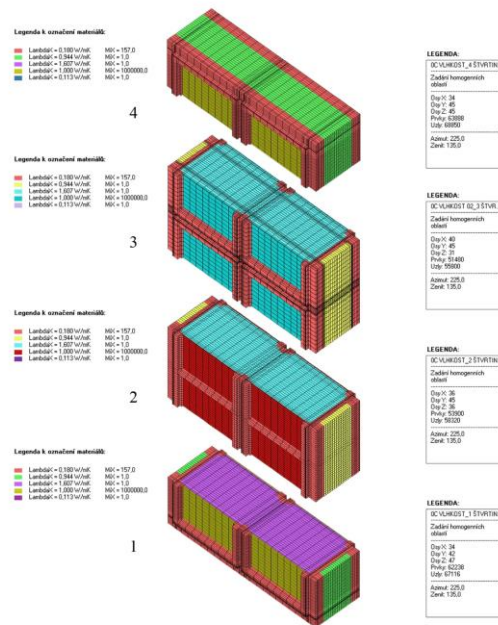
Názov variantu v práci	Opis
Základný stav	Dvojitá okenná výplň počíta s hrúbkou každého zasklenia 0,004 m a keďže som nemala informácie o druhu rámu pôvodného dreva, uvažovala som s $\lambda=0,18 \text{ W/(m.K)}$
Replika okennej výplne	Reálny variant, ktorý bude použitý pri obnove, na rám a krídla bol použitý smrek biely $\lambda=0,13 \text{ W/(m.K)}$
Termoizolačná folia	Variant vychádza zo základného stavu, počítam s termoizolačnou fóliou na jednej strane s emisivitou $\epsilon=0,39$
Termoizolačné folie	Variant vychádza zo základného stavu, počítam s termoizolačnou fóliou na oboch stranách s emisivitou $\epsilon=0,39$
Vakuové zasklenie na exteriérovej strane	Variant vychádza zo základného stavu, na exteriérovej strane je použité vákuové zasklenie s parametrami zasklenia Fineo by AGC $U_g=0,7$
Vakuové zasklenie interierovej strane	Variant vychádza zo základného stavu na interierovej strane je použité vákuové zasklenie s parametrami zasklenia Fineo by AGC $U_g=0,7$
Vakuové zasklenie na oboch stranách	Variant vychádza zo základného stavu na interierovej aj exteriérovej strane je použité vákuové zasklenie s parametrami zasklenia Fineo by AGC $U_g=0,7$
Replika+ vakuové zasklenie na oboch stranách	Variant uvažuje, že na rám a krídla je použitý smrek biely $\lambda=0,13 \text{ W/(m.K)}$ a na interierovej aj exteriérovej strane je použité vákuové zasklenie s parametrami zasklenia Fineo by AGC $U_g=0,7$
Izolačné dvojsklo na vnútornej strane	Variant vychádza zo základného stavu na interierovej strane je použité izolačné dvojsklo 4,8,4 vyplnené kryptónom, vnútorné sklo s nízkoemisnou úpravou $\epsilon_1 = 0,05$ a $\epsilon_2 = 0,84$. Fyzikálne vlastnosti kryptónu budeme uvažovať podľa tabuľky 4 v prílohe pri teplote $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Vnútorné krídlo uvažujeme ako náznak so zmenou hrúbky krídla z 35mm na 55 mm s $\lambda=0,13 \text{ W/(m.K)}$ pre nové krídlo.
Izolačné dvojsklo na vonkajšej strane	Variant vychádza zo základného stavu na exteriérovej strane je použité izolačné dvojsklo 4,8,4 vyplnené kryptónom, vnútorné sklo s nízkoemisnou úpravou $\epsilon_1 = 0,05$ a $\epsilon_2 = 0,84$. Fyzikálne vlastnosti kryptónu budeme uvažovať podľa tabuľky 4 v prílohe pri teplote $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Vonkajšie krídlo uvažujeme ako náznak so zmenou hrúbky krídla z 35mm na 55 mm s $\lambda=0,13 \text{ W/(m.K)}$ pre nové krídlo.
Izolačné dvojsklo na oboch stranách	Variant vychádza zo základného stavu na exteriérovej aj interierovej strane je použité izolačné dvojsklo vyplnené kryptónom, vnútorné sklo s nízkoemisnou úpravou $\epsilon_1 = 0,05$ a $\epsilon_2 = 0,84$. Fyzikálne vlastnosti kryptónu budeme uvažovať podľa tabuľky 4 v prílohe pri teplote $10 \text{ }^\circ\text{C}$. Krídla uvažujeme ako náznak so zmenou hrúbky krídiel z 35mm na 55 mm s $\lambda=0,13 \text{ W/(m.K)}$ pre nové krídla.

5.1.2 Vyhodnotenie – čiastkový záver

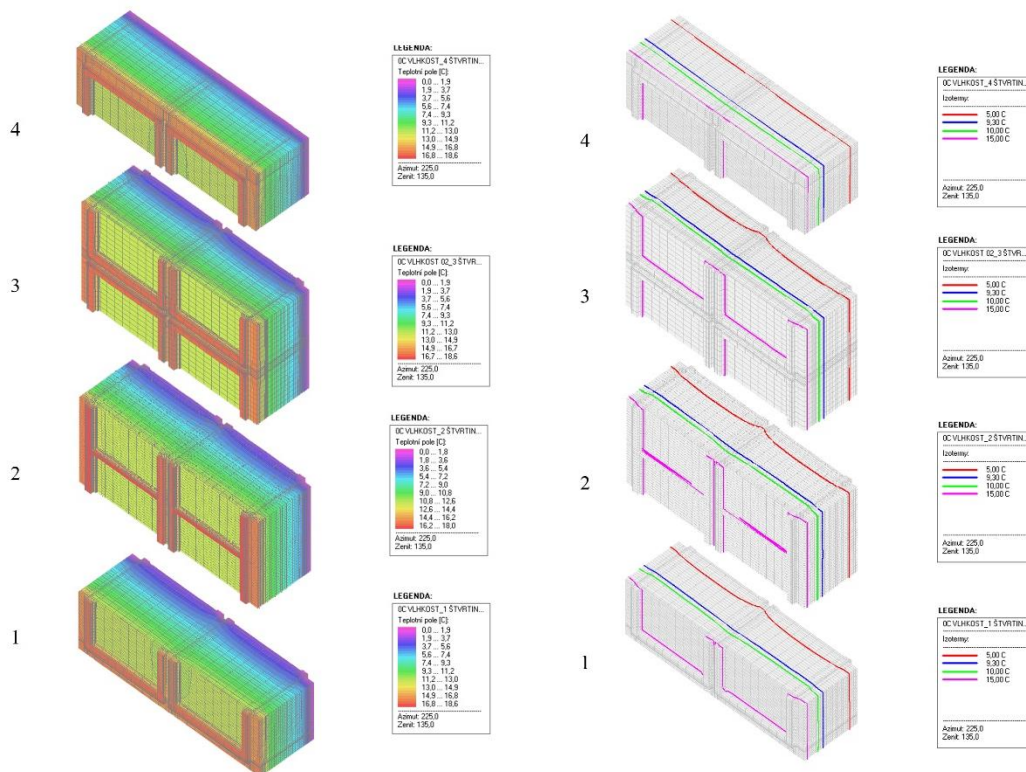
Výpočet pomocou programu Cube3D 2017 pre základný tvar dvojitej okennej výplne vyšiel pre súčiniteľ prechodu tepla $U_{w3D}=2,401 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$. Norma STN 73 0540-3: 2012 uvádza pre dvojitú okennú výplň súčiniteľ prechodu tepla $U_w=2,35 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$ [7, s. 55], čo znamená že vypočítaná hodnota bola o 2% vyššia ako normová hodnota. Česká metodika Národného pamiatkového ústavu uvádza hodnotu $U_w=2,45 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$ [4, s. 83], čo znamená že naopak vypočítaná hodnota bola o 2% nižšia ako uvádza česká metodika. Odchýlky sú spôsobené tým, že boli merané rozdielne dvojité okenné výplne, ale môžeme predpokladať, že výpočty sú správne. Výpočet pomocou programu Area 2017 pre základný tvar dvojitej okennej výplne vyšiel pre súčiniteľ prechodu tepla $U_{w2D}=2,615 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$, čo je oproti norme STN 73 0540-3: 2012 hodnota vyššia o 11%.

Keďže chyba medzi 2D výpočtom v programe Area 2017 a výpočtom v programe Cube3D 2017 vyšla skoro 9% odporúčam robiť výpočty buď meraním v laboratóriu, pomocou 3D modelu alebo metodikou podľa normy STN EN ISO 10077-2: 2019. Keďže je 2D výpočet

mnohonásobne jednoduchší ako 3D výpočet, ale vykazuje výrazné chyby, odporúčam používať len na zistenie veľmi orientačnej hodnoty.



Obr. 5.3 – Zadane dvojite okno s popisom materiálov [5]



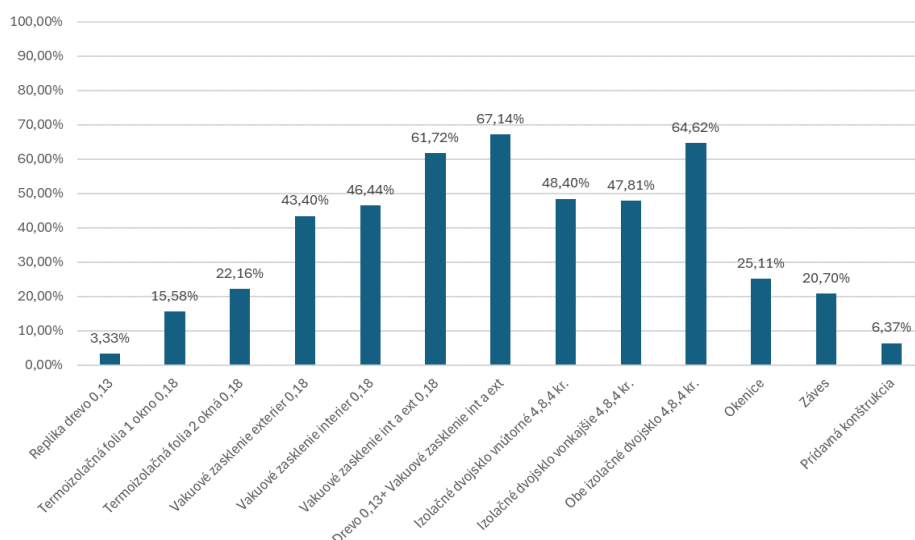
Obr. 5.4 – Priebeh teplôt a izoterm riešeného dvojiteho okna [5]

Tab. 5.5 – Výsledky riešených variantov drevených dvojítych okien počítaných a modelovaných v programe Cube2017 3D

Variant	U_w [W/(m ² .K)]	U_g [W/(m ² .K)]	U_f [W/(m ² .K)]	ψ [W/(m.K)]	%
Základný stav	2,401	2,924	1,684	-0,002	-
Replika	2,321	2,924	1,377	0,005	3,33
Termoizolačná fólia na jednej strane 0,18	2,027	2,421	1,684	-0,014	15,58
Termoizolačná fólia na oboch stranách 0,18	1,869	2,206	1,684	-0,019	22,16
Vákuové zasklenie na exteriérovej strane s drevom $\lambda = 0,18$ W/(m.K)	1,359	0,615	1,684	0,047	43,40
Vakuové zasklenie na interiérovej strane s drevom $\lambda = 0,18$ W/(m.K)	1,286	0,608	1,684	0,037	46,44
Vakuové zasklenie na interiérovej aj exteriérovej strane s drevom $\lambda = 0,18$ W/(m.K)	0,919	0,345	1,684	0,004	61,72
Vakuové zasklenie na interiérovej aj exteriérovej strane s drevom $\lambda = 0,13$ W/(m.K)	0,789	0,345	1,377	0,003	67,14
Izolačné dvojsklo na interiérovej strane 4,8,4 kr.	1,239	0,903	1,315	0,026	48,40
Izolačné dvojsklo na exteriérovej strane 4,8,4 kr.	1,253	0,910	1,315	0,027	47,81
Izolačné dvojsklo na interiérovej aj exteriérovej strane 4,8,4 kr.	0,85	0,546	1,093	0,012	64,62
Reverzibilná konštrukcia zasklenia	2,248				6,37
Vnútorná okenica	1,798				25,11
Záves	1,904				20,70

V Tab. 5.5 vidíme, že z tepelnotechnického hľadiska dosahuje najlepšie hodnoty variant, kedy uvažujeme nad replikou rámu spolu s vákuovým zasklením na interiérovej aj exteriérovej strane. Druhým najlepším je variant s izolačným dvojsklom vo vnútornom aj vonkajšom krídle, kedy sme ale zväčšili hrúbku rámu, a preto vychádza hodnota U_f lepšie ako hodnota pri prvom variante. Nasleduje variant v základnom tvare, kde sme vymenili obe zasklenia za vákuové. Nasledujú varianty, kde sme vymenili buď vnútorné alebo vonkajšie krídlo – to znamená izolačné dvojsklo plus zmena hrúbky krídla. Nasledujú varianty, ktoré vychádzajú zo základného stavu, takže bolo menené jednoduché zasklenie za vákuové na vonkajšej alebo vnútornej strane, kde prichádza k zlepšeniu zhruba o 45% od základného stavu. Vybraná fólia pomohla zlepšiť stav zhruba o 15%. A replika dvojitého okna s jednoduchým zasklením zlepšila základný stav len o 3,33%.

Variant okeníc vychádza z výpočtu podľa normy STN ,ale keďže nebol modelovaný v 3D programe z dôvodu programových obmedzení maximálneho počtu 100 homogénnych oblastí, je považovaný spolu s výpočtom závesu za orientačný. Výpočet reverzibilnej konštrukcie zasklenia bol modelovaný v programe Area2017, ktorý po zistení chyby medzi 2D a 3D výpočtom považujeme tiež za orientačný. S účinkom prídavnej tepelnej izolácie závesu môže byť počítané len v zastretom stave s čo najmenšími škárami.



Graf 5.1 – Percentuálne zobrazenie zlepšenia U hodnoty jednotlivých variantov

Tab. 5.6 – Účinok okeníc s vysokou a priemernou prievzdušnosťou aplikovaný na riešené varianty drevených dvojitých okien.

	U_w W/(m ² .K)	U_{ws} okno+okenica vysoká prievezdušnosť W/(m ² .K)	U_{ws} okno+okenica priemerná prievezdušnosť W/(m ² .K)
Základný stav	2,401	1,798	1,572
Replika	2,321	1,752	1,536
Vakuumové zasklenie na ext. strane	1,359	1,142	1,046
Vakuumové zasklenie na int. strane	1,286	1,09	1,002
Vakuumové zasklenie na int. aj ext. strane s drevom $\lambda = 0,18$ W/(m.K)	0,919	0,814	0,764
Vakuumové zasklenie na int. aj ext. strane s drevom $\lambda = 0,13$ W/(m.K)	0,789	0,711	0,672
Termoizolačná fólia na jednej strane	2,027	1,579	1,402
Termoizolačná fólia na obe strany	1,869	1,481	1,324
Izo. dvojsklo na int. strane	1,239	1,056	0,974
Izo. dvojsklo na ext. strane	1,253	1,066	0,982
Izo. dvojsklo na int. aj ext. strane	0,85	0,76	0,716

6 Záver

6.1 Vyhodnotenie cieľov práce

Dizertačná práca mala za cieľ hľadať určité postupy a spoločné východiská, ktoré by mohli pomôcť v praktickom rozhodovaní a projektovaní pri hľadaní argumentov, ktoré by sa usilovali o zachovanie originálov, prípadne by sa snažili o návrh takých opatrení pre zlepšenie tepelnotechnického hľadiska, ktoré by boli akceptované aj z hľadiska pamiatkovej starostlivosti.

Cieľom č.1 bolo overiť, či sú historické okenné výplne trvalo udržateľné, za súčasných nárokov na tepelný komfort. Vybraným reprezentantom sa stala dvojitá okenná výplň z druhej polovice 19. storočia, s vnútornými krídlami dnu otváracími a vonkajšími krídlami von

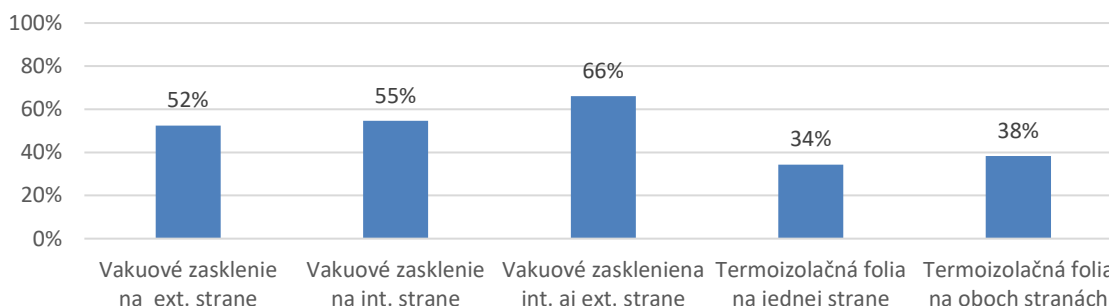
otvárajúmi.⁸ Vybraný reprezentant sa nachádza na objekte rodinného domu v Banskej Štiavnici na ulici Horná Ružová č.2. Predmetom záujmu bola aj replika, ktorá sa uplatní pri obnove objektu. V Tab. 5.5 – Výsledky riešených variantov je prezentované, že existujú zásahy, ktoré dokážu historické okenné výplne zlepšiť tak, že sa môžu priblížiť k hodnotám súčasných novodobých okenných výplní. Najlepšie hodnoty dosiahol variant, kedy do pôvodnej drevenej rámovej konštrukcie vkladáme vákuové zasklenie na vonkajšej aj vnútornej s hodnotu $U_w=0,919 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Normalizovaná požiadavka určené na nové budovy, ktorú musia splniť aj obnovené budovy, ak je to funkčne, technicky a ekonomicky uskutočniteľné je $U_{w,N}=0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. To znamená, že variant s vákuovým zasklením na vonkajšej aj vnútornej strane nespĺňa normovú požiadavku len s malým rozdielom.

Je potrebné si ale uvedomiť, že pri tomto variante spájame zasklenie s veľmi dobrými hodnotami s pôvodným rámom s veľmi zlými hodnotami z tepelnotechnického hľadiska. Výmena obyčajného zasklenia za vákuové výrazne pomôže z tepelnotechnického hľadiska okennej výplni, ale nesúlad zasklenia s tradičným rámom môže v konečnom dôsledku pôsobiť neprirodzene. Vlastniť alebo žiť v objekte s pamiatkovými hodnotami je ideálne, pre ľudí, ktorí sú ochotní prispôsobiť sa prirodzeným teplotným cyklom a adaptovať sa na rôzne teplotné podmienky. Teplotné preferencie môžu byť flexibilnejšie, než sa bežne predpokladá. Ľudia, ktorí majú možnosť ovplyvniť svoje prostredie, napríklad otvorením okien alebo uzavretím okeníc, sú často spokojní aj pri väčších teplotných výkyvoch.

Na druhej strane, ak sa na objekte zachovali okenice, prípadne iná prídavná tepelná izolácia, o ktorej vieme, že tam bola, je odporúčané ako z architektonického tak aj z tepelnotechnického hľadiska ich tam zanechať, prípadne doplniť. Okenice sú tradičným prostriedkom, ktorý sa v minulosti používal oveľa častejšie ako dnes. U_{ws} hodnota platí, keď sú okenice uzatvorené (väčšinou cez noc, kedy je v exteriéri nižšia teplota). Ďalšou prednosťou okeníc (ale aj iných prídavných tepelných izolácií) je zvukovoizolačný účinok a ochrana proti slnečnému žiareniu v letnom období.

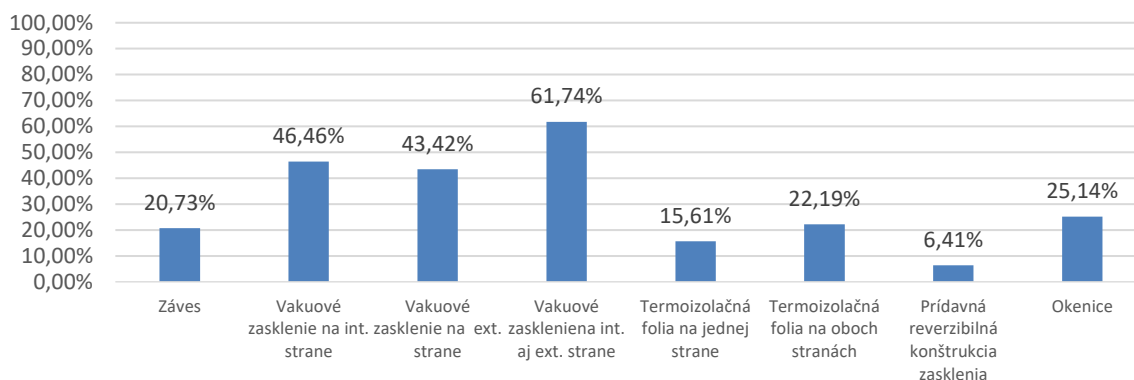
Cieľ č.2: Preveriť, za akých podmienok je možné zvýšiť energetickú efektívnosť historických okenných výplní.

Pri zachovanej dvojitej okennej výplni môžeme jej energetickú efektívnosť zvýšiť viacerými zásahmi. Vidíme zlepšenie na Graf 5.1 – Percentuálne zobrazenie zlepšenia U hodnoty jednotlivých variantov. V troch prípadoch bolo vymenené jednoduché zasklenie za vákuové, kedy pri výmene aj vnútorného aj vonkajšieho zasklenia dostávame najlepšie hodnoty z tepelnotechnického hľadiska. Ako bolo spomenuté vo vyhodnotení cieľa č.1 je nevyhnutné zohľadniť prirodzenosť a kompatibilitu nového zasklenia a pôvodného rámu. V Graf 6.1 a v Graf 6.3 vidíme percentuálne zobrazenie zlepšenia Súčiniteľa prechodu tepla variantov pri zachovaní pôvodného rámu s účinkom okenice s vysokou a s priemernou prievzdušnosťou. Cieľ bol splnený.

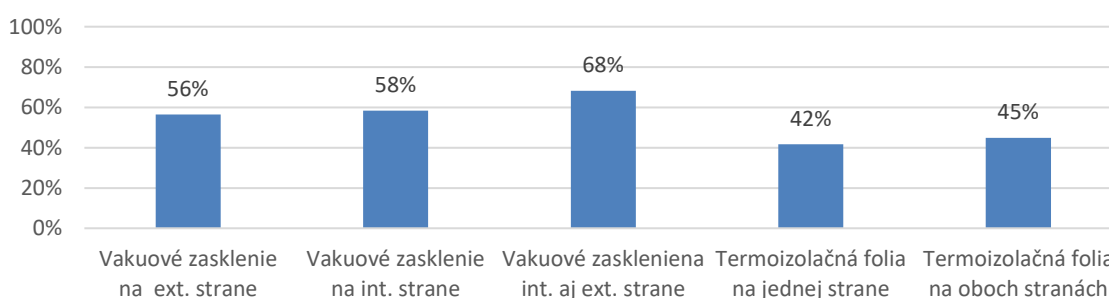


Graf 6.1 – Percentuálne zobrazenie zlepšenia súčiniteľa prechodu tepla variantov pri zachovaní pôvodného rámu s účinkom okenice s vysokou a s priemernou prievzdušnosťou.

⁸ Bližšie informácie, prečo bol vybraný tento reprezentant sa nachádza v podkapitole 5.1.1



Graf 6.2 – Percentuálne zobrazenie zlepšenia súčiniteľa prechodu tepla variantov pri zachovaní pôvodného rámu.



Graf 6.3 – Percentuálne zobrazenie zlepšenia Súčiniteľa prechodu tepla variantov pri zachovaní pôvodného rámu s účinkom okenice s priemernou prievzdušnosťou.

Cieľ č.3 bol aplikovať zistenia pri riešení modelového príkladu historického objektu a na základe toho doplniť súčasné poznatky o dvojítych okenných výplniach.

Tento cieľ sa čiastočne splnil. Zistenia aplikované pri riešení modelového príkladu na reprezentantovi z Banskej Štiavnice boli použité na stanovenie lineárnych stratových súčiniteľov pre pôvodný stav aj pre rôzne varianty spôsobov obnovy dvojítych okenných výplní (Tab. 7.5). Práca taktiež prináša spresnenie približnej výpočtovej metódy súčiniteľa prechodu tepla rámu podľa STN použitím nového spôsobu výpočtu súčiniteľa prechodu tepla dvojitej okenej výplne pomocou 3D programu Cube3D 2017.

Cieľ č.4 bol v prípade, že sa nezachovala pôvodná okenná výplň, na modelovom príklade dvojitej výplne hľadať optimálne riešenie z tepelnotechnického hľadiska, ktoré rešpektuje kritéria pamiatkovej obnovy. Tento cieľ bol čiastočne naplnený návrhom presnej repliky a jej overenia z tepelnotechnického hľadiska, v dvoch variantoch a to s jednoduchým zasklením s hodnotou súčiniteľa prechodu tepla $2,321 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ a s vákuovým zasklením na vonkajšej aj vnútornej strane s hodnotou súčiniteľa prechodu tepla $0,789 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Tento variant spĺňa normalizovanú požiadavku podľa *STN 73 0540-2 + Z1 + Z2: 2019* [8] určenú na nové budovy.

Cieľ č.5 bol vypracovanie katalógu historických okenných výplní spĺňajúce kritéria pamiatkovej ochrany.

Cieľ splnený. Vypracovaný katalóg pozitívnych príkladov obnov okenných výplní, nešpecifikovaných podľa konštrukcie vychádzal z odpovedí metodikov KPÚ, ktorí sa venujú usmerňovaniu pri obnove nehnuteľných NKP a objektov v pamiatkových územiach. Bol rozdelený do 4 kategórií a to pozitívne príklady **obnovy originálneho historického okna**,

pozitívne príklady **obnovy historického okna formou slohovej repliky**, pozitívne príklady obnovy zaniknutej historickej okennej výplne jej nahradením metódou náznakovej rekonštrukcie, pozitívne príklady **obnovy zaniknutej historickej okennej výplne jej nahradením novotvarom**. Z pamiatkových objektov zozbieraných v katalógu vyplynulo, že hodnotenie metodikov čo je kvalitná obnova je veľmi subjektívne.

Hlavná **hypotéza č.1**, že aj historické okno môže byť z energetického hľadiska za určitých podmienok akceptovateľné bola potvrdená. Historické okno môže byť za určitých podmienok energeticky účinné a v porovnaní so súčasnými okennými výplňami môže obstáť, ak sa implementujú vhodné opatrenia. Vhodnými zásahmi sa zachová ich estetická a historická hodnota, zatiaľ čo sa zlepší ich tepelnotechnické hľadisko.

Hypotéza č.2: Na zabezpečenie požadovaného komfortu užívateľa a zároveň požiadaviek pamiatkovej starostlivosti je potrebné uvažovať nad kompromisnými riešeniami. Táto hypotéza bola potvrdená. Pri obnove historických objektov je často nevyhnutné hľadať kompromisné riešenia, ktoré by neohrozili pamiatkové hodnoty a zároveň by splnili zabezpečenie požadovaného komfortu užívateľa. Ku každému prípadu obnovy okennej výplne pamiatkovo chráneného objektu treba pristupovať individuálne. Preferovať zásahy, ktoré sú reverzibilné, pri voľbe prídavnej tepelnej izolácie voliť také typy, ktoré sú kompatibilné a vieme, že sa na objekte v minulosti nachádzali.

Hypotéza č.3: Postup návrhu okennej výplne v historických objektoch obsahuje niektoré kritériá, ktoré pri návrhu do novostavieb nevstupujú. Hypotéza potvrdená. Pri návrhu okennej výplne v historických objektoch aj nechránených s pamiatkovými hodnotami je dôležité brať do úvahy špecifické kritériá ako napríklad uprednostniť tradičné materiály pred novodobými, navrhnutie okennej výplne ktorá bude kompatibilná s historickým vzhľadom a štýlom budovy a jej fasád, rešpektovanie pôvodných rozmerov a proporcií okennej výplne.

6.2 Zhrnutie prínosov práce

Praktický prínos práce spočíva v doplnení metodiky prístupu k obnove dvojítych okien z tepelnotechnického hľadiska v obytnej architektúre. Výsledky z dizertačnej práce môžu slúžiť ako pomôcka pri metodickom rozhodovaní pracovníkov krajských pamiatkových úradov, vlastníkov pamiatok a majiteľov historických objektov. Vypočítané hodnoty môžu slúžiť ako nástroj pri argumentácii prečo zachovať a aké sú možnosti zlepšenia dvojítych okenných výplní, ktoré každoročne ubúdajú aj kvôli silnej reklame v prospech novodobých okien. Práca prináša diapazón zásahov, ktoré môžu pomôcť zachovať pôvodné výplne a môžu byť využité pri obnove dvojítych okien.

Práca je určená aj pre architektov a projektantov, kedy pomocou výsledkov z počítačového určovania vlastností môžu stanoviť približné hodnoty súčiniteľa prechodu tepla podobnej dvojitej okennej výplne bez náročného modelovania 3D modelu okna. Úlohou architektov je nielen vytvárať esteticky príjemné a funkčné priestory, ale aj podporovať spôsob života, ktorý je udržateľný a v harmónii s prostredím. Z dejín poznáme tradičné riešenia ako okenice, ťažké závesy, koberce na podlahách, na stenách miestností, drevené taflovanie a iné, ktorými si naši predkovia zvyšovali komfort v miestnostiach. Hoci sa dnes už často nepoužívajú tradičné prvky ako napríklad okenice, architekti by ich mohli znovu začleniť do svojich návrhov ako súčasť časom overených a funkčných riešení.

Historický vývoj okien a zasklenia spolu s výsledkami z dotazníka a počítačového určovania vlastností dvojítych okenných výplní môžu byť použité vo výučbe predmetov spojených s obnovou historických objektov.

Vedecký prínos dizertačnej práce spočíva v stanovení lineárnych stratových súčiniteľov pre pôvodný stav aj pre rôzne varianty spôsobov obnovy dvojítych okenných výplní (Tab. 5.5 – Výsledky riešených variantov drevených dvojítych okien počítaných a modelovaných v programe Cube2017 3D). Práca taktiež prináša spresnenie približnej výpočtovej metódy

súčiniteľa prechodu tepla rámu podľa STN použitím nového spôsobu výpočtu súčiniteľa prechodu tepla dvojitej okennej výplne pomocou 3D programu Cube3D 2017. (0 s. 66-69)

6.2.1 Odporúčanie pre ďalší výskum

Práca riešila špecifickú časť problematiky z tepelnotechnického hľadiska, ktorá sa zameriavala na dvojité okno z druhej polovice 19. storočia v zimnom období. Práca by mohla byť prínosom ako podklad pre ďalší výskum v letnom období.

- [1] *Plán obnovy. Cestovná mapa k lepšiemu Slovensku.: Komponent 2. Obnova budov. Európsky sociálny fond.* Online. In: . Dostupné z: <https://www.planobnovy.sk/site/assets/files/1019/kompletny-plan-obnovy.pdf>. [cit. 2024-04-10].
- [2] *Plán obnovy a odolnosti SR, Komponent 2: Obnova budov Reforma zvýšenia transparentnosti a zefektívnenia rozhodnutí Pamiatkového úradu SR: B. Metodika princípov rozhodovania Pamiatkového úradu SR vo veciach stavebnotechnického /alebo reštaurátorského/ zásahu, časť 8. Stavebná časť – stavebné prvky.* Online. Pamiatkový úrad Slovenskej republiky, 2023. [cit. 2024-04-29].
- [3] IŽVOLT, Pavol a SMATANOVÁ, Katarína. *Energetická efektivita historických stavieb.* Online. Plán obnovy a odolnosti SR, Komponent 2: Obnova budov Reforma zvýšenia transparentnosti a zefektívnenia rozhodnutí Pamiatkového úradu SR: B. Metodika princípov rozhodovania Pamiatkového úradu SR vo veciach stavebnotechnického /alebo reštaurátorského/ zásahu, časť 11. Súčasné požiadavky na výstavbu. Pamiatkový úrad Slovenskej republiky, 2023. Dostupné z: https://www.pamiatky.sk/fileadmin/documents/PAMIS/metodiky/B/11_Sucasne_poziadavky_na_vystavbu/Energeticka_efektivita_historickych_stavieb.pdf. [cit. 2024-04-29].
- [4] BÁČOVÁ, Marie. *Obnova okenných výplní a výkladců.* Odborné a metodické publikace (Národní památkový ústav). Praha: Národní památkový ústav, ústřední pracoviště, 2010. ISBN 978-80-87104-58-3.
- [5] SVOBODA, Zbyněk. *Cube3D 2017: Počítačový program na riešenie trojrozmerného stacionárneho poľa teplôt, čiastočných tlakov vodnej pary a výpočet tepelných tokov.* Software.
- [6] SCHELL, Brad a ESCH, Joe. *SketchUp free: 3D modelovací počítačový program, pre architektúru, interiérový dizajn, stavebníctvo a strojárstvo, filmy a herný dizajn.*
- [7] *STN 73 0540-3: 2012, Tepelná ochrana budov. Tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov.*
- [8] *STN 73 0540-2 + Z1 + Z2: 2019, Tepelná ochrana budov. Tepelnotechnické vlastnosti stavebných konštrukcií a budov. Časť 2, Funkčné požiadavky.* Konsolidované znenie. Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR, 2019.
- [9] PAGÁČOVÁ, Petronela. *Aspekty udržateľnosti pri obnove pamiatkovo chránených štruktúr.* Dizertačná práca, vedúci Jana Gregorová. Slovenská technická univerzita v Bratislave, Fakulta architektúry, 2015.
- [10] Zákon č. 49/2002 Z. z. o ochrane pamiatkového fondu. In: *Zbierka zákonov Slovenskej republiky.* 2002, § 2 ods. 4.

Publikačná činnosť

AGI/11- KVASNICOVÁ, Magdaléna, Karol ĎURIAN, Mojmir CHOMA, Juraj TURCSÁNY, Nora NADDOUROVÁ, Martin POLIAK a Lukáš VARGIC. 2020. *Mlyn vodný, Horná 4, Modra: architektonicko-historický výskum, textová časť a fotodokumentácia*. STU Bratislava.

BEF/O3- NADDOUROVÁ, Nora. 2020. Historické okno a jeho osud dnes. *Kultúrny kyslík: Tradícia a jej ochrana v procese projektovania obnovy pamiatok*. 7(5): 20-20. ISSN 1339-6919.

BAB/O1- BRANICKÝ, Filip, Roman RUHIG, Ema RUHIGOVÁ, Nora NADDOUROVÁ, Martin POLIAK, Alexander TOPILIN, Lukáš VARGIC a Pavel PAŇÁK. 2019. *Archtrip 2018*. Piešťany: Pre-um, 119 s. ISBN 978-80-89954-03-2.

BAB/O1- BRANICKÝ, Filip, Nora NADDOUROVÁ, Martin POLIAK, Lukáš VARGIC a Pavol PAŇÁK. 2020. *Archtrip 2019 – bedeker*. Bratislava: Pre-um. ISBN 978-80-89954-07-0.

BAB/O1- BRANICKÝ, Filip, Nora NADDOUROVÁ, Martin POLIAK, Roman RUHIG, Martina KALIVODOVÁ a Pavol PAŇÁK. 2023. *Archtrip 2022 – bedeker*. Bratislava: Pre-um. ISBN 978-80-89954-07-0.

AFC / V2 – KVASNICOVÁ, Magdaléna, GREGOROVÁ, Jana, BOCÁN, Marián, POLIAK, Martin, NADDOUROVÁ, Nora, HANZL, Jakub. Industriálne pamiatky malokarpatskej oblasti a potenciál ich ďalšieho využitia. In PEŘINKOVÁ, M. -- JÜTTNEROVÁ SANDRA, -- VIDECKÁ LUCIE. 13th Architecture in Perspective 2021. Proceedings of the International Conference. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2021, s. 220--224. ISBN 978-80-248-4552-4.

GREGOROVÁ, Jana, POLIAK, Martin, HANZL, Jakub, NADDOUROVÁ, Nora, KALIVODOVÁ, Martina, ŠÍŠKOVÁ, Zuzana. Ochrana a obnova pamiatok v urbanistickom kontexte – Obnova identity – Kontinuita stavebnej kultúry: zborník príspevkov z medzinárodnej konferencie. Bratislava, SR, 27. 9. 2021. 1.. vyd. Bratislava : Spektrum STU, 2021. 122 strany. ISBN 978-80-227-5166-7.

P2 / B1 – GREGOROVÁ, Jana a Martin POLIAK; KVASNICOVÁ, Magdaléna; MAKÝŠ, Oto; MAJTÁNOVÁ, Lucia; HANZL, Jakub; NADDOUROVÁ, Nora; VARGIC, Lukáš; RUHIGOVÁ, Ema; POLOMOVÁ, Beata. Predprojektová etapa obnovy pamiatkovo chránených štruktúr. Bratislava: Spektrum STU, 2023. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-5379-1.

AFC / V2 – KVASNICOVÁ, Magdaléna, Nora NADDOUROVÁ a , eds. 2020. Two jewish sepulchral monuments in Bratislava and their restoration. In: PEŘINKOVÁ, Martina, Sandra JÜTTNEROVÁ a Lucie VIDECKÁ. 12th Architecture in Perspective. Ostrava: Technical University of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, Department of Architecture, s. 271-274. ISBN 978-80-248-4450-3.

FD / V2 – NADDOUROVÁ, Nora. 2022. Obnova mestskej tržnice v Nitre – okenné konštrukcie. In: *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering*. Bratislava, SK: Spektrum STU, s. 358-364. ISBN 978-80-227-5251-0.

AFD / V2 – NADDOUROVÁ, Nora. Okná v pamiatkovej rezervácii ľudovej architektúry Plavecký Peter. In BISTÁK, A. *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering*. Bratislava: Spektrum STU, 2021, s. 374--381. ISBN 978-80-227-5150-6.

AFD / V2 – POLIAK, Martin. 2020. Prehľad súčastí a typov barokových okien. In: *Advances in Architectural, Civil and Environmental Engineering: 30th Annual PhD Student Conference on Applied Mathematics, Applied Mechanics, Building Technology, Geodesy and Cartography, Landscaping, Theory and Environmental Technology of Buildings, Theory and*

Structures of Buildings, Theory and Structures of Civil Engineering Works, Water Resources Engineering. SR: Spektrum STU, Bratislava, s. 401-405. ISBN 978-80-227-5052-3.

AFC / V2 – NADDOUROVÁ, Nora. Osudy originálnych historických konštrukcií pri obnove architektonických pamiatok. In ČERNÁ, A. Architecture and Sustainable Development – AUR20. Praha: České vysoké učení technické v Praze. Fakulta stavební, 2020, s. 35--41. ISBN 978-80-01-06770-3.

Umelecká činnosť

YYV-Magna Energia / NADDOUROVÁ, Nora (1992), *Slovenská technická univ. v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra architektúry*; Kategória: YYV; Výstup umeleckej činnosti: *Autorský výstup*; Druh výstupu: *Dielo*; Názov: Idea pre Magnu – súťažný návrh č. 29 /odmenený návrh;

ZYY-Archtrip 2019; Galéria architektúry SAS, Ballasov palác / BRANICKÝ, Filip (1989), NADDOUROVÁ, Nora (1992), POLIAK, Martin (1994), *Slovenská technická univ. v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra architektúry*; Kategória: ZYY; Výstup umeleckej činnosti: *Autorský výstup*; Druh výstupu: *Podujatie*;

Názov: Výstava Archtrip 2019 (28. 09. – 15. 10. 2021: Bratislava, Slovensko);

YYV-Obec Nižná Boca / BRANICKÝ, Filip (1989), RUHIGOVÁ, Ema (1992), RUHIG, Roman (1990), NADDOUROVÁ, Nora (1992), *Slovenská technická univ. v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra architektúry*; Kategória: YYV; Výstup umeleckej činnosti: *Autorský výstup*; Druh výstupu: *Dielo*; Názov: Modernizácia Domu smútku, Nižná Boca;

XVV-Mestská časť Bratislava – Nové Mesto / BRANICKÝ, Filip (1989), RUHIGOVÁ, Ema (1992), RUHIG, Roman (1990), NADDOUROVÁ, Nora (1992), *Slovenská technická univ. v Bratislave, Stavebná fakulta, Katedra architektúry*; Kategória: XVV; Výstup umeleckej činnosti: *Autorský výstup*; Druh výstupu: *Dielo*; Názov: Revitalizácia lokality "Snežienka" – súťažný návrh;

SR2-Vodný, tzv. Štampelovský mlyn na Hornej ul. č. 4 v Modre – 3. etapa [interiér (Rekonštrukcia/prestavba)] / Gregorová, Jana [Architekt, 30%] ; Naddourová, Nora [Architekt, 30%] ; Vargic, Lukáš [Architekt, 30%] ; Poliak, Martin [Architekt, 10%]. – (Slovensko) : Archinfo, 16.12.2022. – [2022]. – 222 m x m. – [DUC AR]. – [Návrh]

SR3-Archtrip 2022 [skupinová krátkodobá výstava] / Bránický, Filip [Kurátor výstavy, 40%] ; Naddourová, Nora [Kurátor výstavy, 30%] ; Poliak, Martin [Kurátor výstavy, 30%]. – (Slovensko) : Malokarpatské osvetové stredisko, 11.12.2023-22.12.2023. – 100 m x m. – [DUC KU]

EM2-Čerpacia stanica budúcnosti [architektúra] / Naddourová, Nora [Architekt, 50%] ; Kohútová, Lenka [Architekt, 50%]. – (Slovensko) : Sahell, 04.08.2022. – [2022]. – 134,75 m x m. – [DUC AR]. – [Návrh]