



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE, MECHANIZACE A ŘÍZENÍ STAVEB

INSTITUTE OF TECHNOLOGY, MECHANIZATION AND CONSTRUCTION MANAGEMENT

REVITALIZACE VYBRANÝCH LEHKÝCH OBVODOVÝCH PLÁŠŤŮ BUDOV, REALIZOVANÝCH U NÁS DO ROKU 1990

REVITALIZATION OF SELECTED LIGHTWEIGHT CLADDING OF BUILDINGS,
IMPLEMENTED IN THE CZECH REPUBLIC BEFORE 1990

TEZE DIZERTAČNÍ PRÁCE

SHORT PHD THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Pavel Liška

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Barbora Kovářová, Ph.D.

BRNO 2016

Abstrakt:

Dizertační práce se zabývá návrhem metodiky pro výběr optimální varianty revitalizace lehkého obvodového pláště budov. Práce je zaměřena na ověření provedených revitalizací konstrukce OD-001 „Boletický panel“ při použití stávajících konstrukčních řešení a materiálů. Na zkoumaných stavbách bylo provedeno termografické měření a stavebně technický průzkum za účelem zjištění vad a nedostatků, které tyto konstrukce i jejich revitalizace doprovází. Dalším bodem mé práce byla možnost realizace revitalizace lepenou fasádou. Mechanická odolnost lepené fasády byla posouzena experimentálními zkouškami a matematickými výpočty. Vhodnost revitalizace je zkoumána na základě předem stanovených kritérií. Kritéria jsou zaměřena na oblasti, které jsou pro investora důležité. Jedná se především o finanční náklady, dobu návratnosti, ale i dopad na životní prostředí. Při rozhodování bylo použito simulací a pokročilých metod rozhodování.

Abstract:

The dissertation thesis is focused on a design of new methodology that can be used for selection of optimal variant for the revitalization of light building facade system known as OD-001 “Boletice panel” when current construction solutions and materials are implemented. Thermographic measurement and engineering survey of selected buildings was carried out to determine the defects and insufficiencies that might accompanied these structures and their revitalization. Another point of my thesis was a possibility of revitalization by bonded facade. Mechanical resistance of bonded facade was verified throughout experimental testing and by mathematical calculation. The usability was confirmed on the basis of specific criteria that were stipulated in advance. The selected criteria are focused on areas which are important for investors. These are mainly financial cost, payback period but also the impact on the environment. Simulations and advanced methods of decision making were used.

Klíčová slova:

emise CO₂, lehký obvodový plášť, lepená fasáda, náklady, mechanická odolnost, revitalizace, rozhodovací proces, tepelná technika

Keywords:

Carbon Emission; Lightweight Cladding; Bonded Facade; Cost; Mechanical resistance; Revitalization; Decision-making Process; Thermal Technology

Obsah

PŘEDMLUVA.....	5
1 PŘEHLED O SOUČASNÉM STAVU PROBLEMATIKY	5
1.1 Požadavky kladené na opláštění	6
1.2 Systémy LOP používané před rokem 1990	7
1.3 Současný stav využívání energie	7
1.4 Přehled životního cyklu stavby	8
1.4.1 Životnost stavby.....	8
1.4.2 Životní cyklus stavby.....	8
1.4.3 Environmentální cyklus stavby.....	9
1.5 Právní předpisy z oblasti tepelné techniky	9
1.5.1 Evropské právní předpisy	10
1.5.2 České právní předpisy	10
2 CÍL DIZERTAČNÍ PRÁCE.....	11
3 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ	12
4 TVORBA METODIKY	13
4.1 Počítačové simulace a její použití.....	14
4.2 Výpočet hodnot stanovených kritérií	15
4.2.1 Energetická náročnost modelové administrativní budovy	15
4.2.2 Náklady životního cyklu.....	15
4.2.3 Výpočet doby návratnosti investice.....	16
4.2.4 Časové plánování	16
4.2.5 Environmentální dopad životního cyklu.....	17
4.3 Teorie rozhodování a řízení	17
4.4 Ověření vybraných tepelně technických vlastností obálky budovy	18
4.5 Termografické posouzení	18
4.6 Mechanická odolnost.....	19
4.6.1 Ukotvení	19
4.6.2 Mechanická odolnost lepené fasády.....	19
4.7 Konstrukční řešení opláštění.....	22
4.7.1 Lehký obvodový plášť OD-001 „Boletický panel“	22
4.7.2 Databáze možností revitalizace	23
5 SIMULOVANÝ OBJEKT	25
6 VÝSLEDKY DISERTACE S UVEDENÍM NOVÝCH POZNATKŮ	26
6.1 Metodika	26
6.2 Hodnocená kritéria	26
6.2.1 Náklady životního cyklu revitalizace.....	26

6.2.2	<i>Snížení nákladů na vytápění a chlazení</i>	27
6.2.3	<i>Doba návratnosti investice</i>	27
6.2.4	<i>Doba realizace/počet normohodin</i>	27
6.2.5	<i>Ekologická zátěž během životnosti revitalizace</i>	28
6.3	Celkové vyhodnocení kritérií metodou Fuzzy logik	28
6.4	Tepelně technické vlastnosti obálky budovy.....	30
6.4.1	<i>Součinitel prostupu tepla U</i>	30
6.4.2	<i>Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy</i>	30
6.4.3	<i>Teplotní stabilita vybraných místností</i>	31
6.4.4	<i>Měrné tepelné toky obálkou budovy</i>	31
6.5	Mechanická odolnost ukotvení stávajícího rámu k nosné konstrukci objektu	31
6.6	Mechanická odolnost lepené fasády	31
6.7	Tepelné mosty a nepravidelnosti	32
7	KONKRÉTNÍ ZÁVĚRY PRO REALIZACI VE SPOLEČENSKÉ PRAXI A DALŠÍ ROZVOJ VĚDY	33
	BIBLIOGRAFIE	35
	VYBRANÁ PUBLIKAČNÍ ČINNOST	38
	ŽIVOTOPIS	39

PŘEDMLUVA

Předložená dizertační práce se zabývá aktuální tematikou revitalizace lehkých obvodových pláštů (dále jen LOP). Práce je zaměřena především na oblast praktickou s využitím výpočetní techniky, numerických modelů a laboratorních měření. Výchozím bodem práce jsou znalosti z problematiky modelování, tepelné techniky, rozpočtování a navrhování konstrukčních řešení obálky budov.

Technologie revitalizací LOP prošla za posledních 20 let obrovským technologickým skokem. Bohužel, některé oblasti zůstaly bez návazností na jejich konstrukční/technologický pokrok a jsou příčinou mnoha problémů. Pro tyto účely byl vybrán zástupce lehkého opláštění budovy, který se začal realizovat už v šedesátých letech minulého století a svým rozsahem i konstrukčním řešením je nyní vhodný pro realizaci revitalizace. Záměrem práce je navrhnout optimální řešení, aby bylo dosaženo maximálního potenciálu dané revitalizace při stanovených kritériích. Výsledky této práce mohou být pevným základem pro rozhodování o volbě investičních záměrů, nejen z hlediska stavebně technického, ale i ekonomického.

1 PŘEHLED O SOUČASNÉM STAVU PROBLEMATIKY

S rozvojem společnosti se zvyšují i nároky na konstrukce, které nás obklopují. Udržitelnost výstavby v závislosti na ochraně životního prostředí s možnou úsporou finančních nákladů by měla být hlavní prioritou dnešního stavebnictví. Prosazování uceleného pohledu na spotřebu energie zahrnuje nejen její snižování a spotřebu, ale i jak se toho dá ekologicky a ekonomicky dosáhnout, např. větším zapojením recyklovaných materiálů při výstavbě nebo materiálů s minimální ekologickou stopou. V době, kdy se tyto konstrukce LOP začaly realizovat, požadavky z dnešního pohledu na ně byly zcela zanedbatelné. Nehledělo se na provozní náklady těchto budov, neboť bývali v majetku státních institucí nebo přímo státu.

I pojem ochrana životního prostředí před rokem 1990 bylo pouhé prázdné slovní spojení. Zapojení státu v řešení této problematiky se datuje až k roku 1990 se vznikem Ministerstva životního prostředí České republiky (dále jen ČR).

Z důvodu zvyšování cen energie na provoz se přirozeně zvyšuje tlak na jejich úsporu. Správný návrh ušetří až desítky procent energie vůči stávajícímu stavu. Bohužel v dnešní době je vnímáno snižování dopadů na životní prostředí pouze jako vedlejší produkt finančních úspor provozu.

Na energetickou náročnost objektu mají podstatný vliv tepelně technické vlastnosti obálky budovy. Obálkou se rozumí konstrukce na systémové hranici, k vnějšímu prostředí (střešní a obvodový plášť, podlahy přilehlé k zemině, okenní a dveřní výplně). S jakou efektivností bude tepelná pohoda uvnitř objektu

vytvořena, je závislé na technologii vytápění/chlazení. Práce je věnována především oblasti stavebních úprav se zachováním stávajících technologií.

1.1 Požadavky kladené na opláštění

Obvodový plášť je z hlediska plochy nejvíce vystaven klimatickým vlivům a tím zde vzniká i zvýšený požadavek na jeho tepelně technické vlastnosti. Tyto vlastnosti jsou přímo závislé na konstrukčním řešení a použitých materiálech. Základní funkcí vnějšího obvodového pláště budov je ochrana vnitřního prostoru objektu (uměle vytvořené prostředí pro tepelnou pohodu člověka) vůči vlivům vnějšího prostředí.

Hlavní parametry, dle ČSN EN 13830¹ [1], které musí splňovat konstrukce lehkého obvodového pláště, tak aby mohla být uvedena na trh, jsou následující:

- ✓ odolnost proti zatížení větrem,
- ✓ stálé zatížení (vlastní tíha),
- ✓ odolnost proti nárazu,
- ✓ průvzdušnost,
- ✓ vodotěsnost,
- ✓ vzduchová neprůzvučnost,
- ✓ součinitel prostupu tepla,
- ✓ požární odolnost,
- ✓ reakce na oheň,
- ✓ šíření ohně,
- ✓ trvanlivost,
- ✓ propustnost vodní páry,
- ✓ pospojování,
- ✓ odolnost proti zemětřesení,
- ✓ odolnost proti změnám teploty (tepelným změnám),
- ✓ konstrukční a tepelný pohyb,
- ✓ odolnost proti dynamickým vodorovným zatížením,

dále pak

- ✓ zajistit dostatečné osvětlení a oslunění interiéru,
- ✓ musí být hygienicky nezávadný.

Požadavky z oblasti tepelné techniky vychází ze zákonů č. 183/2006 Sb.² [2], č. 406/2006 Sb.³ [3] a vyhlášky č. 268/2009 Sb.⁴ [4]. Tyto předpisy určují závazné požadavky, které musí nová konstrukce splňovat. Návrh konstrukcí musí být proveden takovým způsobem, aby byla zajištěna maximální možná životnost konstrukce. Při použití nevhodných materiálů, např. tepelné izolace s malou

¹ Norma – Lehké obvodové pláště – Norma výrobku (platnost do 31. 01. 2017)

² Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)

³ Zákon o hospodaření energií

⁴ Vyhláška o technických požadavcích na stavby

odolností vůči vodě, může v případě kondenzace vodní páry v konstrukci docházet k její degradaci, zhoršení tepelně technických vlastností a tím i snížení životnosti.

1.2 Systémy LOP používané před rokem 1990

Před rokem 1990 se používala dvě základní konstrukční řešení. Jednalo se o systémy předsazené, které se umísťovaly před stropní konstrukci objektu. Systémy vestavěné se umísťovaly mezi hlavní nosné konstrukce. Tyto dvě skupiny se dále dělily dle použitých materiálů. Běžně se používalo dřevo, kov, sklo či kompozitní materiály. Podle typu nosné konstrukce se ještě dělily na kostrové, panelové a kombinované [5].

Mezi nejvíce používané patřily:

- ✓ OD-001 „Boletický panel“ (zvolená konstrukce),
- ✓ SIDALVAR,
- ✓ F 300,
- ✓ KPP 600,
- ✓ AL systém ZSNP,
- ✓ HRONAL s PTM,
- ✓ OMEGA,
- ✓ STAMO [5].

1.3 Současný stav využívání energie

S rozvojem společnosti, roste i spotřeba energie. Výroba energie tradičními způsoby (uhlí, ropa či zemní plyn) zatěžuje životní prostředí a nenávratně ho poškozují, včetně negativních vlivů na lidský život (tvorba emisí oxidu uhličitého – CO₂, oxidu dusíku – NO_x, oxidu siřičitého – SO₂, amoniaku – NH₃ atd.):

- ✓ CO₂ – skleníkový efekt, který způsobuje globální oteplování a následně i zhoršuje stabilitu prostředí,
- ✓ NO_x – snižování okysličování organismu,
- ✓ SO₂ – způsobuje onemocnění cest dýchacích, dráždí plíce a oči,
- ✓ NH₃ – poškozují sliznici.

Proto zde vzniká požadavek na omezení škodlivých vlivů při současném udržení kvality života pro další generace. Šetrnější obnovitelné zdroje energie (dále jen OZE) v ČR pokrývaly spotřebu v roce 2015 pouze z 13,27 % (obnovitelný zdroj energie neznamená ekologický zdroj). Zbylých 86,73 % bylo spotřebováno z neobnovitelných zdrojů, jako je ropa, uhlí a zemní plyn [6]. Nejen, že tyto zdroje poškozují životní prostředí, ale za několik desítek let budou vyčerpány. Mezi obnovitelné zdroje energie v našich podmínkách patří energie z vody, větru, slunečního záření, pevné biomasy a bioplynu, energie okolního prostředí, geotermální energie a energie kapalných biopaliv.

ČR se zavázala, že do roku 2020 bude hrubá spotřeba energie 13 % z OZE. Tento závazek se už podařilo splnit [6].

1.4 Přehled životního cyklu stavby

Životnost budovy patří mezi rozhodující faktory, které mají přímý vliv na celkové náklady i tvorbu skleníkových plynů. Jedná se hlavně o trvanlivost jednotlivých funkčních dílů, jejich následné opravy a úplné výměny. Tím se zvyšují výdaje na provoz budovy i množství emisí CO₂.

1.4.1 Životnost stavby

Životnost stavby je doba, kdy stavba plní svoji funkci při daných provozních a klimatických podmínkách. Je závislá na jednotlivých prvcích – výrobcích, ze kterých je stavba složena a její prodloužení je možné zvyšovat optimální údržbou v průběhu užívání. Naopak špatným užíváním a nevhodnou údržbou dochází ke snižování životnosti a to velmi výrazně.

Postupem doby se životnost staveb snižovala. Před druhou světovou válkou se pohybovala od 150 do 250 let. Po druhé světové válce se snížila na 180 let. Dnes se pohybuje už pouze kolem 100 let. U rekreačních staveb je to do 80 let a u panelových domů se počítalo s 50 lety [7]. Právě u panelových domů se životnost podstatně prodlužuje a to zejména díky populárnímu zateplení budov.

Životnost stavby je možno dělit na dvě hlavní kategorie. Životnost technická je časový úsek, po který je stavba schopna plnit svoji funkci. Naopak životnost ekonomická je časový úsek, kdy je ekonomicky výhodné objekt užívat. Bývá pravidlem, že životnost technická je delší než životnost ekonomická [8].

1.4.2 Životní cyklus stavby

Pod pojmem životní cyklus stavby si můžeme představit jednotlivé časové úseky od první myšlenky realizovat stavbu přes výstavbu až po její likvidaci. V (Tab. 1) jsou znázorněny jednotlivé fáze i s jejich zařazením do časové osy.

Tab. 1 Životní cyklus stavby – nákladový [8]

Životní cyklus projektu stavby					
Fáze předinvestiční		Fáze investiční		Fáze provozní	Fáze likvidační
Iniciování	Definování	Plánování	Realizace	Provoz	Likvidace
Životní cyklus majetku – stavebního díla					
			Fáze investiční	Fáze provozní	Fáze likvidační
			Životní cyklus činnosti spojené s užitím stavebního díla		

1.4.3 Environmentální cyklus stavby

Udržitelnost výstavby s ohledem na ochranu životního prostředí by měla být jedna z nejdůležitějších kapitol celého průmyslového odvětví v této zemi. S ohledem na nynější sociální, politickou a ekonomickou situaci se tato problematika dostává na okraj společnosti a není obyvatelstvem zcela vnímána jako potenciální problém budoucnosti.

Základ posuzování popisuje evropská norma ČSN EN 15978⁵ [9]. Dokument stanovuje popis předmětu posuzování, hranici systému, postup analýzy, postup výpočtů i prezentaci výsledků. Cílem je kvantifikování environmentálních vlastností budov.

Životní cyklus stavby z hlediska environmentálního dopadu na životní prostředí můžeme rozdělit do tří základních skupin. **První skupina** zahrnuje energie a odpady spojené se samotnou výstavbou objektu. Při realizaci stavby jsou hlavně zapotřebí energie sdružené s použitým materiálem. Jeho těžba/výroba, doprava a následné zabudování. **Druhou skupinou** a zároveň z celého životního cyklu skupinou s největším negativním dopadem na životní prostředí je skupina provozní. Jedná se o oblast, která zahrnuje užívání, údržbu, opravy či modernizace objektu a energie spojené s provozem. V ČR je podíl spotřeby energie na užívání stavby až z 80 % (průměr EU je cca 40 %). Na závěr životnosti stavby probíhají práce spojené s její likvidací. Tato **třetí skupina** zahrnuje energie a odpady spojené s demontáží, dopravou a samotnou likvidací či recyklací zabudovaného materiálu.

1.5 Právní předpisy z oblasti tepelné techniky

V době, kdy se vybraná obálka budovy „OD-001 – Boletický panel“, začala realizovat, požadavky z dnešního pohledu na ni byly zcela zanedbatelné.

Problematika omezování energetické náročnosti budov se většinou spojuje s bytovou výstavbou. Administrativní objekty jsou často opomíjenou záležitostí. V období od 2006 do 2012 bylo na území ČR postaveno administrativních objektů pouze za 34,6 mld. Kč [10]. Přesto se jedná o velice významnou část budov, které je potřeba věnovat zvýšenou pozornost.

Administrativní objekty realizované v Československu před rokem 1990 spotřebovávají pro vytvoření tepelné pohody uvnitř objektu v zimním období neúměrnou část energie. Velmi často se stává, že ani není dosaženo podmínek prostředí, které jsou stanoveny v právním předpise č. 361/2007 Sb.⁶ [11]. Tato nepříjemná skutečnost nás vede k potřebě zlepšovat vlastnosti obálky budovy. To sebou ale přináší i celou řadu komplikací a to jak při návrhu, tak i samotné realizaci.

⁵ Norma – Udržitelnost staveb – Posuzování environmentálních vlastností budov – Výpočtová metoda

⁶ Nařízení vlády, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci

1.5.1 Evropské právní předpisy

Podle nařízení EU musí ČR upravovat své národní právní předpisy. EU si zakládá na ekologickém přístupu. Jelikož jsme členy této organizace, tak se tato myšlenka dostává i k nám. Výchozím dokumentem je evropská směrnice 2002/91/ES⁷ [12], která byla v roce 2010 novelizována evropskou směrnicí 2010/31/EU⁸ [13]. Tento právní předpis stanovuje základní zásady, které by měly vést ke snížení energetické náročnosti budov během užívání. K tomuto dokumentu vydala evropská komise nařízení č. 244/2012⁹ [14] pro výpočet nákladově optimálních úrovní minimálních požadavků na energetickou náročnost budov a jejich prvků.

Nejvýznamnější kapitolou, kterou tento právní předpis ovlivňuje české stavebnictví, je zavádění velice přísných požadavků tepelně technických parametrů stavebních objektů. Od 31. 12. 2020 budou muset být stavěny nové objekty s téměř nulovou spotřebou energií 0 až 5 kWh/m²·a. U objektů státní správy tato povinnost bude už od 31. 12. 2018. Dále tento právní předpis zavedl povinnost vypracovávat „certifikát energetické náročnosti“, který musí být předán uživateli. V případě stavebních úprav „revitalizací – rekonstrukcí“ je nutné tento „certifikát“ doložit k žádosti o stavební povolení od 1. 1. 2009.

Na základě tohoto dokumentu musela být norma ČSN 73 0540-2¹⁰ [15] v roce 2011 novelizována. Rozsah novelizace byl poměrně obsáhlý.

1.5.2 České právní předpisy

Problematika tepelné techniky budov je v ČR zpracována několika desítkami zákonů, vyhlášek či norem. Mezi nejdůležitější, kterým se věnuje tato práce je vyhláška č. 78/2013 Sb.¹¹ [16], zákon č. 406/2000 Sb.¹² [3] a ČSN 73 0540 (1 – 4)¹³ [17], [15], [18], [19].

Na základě výše uvedených právních předpisů by se objekty v ČR s pobytem osob (s převažující vnitřní teplotou vzduchu v rozmezí 18 až 22 °C, neplatí např. pro památkově chráněné objekty či mobilní buňky) měly navrhovat takovým způsobem, aby bylo dosaženo maximálního využití energie při vytváření tepelné pohody uvnitř budovy. Energetická náročnost budovy by měla být co nejmenší a její obálka by měla splňovat minimálně požadavky stanovené v ČSN 73 0540-2¹⁰ [15].

⁷ Směrnice Evropského parlamentu a Rady o energetické náročnosti budov, z roku 2002

⁸ Směrnice Evropského parlamentu a Rady o energetické náročnosti budov, po novelizaci v roce 2010

⁹ Nařízení Komise v přenesené pravomoci (EU)

¹⁰ Norma – Tepelná ochrana budov – část 2: Požadavky

¹¹ Vyhláška o energetické náročnosti budov

¹² Zákon o hospodaření energií a související předpisy

¹³ Norma – Tepelná ochrana budov

2 CÍL DIZERTAČNÍ PRÁCE

Na českém stavebním trhu existuje mnoho způsobů jak revitalizovat LOP. Investoři často rozhodují bez potřebných znalostí okrajových podmínek, jako je velikost objektu, konstrukční řešení či provoz objektu, a to i přesto, že se jedná pro ně o vysokou finanční zátěž na několik let.

Cílem dizertační práce je vytvoření univerzálně použitelné metodiky na revitalizaci LOP a to především pro využití investory. Univerzálností je zajištěna použitelnost na další typy konstrukcí, jako je např. střešní plášť a možnost změn i vah stanovených kritérií. Tato metodika umožní navrhnout optimální řešení revitalizace s ohledem na vybrané kritéria a dané okrajové podmínky konkrétního řešení. Jedná se tedy o zlepšení požadovaných vlastností LOP.

K návrhu optimalizačního algoritmu revitalizace je nutné použití pokročilých metod rozhodování. Pro dosažení stanovených cílů je nutné vycházet ze stávajících možností revitalizací. Jedná se o revitalizace, které byly prováděny po celé ČR. Jelikož se tyto revitalizace nerealizovaly ve stejném časovém období a ve stejném rozsahu, bylo nutné pro potřeby této práce, jednotlivé způsoby revitalizace sjednotit. K tomuto účelu byl vytvořen simulovaný objekt, na kterém se aplikovaly všechny sledované varianty konstrukčního řešení revitalizace.

V dizertační práci se zabývám posouzením vhodnosti revitalizace na vybraném typu opláštění takovým způsobem, aby bylo dosaženo co nejvyšší efektivity na základě předem stanovených kritérií.

Současnými metodami se dají tyto konstrukce modifikovat tak, aby splňovaly požadavky dnešní doby. Bohužel, se tomu tak děje intuitivně bez podrobnější analýzy. U investora jsou na prvním místě většinou jen finance.

Dalším cílem mé práce je i ověření tepelně technických vlastností vybraných způsobů revitalizací a návrh nové možnosti revitalizace stávajícími technologiemi.

Dále jsem se zaměřil na časté chyby, které se mohou vyskytnout vlivem technologické nekázně v oblasti tepelné techniky.

Hypotéza práce: provedení revitalizace vybraného LOP má pozitivní vliv na finanční náklady investora a dopad na životní prostředí.

3 ZVOLENÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

Metody zpracování jsou přímo závislé na zvolených cílech dizertační práce. Tvorba metodiky byla rozdělena do několika fází.

Jednotlivé kroky metodického postupu jsou:

- ✓ literární rešerše:
 - současné požadavky na LOP,
 - současný stav využívání energií v ČR/EU/světě,
 - energetický přehled na vytvoření tepelné pohody v budově během celého roku,
 - životní a environmentální cyklus stavby:
 - české a evropské právní předpisy z oblasti tepelné techniky:
- ✓ analýza:
 - stavebně technické průzkumy sledovaných objektů revitalizace,
 - analýza odolnosti nového konstrukčního řešení revitalizace lepenou fasádou,
- ✓ syntéza:
 - vytvoření databáze konstrukčních řešení revitalizace LOP ze sledovaných objektů:
 - počáteční náklady revitalizace, náklady na její údržbu a likvidaci,
 - množství CO₂ spjaté s realizací revitalizace její údržbou a konečnou likvidací,
 - doba trvání realizace revitalizace,
 - vytvoření simulované budovy pro ověření efektivity revitalizace,
 - stanovení vstupních kritérií a nastavení jejich vah,
 - aplikace vstupních dat do zvolené metody multikriteriálního rozhodování,
- ✓ analýza výstupních hodnot:
 - ověření správnosti simulace,
 - vyhodnocení efektivity dané revitalizace.

Použité metody nepředstavují úplný výčet možností pro řešení dané problematiky, přesto jsou lehce aplikovatelné a pro třetí osobu snadno a rychle pochopitelné.

4 TVORBA METODIKY

Pro dosažení stanovených cílů a potvrzení hypotézy bylo nejprve nutné si vybrat vhodného zástupce. Výběr zástupce byl volen na základě informací, které byly získány ze stávajících objektů před a po revitalizaci realizovaných po celé ČR. Vybraný zástupce je svými vlastnostmi hodnocen jako nevyhovující, a proto zde vznikla poptávka na jeho úpravu. Původní konstrukční řešení i jeho revitalizace se následně aplikovaly na simulovaném administrativním objektu. Simulovaná budova byla navržena tak, aby na ní mohly být aplikovány všechny konstrukční varianty běžně používaných způsobů revitalizace a následně i vyhodnoceny dle definovaných kritérií a pak vybráno optimální řešení.

V další fázi byly modely detailně analyzovány na základě hodnotících kritérií. Pro samotné hodnocení a volbu nejvhodnější varianty revitalizace bylo použito počítačových simulací s pokročilou metodou rozhodování. Důraz nebyl kladen pouze na oblast ekonomickou, ale i na ochranu životního prostředí, která se v tomto směru stává nedílnou součástí každého projektu.

V rámci hledání optimální varianty revitalizace bylo zvoleno další konstrukční řešení, které se (dle dostupných informací) v ČR ještě neaplikovalo. Tato konstrukční varianta revitalizace byla zvolena na základě výzkumného úkolu *FR-TI4/332 Nové technologie lepených obvodových pláštů budov s kotvicími prvky se zvýšenou odolností vůči korozi pod vedením prof. Ing. Rostislava Drochytky, CSc., MBA., na kterém jsem se podílel jako výzkumný pracovník. Volba nového konstrukčního řešení revitalizace lepenou fasádou se musela ověřit hlavně z hlediska mechanické odolnosti experimentálními zkouškami a matematickými modely. Vytvořený model se následně porovnal s ostatními revitalizacemi podle stejných kritérií.*

Efektivita revitalizace je založena na úspoře energie/emisí/financí, které jsou ušetřeny vůči původnímu stavu objektu. Pro dosažení stanovených cílů se musela na simulovaném objektu spočítat energetická náročnost na vytápění a chlazení objektu. K tomuto účelu byl využit specializovaný software. Vstupní data se musela spočítat. Každá konstrukce i budova se vlivem provozu i klimatických vlivů opotřebovává. Z tohoto důvodu bylo nutné do výpočtu efektivity revitalizace zahrnout i náklady/emise, které jsou nutné na udržení životnosti, stanovené minimálně na 50 let. Tyto náklady se dopočítávají na základě životnosti konstrukce, rozsahu a četnosti oprav.

Jak již bylo řečeno v úvodu práce, efektivita revitalizace není založena pouze na ekonomické stránce. Ekonomické hledisko by bez návaznosti na ochranu životního prostředí bylo pouze krátkozraké a v budoucnu bezvýznamné. Bez vhodného životního prostředí a zdrojů by na této planetě neexistoval život. Množství ušetřených emisí se dopočítává na základě ušetřené energie na vytápění a chlazení budovy, jak již bylo uvedeno výše. Každá konstrukce, která byla použita pro revitalizaci se musela vyrobit, transportovat, zabudovat, obnovovat během užívání stavby (50 let), ale i na konci životnosti zlikvidovat. To sebou

přináší další energii, která se zapojuje do procesu revitalizace spojené s tvorbou emisí. Princip výpočtu je založen na součinu množství produktu/procesu a environmentálního dopadu na jednotku produktu/procesu.

Další oblast, která byla v rámci efektivity revitalizace zkoumána, je časová náročnost realizace.

Každý investor má v rámci svých priorit jiné hodnoty o posuzování efektivity revitalizace. Pro účely práce byl vytvořen dotazník, který měl definovat univerzálního investora a jeho priority z hlediska předem stanovených kritérií. Na vyhodnocení celkové výsledné efektivity revitalizace se využilo pokročilých procesů Fuzzy logiky.

Předem stanovená kritéria hledání optimální revitalizace jsou:

- ✓ náklady počáteční investice, v Kč,
- ✓ doba návratnosti investice, v letech,
- ✓ snížení nákladu na vytápění a chlazení, v %,
- ✓ celkové náklady na životnost revitalizace, v Kč,
- ✓ počet normohodin revitalizace, bezrozměrný,
- ✓ ekologická zátěž – CO₂, v t.

Další zkoumané oblasti jsou:

- ✓ ověření vybraných tepelně technické parametrů obálky budovy,
- ✓ ověření mechanické odolnosti revitalizace se zachováním funkčních celků,
- ✓ ověření kvality provedené revitalizace z hlediska tepelných nepravidelností.

4.1 Počítačové simulace a její použití

Pokročilé metody rozhodování vyžadují použití počítačových simulací [20]. Počítačové simulace jsou nástrojem sloužícím k napodobování (předstírání) určitého systému (zkoumání vnějšího světa). Jedná se o vědeckou metodu, kterou se zkoumá chování systému na základě modelů a experimentálních měření. Úkolem je nalezení optimálního řešení problému. Tyto nástroje se začaly využívat až s nástupem počítačů a dnes jsou nezbytnou součástí každého velkého projektu [21].

Pro vytvoření mechanismu simulací je nutné detailní nastudování vstupních hodnot a vazeb mezi nimi. Modely by měly být co nejjednodušší, ale přesto by měly mít dostatečnou přesnost, aby charakterizovaly prostředí blízké se skutečnosti. Požadavky kladené na ně jsou přímo závislé na cílech, kterých chceme dosáhnout.

K modelování byla vytvořena řada softwarových programů. Mezi nejznámější a nejpoužívanější patří software Matlab Simulink. Tento program slouží k modelování dynamických systémů, které zahrnují i oblasti z ekonomiky [22]. V některých případech se může jednat o tak složitý systém, že ani nejlepší

výpočetní technika nemusí být kapacitně dostatečná. Proto je nutné ověřit možnosti použitých nástrojů.

Matematické modely slouží jako základ pro počítačové simulace. Jedná se o abstraktní vyjádření chování systému v matematickém prostředí. Matematika je universální jazyk srozumitelný pro všechny národy světa. Získání podkladů pro model může být buď teoreticky ze základních fyzikálních vlastností systému, nebo empiricky z naměřených hodnot [23].

Simulace nám umožňuje hledání příčin vzniku problémů i rizik a to i u velice složitých systémů. Hlavní výhodou simulace je možnost zjištění všech požadovaných aspektů bez nutnosti vynaložit finanční, lidské či materiálové zdroje na skutečné provedení a to vše ještě před zahájením projektu. Po zjištění dalších skutečností, které mají vliv na výsledek, simulace skýtá možnost rychle/efektivně model upravit a simulaci opakovat. Nespornou výhodou je i vizualizace 2D nebo 3D pro následného uživatele vyhodnocených dat [22] a [23].

Naopak nevýhodou je velká časová náročnost vytváření modelů se vstupními hodnotami. Interpretace výsledků může být odlišná od skutečnosti a při nevhodně zvolené metodě zcela špatná.

4.2 Výpočet hodnot stanovených kritérií

4.2.1 Energetická náročnost modelové administrativní budovy

V dnešní době se výpočet energetické náročnosti provádí pomocí specializovaných softwarů. V mém případě je použit program Energie od společnosti K-CAD, spol. s r.o. Jedná se o ryze český program zohledňující platné právní předpisy v ČR z dané problematiky. Je pravidelně aktualizován a uživatelsky upravován.

Přesto, že se jedná o velice efektivní způsob hodnocení obálky budovy a tím i následných nákladů na provoz objektu, můžou se hodnoty výpočtu a následného skutečného měření lišit i několikanásobně, jak uvádějí autoři v článku [24].

Výpočet energetické náročnosti modelové administrativní budovy je proveden v souladu s ČSN EN ISO 13790¹⁴ [25] a vyhláškou č. 78/2013 Sb.¹⁵ [16]. Metodický postup je převzat z výukové pomůcky pro vysokoškolské studenty [26]. Výpočet se provádí na hranici systému¹⁶, který odděluje vnitřní klima od venkovního.

4.2.2 Náklady životního cyklu

K nalezení optimální varianty revitalizace a ve snaze prokázat ekonomickou výhodnost celého procesu v životním cyklu slouží analýza nákladů životního

¹⁴ Norma – Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení

¹⁵ Vyhláška o energetické náročnosti budov

¹⁶ V modelovém příkladu je hranice systému při vnějším líci tepelné izolace střešního, obvodového pláště a podlahy přilehlé k zemině.

cyklu stavebního díla (BLCC). Jedná se o prostředek na optimalizaci nákladů spojených s průběhem celé doby životnosti stavby.

Stavební objekty přirozeně stárnou, opotřebovávají se užíváním a klimatickými vlivy. Každá stavba se sestává z konstrukcí a prvků, které jsou rozdílně opotřebovávány a zároveň mají i různou životnost. Pro prodloužení technické i ekonomické životnosti musí být jednotlivé konstrukce a prvky opravovány či nahrazovány. Pro stanovení ceny těchto prací je nutné tyto konstrukce rozdělit do funkčních dílů, které charakterizují ucelenou provozuschopnou část stavby. Životnost, cyklus a rozsah jednotlivých funkčních dílů jsou převzaty z literatury. Zvolená metoda spočívá v zjištění ceny funkčního celku např. položkový rozpočet a následně přes životnost prvku, cyklu a rozsahu jeho oprav vypočítat celkový náklad nutný k udržení požadované životnosti a funkce [8].

4.2.3 Výpočet doby návratnosti investice

Doba návratnosti investice patří mezi nejdůležitější kritéria, kterým investoři přikládají největší váhu. Tato doba představuje období, za kterou se očekává, že finanční příjmy plynoucí z investice se vyrovnají jejím počátečním výdajům. Pro investory je důležité, aby doba byla co nejkratší.

Diskontovaná doba návratnosti se volí oproti době prosté v případě, když se očekává, že roční peněžní příjmy z projektu budou během doby návratnosti kolísat. Návratnost investice je zajištěna úsporou energie na vytápění a chlazení vnitřního prostoru budovy.

Diskontní sazbou se vyjadřuje vliv času na investiční projekt. Jedná se o výnosovou míru, kterou jsou přepočítávány budoucí peněžní toky na současnou hodnotu. Na výši diskontní sazby má největší vliv riziko projektu a inflace. Pro účely práce je stanovena diskontní sazba na 3%. Jedná se o průměrnou hodnotu za posledních 20 let v ČR. Výše se může měnit dle aktuální ekonomické a politické situací v zemi. Diskontovaná doba návratnosti investice je vždy delší než doba prostá.

4.2.4 Časové plánování

Na zajištění optimálního průběhu výstavby se zpracovávají časové plány. Jedná se především o koordinaci pracovníků, materiálů, strojů ale i subdodávek. Jejich cílem je výpočet celkové doby trvání výstavby s možností stanovení dílčích termínů (milníků) a technologické návaznosti jednotlivých procesů. Pro porozumění tvorby časových plánů je nutné nastudování alespoň základů z teorie síťových grafů.

Metoda stavebně technologického síťového grafu umožňuje automatizovaný výpočet technologických normálů a síťových grafů. Byla vyvinuta prof. Ing. Čeňkem Jarským, DrSc., FEEng, autorem programu CONTEC, který je použit i v této práci. Metoda vychází z metody stavebnicového síťového

plánování. Používá se z uzlově definovaných síťových grafů. Metoda zavádí nový pojem f_{ji} „pracovní fronta“ v %. Tento prvek vyjadřuje poměr minimálního pracovního prostoru k celkovému. Slouží k zajištění vymezeného prostoru, který je nutný, aby technologický proces proběhl správně [27].

4.2.5 Environmentální dopad životního cyklu

Zvolená metoda posuzování (LCA – Life Cycle Assessment) nemá za úkol hledat ekonomicky ani technicky nejlepší výrobek, službu či technologii, ale výrobek ekologicky nejšetrnější, a to po celou dobu životnosti produktu.

Základy metody se datují k roku 1969, kdy si společnost Coca-Cola objednala zpracování studie dopadu na životní prostředí jejich obalů pro nápoje.

Současný způsob přiřazení emisních toků jednotlivých kategorií dopadů, výpočet i určení charakterizačních faktorů jednotlivých elementárních toků pro zasažené kategorie dopadu byl představen v roce 1991 na semináři v Leidenu.

Každý uživatel i výrobce má zodpovědnost za spotřebu surovin, které jsou spjaty s výrobkem, ale i jeho likvidací po skončení životnosti.

Metodika výpočtu je založena na indikátorech, které představují jednotlivé environmentální dopady na životní prostředí během celého životního cyklu.

Pravidla by se měla řídit normou ČSN EN 15804+A1¹⁷ [28].

4.3 Teorie rozhodování a řízení

Rozhodovací procesy jsou nedílnou součástí každého projektu. Základním problémem celého procesu bývá volba optimální varianty při daných okrajových podmínkách. Manažeři (vedoucí pracovníci) se často rozhodují bez důkladné znalosti problematiky, pouze na základě intuice a následně zpětně nedokáží zdůvodnit, proč tak rozhodli.

Příroda, která tyto procesy ovládá velmi dobře, byla inspirací pro matematiky k vytvoření nových teorií při rozhodování, jako jsou:

- ✓ fuzzy logik (**zvolený způsob výpočtu**),
- ✓ umělé neuronové sítě,
- ✓ genetické algoritmy,
- ✓ chaos [20].

Metoda Fuzzy logik patří do poměrně nového vědního oboru, který se nazývá SC – Soft Computing. Jedná se o oblast, která se zabývá symbiózou různých výpočetních postupů odlišných od booleovské logiky, analytických modelů ostré klasifikaci a deterministickém prohledávání [29].

Základ této metody je v rozšíření logických operátorů na fuzzy množiny. Nový pojem „stupeň příslušnosti prvku k množině“ určuje, zda prvek do množiny patří, nepatří nebo pouze částečně patří v intervalu hodnot $\langle 0,1 \rangle$ (0 – prvek do

¹⁷ Norma – Udržitelnost staveb – Environmentální prohlášení o produktu – Základní pravidla pro produktovou kategorii stavebních produktů

množiny nepatří, 1 – prvek do množiny patří, hodnoty mezi 0 a 1 – prvek do množiny patří částečně – fuzzy-neostrá množina) [29].

V případě, že hodnota do množiny patří či nepatří (částečně patří, není uvažováno) jedná se o fuzzy-ostrou množinu [29].

Fáze procesů metody Fuzzy logik:

1. fuzifikace,
2. fuzzy inference,
3. defuzifikace.

4.4 Ověření vybraných tepelně technických vlastností obálky budovy

Pro zajištění maximální životnosti konstrukce a správné funkce je nezbytné, aby konstrukce splňovala tepelně technické parametry, které jsou v souladu s aktuálními právními předpisy.

- ✓ šíření tepla konstrukcí a obálkou budovy:
 - nejnižší vnitřní povrchová teplota,
 - součinitel prostupu tepla U ,
 - průměrný součinitel prostupu tepla,
 - lineární a bodový činitel prostupu tepla,
 - pokles dotykové teploty podlahy,
- ✓ šíření vlhkosti konstrukcí:
 - zkondenzovaná vodní pára uvnitř konstrukce,
 - roční bilance kondenzace a vypařování vodní páry uvnitř konstrukce,
- ✓ šíření vzduchu konstrukcí a budovou:
 - průvzdušnost,
 - větrání místností.

4.5 Termografické posouzení

Termografie je nedestruktivní a bezkontaktní způsob pro zjištění povrchových teplot konstrukcí, nikoliv však teplot uvnitř konstrukce. Princip měření je založen na měření intenzity tepelného záření, které objekty vyzařují o vlnových délkách v infračervené oblasti. Jedná se o objekty, jejichž teplota je vyšší než absolutní nula, tj. $0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$ [30].

V tomto směru nejúčinnější, ale zároveň nejnákladnější jsou plošné termografické systémy.

Infračervené snímky, tzv. termogramy, ukazují na tepelné mosty a nepravidelnosti. Spolu s termogramem jsou pořizovány i snímky viditelného spektra (fotografie), které pomáhají později identifikovat místa měření.

Tepelný most je místo v konstrukci, kde místní tepelný odpor je významně jiný. To může být způsobeno průnikem (částečně nebo úplně) prvku s odlišnou tepelnou vodivostí, nebo změnou tloušťky vrstev stavební konstrukce, nebo geometrií konstrukce. V tomto místě je zvýšená hustota tepelného toku a nižší povrchové teploty na vytápěné straně [31]. Tepelný most má negativní účinky na životnost konstrukce i klima vnitřního prostupu.

Jelikož měření bylo prováděno v objektech, které byly v plném provozu, nebylo možné provést měření v celém objektu, ale pouze v jeho vybraných částech.

4.6 Mechanická odolnost

4.6.1 Ukotvení

K potvrzení dostatečné mechanické odolnosti navržené revitalizace „se zachování funkčních celků“ je nutné ověření mechanické odolnosti nejslabšího článku celého systému, tj. původního uchycení stávajícího rámu nosné konstrukce OD-001 k nosné konstrukci objektu.

Výpočet byl konzultován se statikem ocelových konstrukcí v rozsahu samotného výpočtu, ale i prvků, které je nutné ověřit. Statické ověření únosnosti je v souladu s ČSN EN 1993-1-1¹⁸ [32].

Ověření mechanické odolnosti:

- ✓ příchytka panelu,
- ✓ svar příchytky s rámem panelu:
 - únosnost ve srovnávacím napětí,
 - únosnost v normálovém napětí.

4.6.2 Mechanická odolnost lepené fasády

V rámci této práce byl zkoušen i nový a zatím nepoužitý způsob revitalizace lepenými fasádami. Proto, aby mohla být tato konstrukční varianta uvedena na trh, musí projít rozsáhlými zkouškami a ověřováním. Tato kapitola práce je zaměřena na praktickou část s uvedením detailních postupů a analýz.

Experimentální zkoušení vhodnosti použitých lepidel v kombinaci s cementotřískovými deskami pro použití na provětrávané fasády je zvoleno na základě dokumentu prohlášení o shodě, kterým je zkoušen lepicí systém SikaTack Panel, který byl vydán 26. 1. 2009, v Brně společností Sika CZ, s.r.o.

4.6.2.1 Výběr lepidel a obkladového materiálu

Experimentální měření zahrnuje pět lepicích systémů. Tři lepidla jsou přímo určená na použití pro lepené fasády a zbývající dvě lepidla pro všeobecné

¹⁸ Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1–1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby

konstrukční lepení. Jedná se o lepidla na bázi polyuretanů¹⁹ a MS – polymerů²⁰. Základní technické parametry vybraných systémů jsou uvedeny v (Tab. 2).

Tab. 2 Základní technické vlastnosti uvedené výrobcem [33], [34], [35], [36] a [37]

Lepidlo	Pevnost v tahu [MPa]	Pevnost ve smyku [MPa]	Báze
SikaTack – Panel ²¹	4,0	2,5	Polyuretan
Dinitrol F500 Polyflex (FP) ²¹	9,0	5,5	Polyuretan
HQ Bond UNI ²¹	1,22 ²²	1,62 ²²	MS – polymer
Simson 007 SMP ²³	2,3	N/A	MS – polymer
Technobond ²³	3,5	3,0	MS – polymer

Jako obkladový materiál je zvolena cementotřísková deska „Cetris Basic“, která je svými vlastnostmi vhodná pro použití na provětrávané fasády i bez dalších povrchových úprav. Jedná se o kompozitní materiál, který se vyrábí lisováním směsi dřevěných třísek (63% objemu), portlandského cementu (25 % objemu), vody (10 % objemu) a hydratačních přísad (2% objemu) [38].

Pro podkonstrukce lepených fasád se ve většině případů využívá slitin hliníku.

4.6.2.2 Výroba zkušebních vzorků

Zkušební vzorky pro stanovení přídržnosti k podkladu jsou tvořeny ze dvou prvků. Obklad představuje cementotřísková deska „Cetris“ čtvercového tvaru o délce stran 100 mm. Terč ze slitiny hliníku kruhového průřezu o celkové ploše 2 500 mm² a tloušťce 19,5 mm představuje nosnou podkonstrukci.

Každý druh lepidla vyžaduje jinou úpravu lepených povrchů. Zpravidla se musí mechanicky očistit hrubé nečistoty a zdrsňit povrch. Obkladový materiál se zbrousí brusným papírem drsnosti P40 a hliníkové terče brusnou tkaninou drsnosti P320. Dále se povrchy chemicky odmastí a nechají cca 10 minut odvětrat. Aplikačním štětečkem se nanese podkladový zlepšovací nátěr, jež je nutné nechat zaschnout po dobu 0,5 až 2 hodin, v závislosti na použitém systému lepení. Následně se na střed destičky nanese lepidlo do kuželovitého tvaru v dostatečném množství. Po přimáčknutí terče na lepidlo, cca 4 mm od obkladní destičky, se do lepidla vloží distanční tělíska “korálky” o průměru 3 mm. Poté se terč dotlačí na tuto vzdálenost. Tím je zabezpečena požadovaná distance. Přebytečné lepidlo se odstraní. Pro každé lepidlo je potřeba vytvořit min. 18 vzorků, jak uvádí norma [39].

Pro stanovení pevnosti ve smyku jsou zkušební tělesa tvořena ze dvou prvků o rozměrech 25 x 100 mm. Jedna destička představuje podkonstrukci, druhá

¹⁹ Polyuretan je polymer, který se vyrábí polyadici diizokyanátů a dvoj - nebo vícesytných alkoholů za vzniku karbamátové vazby.

²⁰ MS-polymer je polyether s ukončujícími funkčními silylovými skupinami.

²¹ systém určený pro použití na realizaci lepených fasád

²² při použití na obkladovém materiálu Eternit (Natura, Pictura, Textura)

²³ systém určený pro konstrukční lepení

destička cementotřískový obklad. Nejprve se na hliníkové destičce vyznačí vzdálenost přeplátování, která činí 12,5 mm ($\pm 0,25$ mm). Následně se na koncích destiček v místech přeplátování oba povrchy ošetří, jako u předcházející zkoušky. Na hliníkovou destičku se nanese lepidlo kuželovitého tvaru. To umožní celoplošné rozprostření lepidla pod přeplátováním. Druhá destička se přiloží a přitlačí, až na požadovanou tloušťku cca 3 mm. Tloušťka lepidla je zajištěna pomocí distančních tělísek “špejle”. Pro každé lepidlo je nutné vyrobit min. 15 vzorků, jak uvádí norma [40].

4.6.2.3 Ošetřování

Zkušební vzorky se nechají vyžrát v suchém a čistém prostředí při průměrné teplotě vzduchu (23 ± 1) °C s relativní vlhkostí (50 ± 5) % [41]. Jelikož obkladový materiál je pórovitý, vzorky vyzrají cca do 48 hodin.

4.6.2.4 Kondicionování

Jelikož je nutné předpokládat, že na fasádu budou působit proměnlivé klimatické podmínky, je nezbytné zkušební vzorky kondicionovat způsobem, aby byly vzorky vystaveny takovým vlivům, které by na fasádu mohly působit v místě jejího zabudování.

První sada 6 zkušebních vzorků není kondicionována. Po vyžrání jsou vzorky okamžitě testovány. Další sada 6 zkušebních vzorků je kondicionována způsobem, který simuluje náhlé teplotní změny. Vzorky jsou střídavě zahřívány infralampami na teplotu (70 ± 3) °C a následně ochlazeny ve vodní lázni na teplotu (20 ± 2) °C v 25 cyklech [42]. Poslední sada 6 zkušebních vzorků je kondicionována na mrazuvzdornost, kdy jsou vzorky střídavě zmrazovány po dobu 18 hodin na teplotu (-20 ± 2) °C a rozmrazovány ve vodní lázni po dobu 6 hodin při teplotě (20 ± 3) °C v 15 cyklech [43].

4.6.2.5 Zkoušení vzorků

Před samotným zkoušením jsou vzorky ponechány v suchém a čistém prostředí z důvodu aklimatizace. Vzorky se vloží do speciálně vyrobené formy, která dovolí uchycení do trhacího zařízení. Testování se provádí na trhacím zařízení FP 10/1 s maximální silou 10 kN, které umožňuje sledovat a zaznamenávat průběh deformace v závislosti na zatížení (měření posunem příčnicku). Rychlost zatěžování je $1,00 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Vzorky jsou zatěžovány až do jejich destrukce.

4.6.2.6 Výpočet

Pro návrh bezpečné fasády se zvoleným obkladem tj. Cetris Basic, je nutné provést výpočet, jaké jsou maximální možné dimenze použitého velkoformátového obkladu. Jelikož se v našem případě jedná o kompozitní materiál s vysokým obsahem dřevěných třísek, v tomto výpočtu musíme zohlednit i různou objemovou roztažnost všech komponentů fasádního systému.

4.7 Konstruktivní řešení opláštění

4.7.1 Lehký obvodový plášť OD-001 „Boletický panel“

4.7.1.1 Popis konstrukce

Konstrukce OD-001 „Boletický panel“ patřila mezi nejčastější montované lehké obvodové pláště, které se kdy v tehdejší Československu realizovaly. Montáž se prováděla především v Čechách a na Moravě. Na Slovensku se montoval pouze okrajově.

S jeho výrobou se začalo už v šedesátých letech v průmyslových závodech stavební prefabrikace v Boleticích nad Labem. Produkce při zapojení všech výrobních kapacit činila více jak 100 tisíc m² za rok. Životnost se přepočítávala na třicet let od prvotní montáže [44].

Konstrukce OD-001 byla představené zavěšené opláštění budovy, panelového typu s uzavřenými profily rámu. Konstruktivní výška jednoho panelu byla na výšku jednoho podlaží 3,3 a 3,6 m. Základní šířky panelů byly 0,6; 0,9; 1,2 a 1,5 m. Skladebná tloušťka panelu byla 90 mm. Nosná konstrukce po obvodu byla z uzavřeného ocelového tenkostěnného profilu 90 x 40 mm a tloušťce stěny 2 mm. Parapetní a nadpražní část byla z otevřeného profilu U o stejných rozměrech. Svislé spoje mezi panely byly tzv. svěrné, překryty hliníkovými lištami na vnější straně a na vnitřní straně deskami ze stejného materiálu, jako bylo vnitřní opláštění. Většinou se jednalo o azbestocementové desky. Vodorovné spoje byly přeplátované, kdy dolní panel je překryt okapem, který je součástí panelu nad ním. Na vnitřní stranu panelu opláštění se montovala dřevotřísková deska. Při vyšších požadavcích na požární ochranu se montovala azbestocementová deska o tloušťce 15 mm. Tepelná izolace byla vkládána mezi obvodové a parapetní/nadpražní profily opláštění. Izolace byla buď z pěnového polystyrenu, pěnového polyuretanu, minerálních nebo skelných vláken o tloušťce cca 60 až 80 mm. Tepelná izolace byla zakryta buď hydroizolační fólií s ocelovým roštem, nebo azbestocementovou deskou. Dále byla provětrávaná mezera tloušťky cca 25 mm. Vnější povrch byl z tvrzeného opakního nebo smaltovaného skla. Připevnění bylo k nosné konstrukci hliníkovými lištami. Rámy okenních výplní byly dřevěné, hliníkové nebo jejich kombinace. Zasklení bylo zdvojené, nebo z izolačních dvojskel. Horní část byla kyvně otevíravá. Spodní část pouze pevně zasklena. Panely byly z továren na místo zabudování dopravovány plně smontované nebo v částečně kompletizovaném stavu [5] a [45].

4.7.1.2 Stávající stav

Konstrukce už od začátku trpěla nedostatky především z důvodu jejího konstruktivního řešení a použitých materiálů.

Jedná se především o tepelné technické vlastnosti, které mají přímý dopad na vlastnosti mechanické. Na vnější straně, vlivem slunečního záření, teplota vnější vrstvy dosahuje až 70 °C v letním období. Polystyren, který je jednou

z variant tepelné izolace, neodolává a postupně degraduje. Naopak v zimě vlivem kondenzace vodní páry i námraz v tepelné izolaci, tato vrstva ztrácí svoji tepelně izolační schopnost. V místech nosného rámu, ani u rámu okenních výplní, není přerušena tepelná izolace. Tloušťka tepelné izolace je pouhých 60 – 80 mm v panelové části. Okenní výplně jsou zdvojené bez pokovení. Kování a těsnění okenního rámu je už opotřebováno a neplní svoji funkci. Okenní výplně řádně nezavírají a někdy nejdou ani otevřít. Špatné konstrukční řešení oplechování způsobuje zatékání dešťové vody do konstrukce. U okenních křídel chybí dekompresní komora, která by tento přetlak vyrovnávala. Tento defekt je zněkolikanásoben v případě vhněného deště na závětrné straně. Velkou průvzdušností opláštění dochází ke kondenzaci vodní páry v konstrukce. Běžně se stává, že vnější opakní či smaltová skla vypadávají. To může způsobit i zranění kolemjdoucích. Objekt se stává nebezpečným. Zatékání do konstrukce se tím znásobí ale i degradace prvků, hlavně tepelné izolace, jak je viděno na (Obr. 1).



Obr. 1 Pohled na degradovanou tepelnou izolaci OD-001 „Boletický panel“

4.7.2 Databáze možností revitalizace

Dnešní systémy revitalizací LOP je možné rozdělit do tří skupin. Tyto skupiny představují stupeň revitalizace.

První stupněm revitalizace je pouhá **výměna okenních výplní**. Dále je o ní v textu hovořeno jako o částečné revitalizaci. Tato metoda se týká pouze takových výměn okenních výplní a oprav stávající konstrukce, u kterých nezasahujeme do nosných ani do ostatních konstrukcí ve větší míře. Zásah je realizován pouze v místě poškození. Z hlediska finančního, technologického, časového a

provozního je tato varianta považována za nejvýhodnější, ale neřeší podstatu problému. Tepelně technické vlastnosti zůstávají v panelové části nevyhovující a degradace prvků pokračuje.

Dalším (**druhým**) stupněm revitalizace je **výměna okenních výplní spolu s úpravou panelové části** tj. se zachováním funkčních celků. Pro tuto metodu jsou charakteristické následující kroky. Zvětšení tloušťky tepelné izolace, kompletní výměna konstrukcí, které chrání tepelnou izolaci. Tím se docílí splnění tepelně technických požadavků, jež jsou kladeny na tyto konstrukce. Zmíněná varianta nejenže prodlouží životnost konstrukce, ale je i z hlediska estetiky velkým přínosem. Na druhou stranu tento stupeň má i mnoho nevýhod. Mezi hlavními nevýhodami můžeme jmenovat omezené možnosti při výběru konstrukčního řešení ale i materiálu. Limitujícím faktorem je zde nosná konstrukce, která zůstává původní. Tato varianta má malý až středně velký vliv na provoz uvnitř v objektu, kde se provádí revitalizace.

Posledním (**třetím**) stupněm je **úplná výměna** stávajícího opláštění za nové. Tento způsob se jeví, jak z hlediska finančního, provozního a technologického, jako nejnáročnější. Nejsou zde žádné omezující faktory pro vytvoření nové obalové schránky, která má splnit všechny tepelně technické, estetické a materiálové požadavky. Nejenže plášť může být vyměněn za nový LOP, ale pokud to konstrukční parametry objektu dovolí, může být nahrazen i těžkým obvodovým pláštěm. Další podstatnou výhodou je odstranění azbestu ve formě azbestocementových desek z konstrukce.

Níže popsané způsoby revitalizace vycházejí ze skutečných případů, které jsou vybrány z celé ČR. Systémy revitalizací byly realizovány v různých obdobích, stupni a na variantách původního opláštění. Z tohoto důvodu bylo nutné, aby všechny typy mnou vybraných revitalizací byly sjednoceny a tím bylo umožněno jejich vzájemné porovnávání. Dále musely být některé revitalizace mírně opraveny a to z důvodu špatného konstrukčního řešení v kombinaci s použitým materiálem. V následujícím textu jsou pouze zjednodušeně popsány všechny mě známé způsoby revitalizace LOP. Ostatní konstrukce např. střešní plášť či těžký obvodový plášť se realizovaly různými technologiemi v závislosti na použitém systému.

Použité technologie revitalizací LOP:

- ✓ výměna transparentní „okenní“ částí obvodového pláště,
- ✓ revitalizace systémem vlnitých plechů,
- ✓ revitalizace systémem plechových kazet,
- ✓ revitalizace sádrovláknitými deskami,
- ✓ revitalizace systémem stěnových panelů,
- ✓ revitalizace elementy panelů,
- ✓ revitalizace pórobetonovými tvárniciemi,
- ✓ simulovaná revitalizace lepenou fasádou – cementotřískové desky.

Jednotlivé systémy revitalizací jsou detailně popsány v Dizertační práci.

5 SIMULOVANÝ OBJEKT

Pro zhodnocení efektivnosti jednotlivých revitalizací bylo nutné vytvořit simulovanou budovu, na kterou se aplikovaly konstrukční varianty revitalizací. Velikost, dispozice i tvar byl simulované budovy zvolen na základě reálné stavby v ČR.

U simulované budovy je technický stav vyhovující. Nosná konstrukce objektu vč. základů i nosná podkonstrukce LOP je dostatečná. Pouze se musí lokálně ošetřit degradovaná nosná konstrukce (obroušení a natření). Štítové stěny mají dostatečnou únosnost i přídržnost pro aplikaci vnějšího zateplovacího systému ETICS.

Budova je umístěna v intravelánu obce, jako samostatně stojící a slouží pro administrativní účely. Zastavěná plocha je 224,2 m² o rozměrech 13,84 x 16,20 m. Výška objektu je (měřeno od terénu k atice) 7,66 m. Objekt má dvě nadzemní podlaží s plochou nepochůznou střechou a není podsklepen. Nosná konstrukce objektu je železobetonový montovaný skelet MS-KO.

Zdroj tepla v zimním období se uvažuje dálkově z místní teplárny. V letním období je chlazení zajištěno multi-split systémem. Úprava vzduchu není uvažována. Větrání je přirozené otevíranými okny.

V simulovaném objektu musely být zlepšeny tepelně technické vlastnosti obálky budovy v rozsahu:

- ✓ střešní plášť,
- ✓ těžké štítové stěny,
- ✓ LOP OD-001 (vč. vchodových dveří).

Pro model administrativní budovy je zvolena jednoplášťová nepochůzná střecha s kombinovaným pořadím vrstev. Stávající izolace proti vodě se očistí a na ni je volně ložena tepelná izolace ve formě minerální vlny v tloušťce 200 mm. Na ní je položena separační vrstva a izolace proti vodě. Ukotvení je řešeno mechanicky pomocí talířových kotev s ocelovým trnem. Řešení u atiky je individuální v závislosti na zvolené revitalizaci.

Na zlepšení tepelně technických vlastností štítových stěn bylo užito systému ETICS. Jelikož stávající konstrukce štítových stěn mají poměrně dobré tepelně izolační vlastnosti, je zcela dostačující použití tepelného izolantu ve formě polystyrenu EPS s tloušťkou 100 mm.

Konstrukce soklu byla zateplena extrudovaným polystyrenem XPS tl. 100 a 120 mm do hloubky 800 mm pod upravený terén. V nadzemní části soklu byla opatřena mozaikovou omítkou.

Konstrukce podlahy nebyla nijak upravována a to z provozních důvodů, kdy u simulovaného objektu je provoz při revitalizaci pouze omezen.

Na LOP simulovaného objektu byly aplikovány revitalizace v rozsahu výše zmíněných technologií, které jsou uvedeny v kapitole 4.7.2.

6 VÝSLEDKY DISERTACE S UVEDENÍM NOVÝCH POZNATKŮ

6.1 Metodika

Metodika zaměřena na revitalizaci LOP s pokročilými metodami rozhodování je založena na nutnosti mít dostatečně rozsáhlou databázi konstrukčních řešení.

Na základě výpočtu energetické náročnosti budovy před revitalizací a po provedení revitalizace se vypočítají ušetřené energie, které se následně přepočítají na ušetřené náklady a emise CO₂.

Po nadefinování kritérií je nutné zadat jejich váhy. Většina investorů (zadavatelů) preferuje ekonomické hlediska vůči ochraně životního prostředí. Přesto v některých případech tomu může být právě naopak. Váhy kritérií je možné získat na základě dotazníků posílaných přes elektronickou poštu, stejným způsobem jako tomu je v této práci.

Vypočítané a získané vstupní data se následně vyhodnotí pomocí specializovaného počítačového softwaru pro řešení multikriteriálního hodnocení Fuzzy logik. Tento způsob hodnocení je zvolen na základě konzultace s matematikem se zaměřením na tuto problematiku. V softwaru je nutné vytvoření algoritmů pro vložení vstupních dat, které vyžaduje znalosti v oblasti programování (úroveň je závislá na zvoleném programu).

Výsledná efektivita revitalizace je ohodnocena jedním číslem od 0 do 100. Čím vyšší číslo tím je daná revitalizace efektivnější.

6.2 Hodnocená kritéria

Předpokladem hodnocení kritérií je celoroční užívání stavby. Při přerušení provozu se snižuje efektivita revitalizace a zejména úspory ve vytápění objektu. Výsledky jsou počítány na simulovaný objekt, který je uveden v kapitole 5.

6.2.1 Náklady životního cyklu revitalizace

Náklady na životní cyklus revitalizace (50 let) musí být menší nebo alespoň rovné celkovým nákladům na provoz původní budovy (vytápění a chlazení), aby mohla být revitalizace považovaná za výhodnou. Z výsledků uvedených v (Tab. 3) je zřejmé, že nejnižší náklady životního cyklu revitalizace jsou u systému výměny okenních výplní. V nákladech nejsou zahrnuty finanční prostředky na konstrukce, které nejsou součástí revitalizace. Opravy a výměna částí OD-001 (panel) a střešního pláště jsou podstatnou položkou, které zvýší náklad na celý životní cyklus několikrát.

U tohoto kritéria je vhodné porovnávat až následující revitalizace. Rozdíl mezi nejlevnější a nejdražší plnohodnotnou revitalizací je více než 1 mil. Kč. Jde poměrně o velký rozdíl ve finanční zátěži investora na simulovaném objektu.

Tab. 3 Náklady životního cyklu revitalizace na 50 let

Konstrukce	Cena bez DPH [Kč]			
	Zřízení	Užívání údržba	Likvidace	Celkové
OD-001	-	-	-	-
Výměna okenní výplně	430 896	130 569	21 447	582 913
Vlnitý plech	2 166 227	520 992	108 599	2 795 819
Fasádní kazeta	2 507 520	517 653	111 759	3 136 932
Sádrovláknitá deska	2 019 525	549 945	107 545	2 677 016
Sendvičový panel	2 126 489	517 263	104 834	2 748 588
Element panelu	3 143 878	494 929	75 714	3 714 522
Pórobetonová tvárnice	2 210 482	408 395	97 354	2 716 233
Cementotřísková deska	2 361 606	597 349	113 989	3 072 946

6.2.2 Snížení nákladů na vytápění a chlazení

Revitalizací dojde k podstatnému ušetření nákladů na vytápění a chlazení. Při částečné revitalizaci, výměně okenních výplní je úspora do 35 %. Úplnou revitalizací lze dosáhnout úspor až 85 %. Ve finančním vyjádření činí úspora necelých 300 tis. Kč na simulovaném objektu za rok. Rozdíl mezi jednotlivými úplnými revitalizacemi je zcela zanedbatelný. V případě nákladu na chlazení došlo k nepatrnému zvýšení množství potřebné energie a to především z důvodu snížení průvzdušnosti obálky budovy. Vzhledem k celkovému snížení nákladů se jedná o minimální hodnoty.

6.2.3 Doba návratnosti investice

Doba návratnosti investice/revitalizace je přímo závislá na počátečních a ušetřených nákladech. Nejkratší doba návratnosti je u částečné revitalizace výměnou okenních výplní do 2,5 let. Při úplných revitalizacích jsou ušetřené náklady s minimálními rozdíly, tak rozhodujícím faktorem jsou počáteční náklady. Průměrná doba návratnosti se pohybuje kolem 5 let. Nejdelší doba návratnosti je u revitalizace elementy panelů, která je delší než 7 let. Z pohledu investora je doba návratnosti velice krátká. Délka je přímo úměrná vysoké úspoře finančních nákladů na vytápění objektu v zimním období.

6.2.4 Doba realizace/počet normohodin

Doba realizace může být důležitým kritériem. Během provádění dochází k omezení provozu. Např. u školských zařízení revitalizace probíhají pouze o letních prázdninách. Pro objektivní zhodnocení tohoto kritéria je použito počtu normohodin a nikoli počet dnů realizace. Pro představu je počet normohodin převeden na počet dnů, který byl získán vytvořením časových plánů. Nejkratší čas realizace vyžaduje částečná revitalizace výměnou okenních výplní. Jedná se o pouhých 428,16 NH (26 dnů). Úplná revitalizace se zachováním funkčních celků a úplná výměna se je časově náročnější. Doba realizace je od 2382,05 NH (66 dnů) do 3 253,200 NH (78 dnů) resp. 3058,710 (87 dnů).

6.2.5 Ekologická zátěž během životnosti revitalizace

Při vytváření tepelné pohody uvnitř budovy i provádění stavebních úprav jsou nutné zdroje energie, které jsou přímo spjaty s tvorbou emisí skleníkových plynů. Jejich výroba má negativní vliv na životní prostředí. Čím méně energie je potřeba, tím méně je i emisí. U částečné revitalizace, výměnou okenních výplní nejsou zohledněny opravy a výměny konstrukcí, které nejsou součástí revitalizace tj. částí OD-001 (panely), střešní plášť, štitové stěny apod. Přesto se během hodnocené doby tyto konstrukce musí udržovat ve funkčním stavu a tím se zvyšuje tvorba emisí. Největší část emisí vzniká ve fázi užívání budovy za energii na vytvoření tepelné pohody, které činí přes všechny revitalizace v průměru cca 93 %. Celkově nejmenší ekologická stopa je u revitalizace pórobetonovými tvárniciemi. Na druhou stranu nejvíc emisí vzniká u částečné revitalizace výměnou okenních výplní a to v oblasti užívání.

6.3 Celkové vyhodnocení kritérií metodou Fuzzy logik

Výsledné pořadí uvedené v (Tab. 5) vypovídá o efektivnosti jednotlivých konstrukčních řešeních revitalizace původního opláštění OD-001.

Analýza byla prováděna na různorodých konstrukčních variantách, které byly realizovány po celé ČR. Pro možnost vzájemného porovnání musely být modely revitalizací upravovány, neboť byly realizovány v rozdílném rozsahu, materiálech i časových obdobích. Zároveň LOP OD-001 se realizoval v několika variantách konstrukčního řešení.

Základem porovnávání bylo šest kritérií s užitím váhového faktoru. Tyto váhové faktory byly získány na základě dotazníku, který byl elektronicky poslán zaměstnancům VUT v Brně. Jednalo se o pracovníky, kteří mohou být potenciální investoři, projektanti či odborníci této problematiky. Odpovědi byly následně statisticky vyhodnoceny a stanoveny váhy jednotlivých kritérií, které jsou uvedeny v (Tab. 4). Váhy jsou nastaveny tak, aby co nejlépe definovaly požadavky průměrného investora v ČR. Nelze si pod tím ale představit jednoznačné určení, že tomu nemůže být jinak. Záleží vždy na konkrétním investorovi, který může mít jiné priority.

U zvolené metody rozhodování (Fuzzy Logik) není součet všech kritérií roven 100 %, ale každé kritérium je ohodnoceno od 0 – bez váhy až 100 – max. váha kritéria.

Tab. 4 Výsledky dotazníku

Kritérium	Váha
Náklady počáteční investice v Kč	70
Doba návratnosti investice v letech	80
Snížení nákladů na vytápění a chlazení v %	90
Celkové náklady na životnost revitalizace v Kč	75
Počet NH realizace	30
Ekologická zátěž – CO ₂ v tunách	30

Tab. 5 Celkové vyhodnocení kritérií metodou Fuzzy logik

Konstrukce	Počet bodů	Celkové pořadí
Výměna okenní výplně	84,058	1.
Vlnitý plech	64,916	5.
Fasádní kazeta	49,065	7.
Sádrovláknitá deska	69,602	2.
Sendvičový panel	67,832	3.
Element panelu	28,445	8.
Pórobetonová tvárnice	65,629	4.
Cementotřísková deska	63,410	6.

Na první pohled nejlepšího výsledku dosáhla částečná revitalizace výměnou okenních výplní, jak je uvedeno v (Tab. 5). Jedná se o revitalizaci, kdy se vymění část opláštění a tím se sníží podstatný únik energie průvzdušností a vedením konstrukcí. Nejedná se ale o plnohodnotnou revitalizaci, neboť zde nejsou odstraněny základní problémy těchto konstrukcí. Patří k nim zejména vyšší průvzdušnost, ale i nižší minimální povrchové teploty netransparentní části LOP. Stále dochází k postupné degradaci konstrukce a nekomfortnímu užívání budovy. V některých kritériích nejsou zahrnuty ostatní konstrukce, které musí být během uvažované životnosti 50 let opravovány a vyměňovány. Tyto „vícenáklady“ i „víceemise“ by měly podstatný vliv na celkový výsledek. Jestliže ale investor nedisponuje finančními prostředky na provedení celkové revitalizace, je tato varianta na několik málo let vhodným kompromisem.

Za plnohodnotnou revitalizaci lze považovat až následující konstrukční řešení. Z uvedených hodnot, které jsou v (Tab. 5) je zřejmé, že nejlepšími výsledky je dosaženo u konstrukčního řešení revitalizací sádrovláknitými deskami. Jedná se o velice efektivní využití stávající nosné konstrukce. Demontáží části původní konstrukce a zlepšením tepelně technických vlastností opláštění, přidáním tepelné izolace a výměnou okenních výplní je dosaženo účinného omezení spotřeby energie a zvýšení komfortu užívání objektu. S tím i spojené snížení emise skleníkového plynu CO₂. Předností této revitalizace je velice jednoduché konstrukční řešení. I když je revitalizací zamezeno degradaci původní konstrukce, zůstává zde nutnost ověřovat přítomnost azbestových vláken v ovzduší.

Na rozdíl od revitalizace se zachováním funkčních celků, revitalizace pórobetonovými tvárnici zahrnuje úplnou výměnu původního opláštění. Spolu s nosnou konstrukcí je demontován i azbest ve formě azbestocementových desek. Tím odpadá nutnost měření koncentrace azbestových vláken v ovzduší během užívání stavby. Tuto možnost preferuje mnoho investorů z preventivních důvodů, a to i za cenu zvýšených nákladů. Pro zamezení šíření azbestových vláken do okolí se musí stavební práce provádět za přísných bezpečnostních opatření, což zvyšuje náklady na jeho realizaci. Dochází i k velkému omezení provozu v objektu. Další nevýhodou je i vyšší hmotnost opláštění a z tohoto důvodu se nemůže aplikovat na vyšší budovy nebo na objekty s malou únosností.

Revitalizace cementotřískovými deskami, která se umístila až na šestém místě, nebyla dle dostupných informací v ČR ještě realizována. Jedná se o lepenou

fasádu, která byla navržena a následně ověřena v rámci experimentálního měření na výzkumných projektech fakulty. Jedná se o konstrukční řešení vycházející z revitalizace fasádními kazetami. Místo plechových kazet je použito cementotřískových desek, které jsou k nosné podkonstrukci lepeny.

Na posledním osmém místě se umístila revitalizace elementy panelů. Jedná se o revitalizaci, kdy se původní konstrukce opláštění zcela nahradí novou konstrukcí vč. odstranění azbestu. Hlavní důvodem špatného umístění je pořizovací cena, která je o více než 1 mil. Kč vyšší než u revitalizace sádrovláknitými deskami. I když mezi posuzovanými kritérii není estetické hledisko, neboť se jedná o subjektivní dojem, podle autora práce revitalizace zcela v této oblasti vyniká nad ostatními.

Celkové výsledky ukazují na minimální rozdíly mezi pěti ze sedmi úplných revitalizací. Rozdíl mezi druhým a šestým místem je v pouhých 6,192 bodech z celkových 100.

6.4 Tepelně technické vlastnosti obálky budovy

6.4.1 Součinitel prostupu tepla U

V (Tab. 6) jsou uvedeny součinitelé prostupu tepla U. Původní konstrukce OD-001 je zcela nevyhovující a nesplňuje požadované hodnoty. Při částečné revitalizaci výměnou okenních výplní se součinitel zlepšil o 29,15 %. Přesto stále nedosahuje na požadovanou hodnotu. Úplná revitalizace požadovanou hodnotu splní bez problému i s rezervou. Doporučená hodnota U je splněna pouze u revitalizací s úplnou výměnou původní konstrukce.

Tab. 6 Součinitel prostupu tepla U

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]		
	Vypočítaný	Požadovaný	Doporučený
OD-001	2,39	0,91	0,63
Výměna okenní výplně	1,69	0,89	0,62
Vlnitý plech	0,68	0,88	0,62
Fasádní kazeta	0,69	0,88	0,62
Sádrovláknitá deska	0,69	0,88	0,62
Sendvičový panel	0,72	0,88	0,62
Element panelu	0,63	1,01	0,72
Pórobetonová tvárnice	0,22	0,30	0,25
Cementotřísková deska	0,69	0,88	0,62

6.4.2 Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy

Je zřejmé, že původní konstrukce OD-001, ani její částečná revitalizace výměnou okenních výplní, požadovaný průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy nesplní. Tohoto efektu dosáhneme až úplnou revitalizací. Doporučená hodnota není splněna v žádném případě. Původní konstrukce podlahy, u které není uvažováno zateplení, značně zhoršuje tuto hodnotu.

6.4.3 Teplotní stabilita vybraných místností

Původní konstrukce OD-001 a její částečná revitalizace výměnou okenních výplní nesplňuje požadavky na teplotní stabilitu v zimním, ani letním období. Zimní stabilita úplných revitalizací je splněna. Po přerušení vytápění neklesne teplota v kritické místnosti o 3 °C po celou dobu jedné pracovní směny. V případě přerušení vytápění bez přítomnosti osob např. o víkendu neklesne teplota o více než 8 °C (6 °C) za 24 hodin. V letním období není dodržena maximální teplota v kritické místnosti u původního opláštění ani její revitalizací. V tomto období se musí místnost chladit, aby nedocházelo k jejímu přehřívání.

6.4.4 Měrné tepelné toky obálkou budovy

Nejvíce energie u původní konstrukce OD-001 uniká netěsností obálky a to až 50 % z celkové energie. Zhruba 32 % vedením přes opláštění. Zbylých 18 % připadá na ostatní konstrukce a vazby. U částečné i úplné revitalizace se poměr podstatně mění. Únik energie netěsností obálky je cca 36 %, vedením přes opláštění je cca 37 % a zbylých 27 % vedením přes ostatní konstrukce a vazby.

6.5 Mechanická odolnost ukotvení stávajícího rámu k nosné konstrukci objektu

Z provedených výpočtů je zřejmé, že příchytka i její přivaření k nosné konstrukci původního opláštění (nejslabší prvek celého systému) je zcela schopný přenést zatížení od nového konstrukčního řešení jednotlivých revitalizací. Z tohoto důvodu není nutné přistupovat k jejímu zesilování. Posouzení bylo provedeno za předpokladu, že původní příchytka a její přivaření odpovídá výchozím hodnotám tj. bez poškození a oslabení.

6.6 Mechanická odolnost lepené fasády

Do základního statického výpočtu je uvažována šířka jednoho panelu 1 200 mm. Rozměr je dán nosnou konstrukcí opláštění OD-001 „Boletický panel“. V případě, že není možné tento rozměr dodržet, je nutné nosnou podkonstrukci přizpůsobit takovým způsobem, aby bylo možné vnější lepený obklad zmenšit, jak je uvedeno v (Tab. 7).

Tab. 7 Vypočítané maximální rozměry obkladu

Lepidlo	Výška [mm]	Šířka [mm]
SikaTack – Panel	1 550	1 200
Dinitrol F500 polyflex (FP)	400	1 200
HQ Bond UNI	600	1000
Simson 007 SMP	350	1 200
Technobond	300	300

Při zkoušení lepidel na přídržnost k podkladu vyhoví všechna vybraná lepidla. I když v některých případech dochází k porušení spoje v přídržnosti

lepidla k obkladovému materiálu, pevnost spoje je taková, že účinkům větru zcela odolá.

V drtivé většině případů dochází k porušení spoje přímo v obkladovém materiálu, kdy dojde k vytržení celé hmoty. Nedochozí k protažení v lepidle, neboť není dosaženo takových tahových sil.

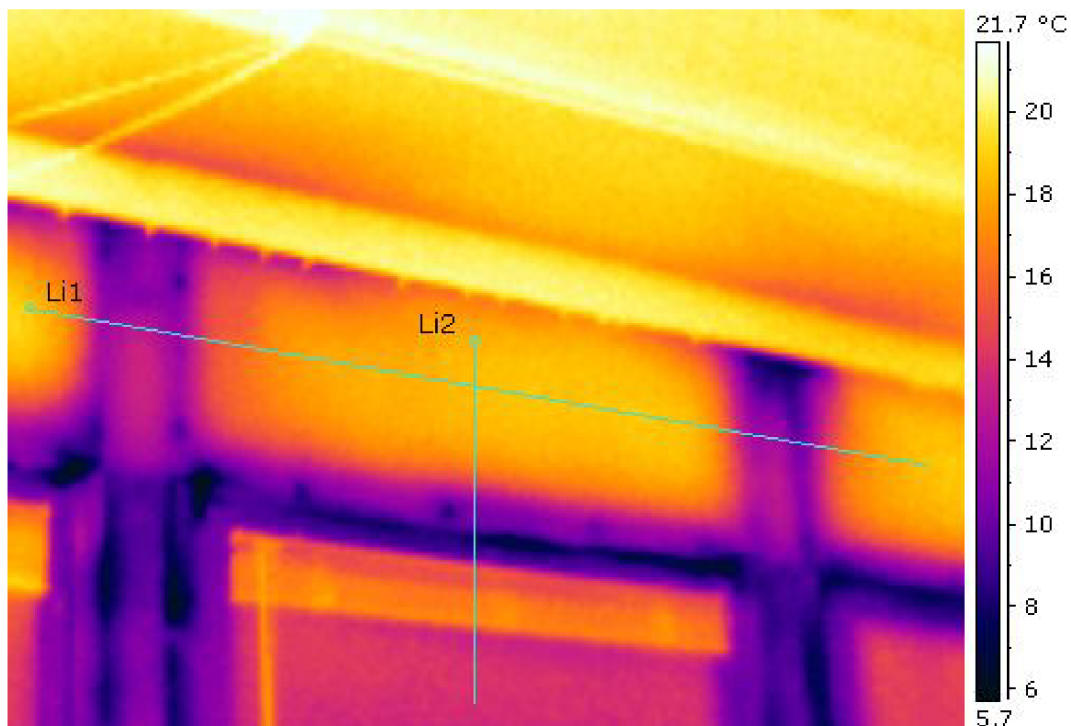
Na druhou stranu při zkoušení lepidel na pevnost ve smyku se ukazují velice znatelné rozdíly v použitém systému lepení. Rozdíl mezi lepidly spočívá v tom, při jakém prodloužení dochází k přetržení.

Nejhorších výsledků je dosaženo u lepicího systému Technobond. Je nutno zdůraznit, že tento systém není určen pro aplikaci na lepené fasády. Dochází k porušení spoje v obkladovém materiálu stejně jako u předcházející zkoušky, ale i v přídržnosti obkladu a lepicího systému.

6.7 Tepelné mosty a nepravidelnosti

Velmi rozsáhlé tepelné mosty netransparentní části LOP OD-001 jsou v místech nosné konstrukce opláštění vodorovných i svislých spojů. Dle konstrukčního řešení není v těchto místech přerušen tepelný most a zároveň vložena tepelná izolace, z důvodu časté technologické nekázně mezi rámy panelů, zcela chybí, jak je vidět na (Obr. 2).

Přesto, že revitalizace výrazně zmenšila rozsah a počet tepelných mostů, bylo nalezeno několik tepelných mostů i u revitalizované konstrukce.



Obr. 2 Termografický snímek horní část místnosti s okenní výplní obálky OD-001
(Li1 – min. 10,1 °C, max. 18,9 °C; Li2 – min. 7,8 °C, max. 18,6 °C).

7 KONKRÉTNÍ ZÁVĚRY PRO REALIZACI VE SPOLEČENSKÉ PRAXI A DALŠÍ ROZVOJ VĚDY

Cílem dizertační práce, které jsou uvedeny v kapitole 2, bylo vytvoření jednoduchých modelů a simulací variant konstrukčního řešení revitalizace lehkého obvodového pláště administrativní budovy a jejich vzájemné porovnání podle předem stanovených kritérií.

Výzkum byl směřován na zpracování teoretických základů stávající problematiky konstrukčních řešení s důrazem na technologii a materiální základnu.

Zvolený způsob multikriteriálního hodnocení Fuzzy logik se i přes počáteční nedůvěru nakonec ukázal jako vhodný nástroj pro vzájemné posuzování variant revitalizace. Tento způsob hodnocení vyžaduje tým odborníků, jednak z oblasti programování, matematiky, ale i stavební oblasti (tepelná technika, rozpočtování, časové plánování, konstrukční detaily, environment).

Využití získaných informací lze použít nejenom v manažerské oblasti, ale i při projekčních činnostech.

Hypotéza práce: provedení revitalizace vybraného LOP má pozitivní vliv na finanční náklady investora a dopad na životní prostředí.

Hypotéza, která byla stanovena na začátku výzkumu, je jednoznačně:

POTVRZENA.

Na potvrzení této hypotézy bylo zapotřebí vytvoření modelů a simulací variant včetně volby metodiky na jejich vyhodnocení. Jednalo se o velice složitou a časově náročnou část práce.

Trvale udržitelná výstavba je závislá na snižování energetické náročnosti objektu a s tím spojené finanční náklady na provoz, ale i environmentální dopad na životní prostředí (emise/odpady), kterou lze dosáhnout vhodnými stavebními úpravami. Tím lze docílit i lepšího vnitřního prostředí pro uživatele objektu.

Z dosavadních výsledků vyplývá, že vznikají nedostatky ve všech stupních realizace. Při revitalizaci je vhodné, aby si investor zajistil zkušeného projektanta, dodavatelskou firmu i technický dozor. Zároveň by měl brát na vědomí, že zde neplatí rčení: nejlevnější znamená nejlepší. Základem dobrého projektu je i úroveň zpracování konstrukčních detailů

Další kapitolou jsou respirabilní karcinogenní látky ve formě azbestových vláken, které jsou obsaženy v azbestocementových deskách. Revitalizací se podstatně sníží možnost šíření azbestových vláken do okolí, či se zcela eliminuje, a to v případě kompletní výměny opláštění.

Investoři neradi slyší o revitalizaci, protože vidí pouze počáteční finanční náklady, které jsou nutné na ní vynaložit. Bohužel si už neuvědomují, že se zvyšujícími cenami za energie na vytápění a chlazení bude provoz objektu stále finančně náročnější. V návaznosti na stávající špatné vyhlídky v oblasti životního prostředí, kdy dochází ke globálnímu oteplování a poškozování přírody, které je nezastavitelné. Letní období budou v Evropě stále teplejší.

Z provedených průzkumů je zřejmé, že původní konstrukce OD-001 „Boletický panel“ je po stránce tepelně technické i konstrukční zcela nevyhovující. Kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce a zatékání do ní postupně způsobuje degradaci jednotlivých prvků a to ohrožuje i mechanickou odolnost nosné konstrukce. Provedené revitalizace tuto záležitost zcela odstraní.

Je evidentní, že ani jeden z uvedených systémů není zcela ideální. Přesto při správném návrhu a následné realizaci můžeme dosáhnout požadovaných výsledků.

Součástí práce bylo i ověření možnosti revitalizace lepenými systémy. Výsledky zkoušení a následný statický výpočet ukazují, že lepení je zcela plnohodnotný systém kotvení cementotřískových desek. Obavy z malé trvanlivosti lepených spojů se nepotvrdily. Při použití tohoto systému zde odpadá problémové kotvení mechanickými spoji, kde nedochází k lokálnímu napětí od kotvicích prvků. Napětí je vlivem tuhosti lepidla eliminováno a přenášeno do lepicího systému. Toto umožňuje teplotní i vlhkostní roztažnost obkladového materiálu rovnoměrně po jeho celé délce i šířce. V tomto případě bylo zjištěno, že nejslabším článkem celého systému je obkladový materiál, neboť nebylo dosaženo maximálního potenciálu lepicích systémů, které dosahují při použití v kombinaci s odolnými materiály řádově vyšších pevností. Přesto je nutné zmínit, že zkoušený obkladový cementotřískový materiál je pro lepené fasádní systémy vhodnou a především ekologicky udržitelnou alternativou, což dokazují i četné realizace. Kromě toho je vhodné uvést, že pro každý druh materiálu se samostatné zkoušky jeví jako nezbytné, neboť při zkoušení dalších obkladových materiálů byly zjištěny značné rozdíly mezi jednotlivými lepicími systémy. Je nutné důrazně upozornit na problematiku nedodržování technických postupů daných výrobcem lepených systémů. Při nevhodné aplikaci dochází k podstatné ztrátě účinnosti celého systému, která by mohla následně vést k destabilizaci (degradaci) celého systému. S touto problematikou úzce souvisí i oblast použití, s rostoucí teplotou je významně ovlivněna i účinnost lepeného spoje, z tohoto důvodu je třeba konstrukční návrh vždy řešit na základě požárně bezpečnostního řešení stavby.

Revitalizaci lze považovat jednoduše za správný krok k trvale udržitelné spotřebě energie a tím i k ochraně životního prostředí.

BIBLIOGRAFIE

- [1] ČSN EN 13830. *Lehké obvodové pláště - Norma výrobku*. Praha : Český normalizační institut, 2004.
- [2] Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon).
- [3] Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií.
- [4] Vyhláška č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby.
- [5] Petrůj, Svatopluk, Vlček, Milan a Tuza, Karel. *Ateliérová tvorba VIII*. Praha : Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [6] ERÚ – Roční zprávy provozu. *ERÚ – Domovská stránka*. [Online] [Citace: 23. Srpen 2016.] http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2015.pdf/3769f65b-3789-4e93-be00-f84416e1ca03.
- [7] Svoboda, Pavel. Přednášky a výukové podklady. *Úvod - k122 Katedra technologie staveb*. [Online] [Citace: 14. Červenec 2016.] <http://technologie.fsv.cvut.cz/122ytrh/get.php?id=148>.
- [8] Mikš, Lubomír, a další, a další. *Optimalizace technickoekonomických charakteristik životního cyklu stavebního díla*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-599-0.
- [9] ČSN EN 15978. *Udržitelnost staveb - Posuzování environmentálních vlastností budov - Výpočtová metoda*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [10] Dubská, Drahomíra. Hmotné bohatství v České republice: posiluje ho vývoj na realitním trhu? | ČSÚ. *Český statistický úřad | ČSÚ*. [Online] [Citace: 4. Srpen 2016.] <https://www.czso.cz/csu/czso/hmotne-bohatstvi-v-ceske-republice-posiluje-ho-vyvoj-na-realitnim-trhu-2012-9z36nz64ms>. 320179-14.
- [11] Nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci.
- [12] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/91/ES o energetické náročnosti budov, z roku 2002.
- [13] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov, po novelizaci v roce 2010.
- [14] Nařízení komise v přenesené pravomoci (EU) č. 244/2012, kterým se doplňuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov stanovením srovnávacího metodického rámce pro výpočet nákladově optimálních úrovní minimálních požad.
- [15] ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [16] Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov.
- [17] ČSN 73 0540-1. *Tepelná ochrana budov - Část 1: Terminologie*. Praha : Český normalizační institut, 2005.

- [18] ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov - Část 3: Navrhované hodnoty veličin*. Praha : Český normalizační institut, 2005.
- [19] ČSN 73 0540-4. *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. Praha : Český normalizační institut, 2005.
- [20] Dostál, Petr, Rais, Karel a Sojka, Zdeněk. *Pokročilé metody manažerského rozhodování*. Praha : Grada, 2005. ISBN 80-247-1338-1.
- [21] Hušek, Roman a Maňas, Miroslav. *Matematické modely v ekonomii: celostátní vysokoškolská příručka pro stud. ekonomických fakult*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1989.
- [22] Dlouhý, Martin, Fábry, Jan a Kuncová, Martina. *Simulace pro ekonomy*. Praha : Oeconomica, 2005. ISBN 80-245-0973-3.
- [23] Počítačová simulace – Wikipedie. *Wikipedie, otevřená encyklopedie*. [Online] Wikimedia. [Citace: 18. Červenec 2016.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Počítačová_simulace.
- [24] *Validation of building energy modeling tools under idealized and realistic conditions*. Ryan, Emily and Sanquist, Thomas. 47, Amsterdam : Elsevier B.V., 2012. ISSN 0378-7788.
- [25] ČSN EN ISO 13790. *Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [26] Svoboda, Zbyněk. Výpočet energetické náročnosti budov . *Katerdra konstrukcí pozemních staveb*. [Online] [Citace: 12. Březen 2016.] http://kps.fsv.cvut.cz/file_download.php?fid=4033.
- [27] Šlanhof, Jiří. Automatizace stavebně technologického projektování. *Modul 03 - časové plánování*. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2008.
- [28] ČSN EN 15804 +A1. *Udržitelnost staveb - Environmentální prohlášení o produktu - Základní pravidla pro produktovou kategorii stavebních produktů*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [29] Modrlák, Osvald. Fuzzy řízení a regulace. *Teorie automatického řízení II - studijní pomůcka*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2002.
- [30] *Introduction to Thermography Principles*. USA : American Technical Publishers, 2009. ISBN 9780826915351.
- [31] Keim, Lubomír. Tepelná ochrana budov. [autor knihy] Hynek Stančík, a další, a další. *Cihlářský lexikon*. České Budějovice : Cihlářský svaz Čech a Moravy, 2007.
- [32] ČSN EN 1993-1-1. *Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha : Český normalizační institut, 2007.
- [33] System, SikaTack Panel. *Sika CZ, s.r.o. | Česká republika | Stavební chemie, průmyslové tmely a lepidla | Sika CZ, s.r.o.* [Online] <http://cze.sika.com/dms/getdocument.get/c18078e4-b447-37fb-b2f1-1627fe4e01e8/SikaTack%20Panel%20System.pdf>.

- [34] DINITROL F500 POLYFLEX | Lepidla na konstrukce DINITROL | Lepení a tmelení | AUTO-COLOR spol. s r.o. *AUTO-COLOR LIBEREC | dodavatel produktů pro antikorozní ochranu, lepení, tmelení, lakování.* [Online] 2011. [Citace: 18. Srpen 2016.] http://www.a-c.cz/index.php?option=com_virtuemart&Itemid=8&file_id=1273&lang=cs&page=shop.getfile&product_id=411/index.php/?page=shop.getfile&file_id=1273&product_id=411&option=com_virtuemart&Itemid=8.
- [35] HQ Bonding B.V. | High Quality Bonding Systems – HQ Bond Uni. *HQ Bonding B.V. High Quality Bonding Systems.* [Online] 2014. [Cited: Srpen 18, 2016.] <http://hqbonding.nl/en/hq-bond-uni/>.
- [36] Lepidlo Simson 007 SMP bílý | tmely, lepidla PU pěny, MS polymery. *Tmely, lepidla, PU pěny, MS polymery.* [Online] [Citace: 18. Srpen 2016.] http://img.simson.cz/files/tl/simson007_tl.pdf.
- [37] RETECH - Váš dodavatel chemie pro autoopravárenství a údržbu. [Online] [Citace: 18. Srpen 2016.] http://www.retech.com/pdf_tech/technobond_cz.pdf.
- [38] CERIS BASIC – Cetris. *CETRIS – cementotřísková deska pro stavebnictví – Cetris.* [Online] [Citace: 18. Srpen 2016.] <http://www.cetris.cz/pagedata/boards/technical-data-sheet-basic-cz.pdf?1467610461>.
- [39] ČSN 73 2577. *Zkouška přídržnosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí k podkladu.* Praha : Úřad pro normalizaci a měření, 1981.
- [40] ČSN EN 1465. *Lepidla - Stanovení pevnosti ve smyku při tahovém namáhání přeplátovaných lepených sestav.* Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [41] ČSN EN ISO 291. *Plasty - Standardní prostředí pro kondicionování a zkoušení.* Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [42] ČSN 73 2581. *Zkouška odolnosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí proti náhlým teplotním změnám.* Praha : Český normalizační institut, 1983.
- [43] ČSN 73 2579. *Zkouška mrazuvzornosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí.* Praha : Český normalizační institut, 1981.
- [44] Dlesek, Vladislav a Stuchlý, Bohuslav. *Lehké obvodové pláště budov.* Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1973.
- [45] Pařízek, Vojtěch. *Pokyny pro montáž lehkých obvodových panelů OD-001.* Praha : Vydavatelské středisko Výzkumného ústavu pozemních staveb, 1971.

Kompletní seznam použité literatury je uveden v Dizertační práci.

VYBRANÁ PUBLIKAČNÍ ČINNOST

1. Šlanhof, J.; Nečasová, B.; Liška, P.; Šimáčková, M., *Verification of Sealing Possibilities of Cement – Based Structures without Additional Surface Treatment*, článek v Applied Mechanics and Materials, ISSN 1660-9336, Trans Tech Publications, Zurich-Durnten, 2016
2. Nečasová, B.; Liška, P.; Šlanhof, J.; Šimáčková, M., *Case Study on Determination of Tensile Properties of Construction Sealants at Variable Temperatures*, článek v Applied Mechanics and Materials, ISSN 1660-9336, Trans Tech Publications, Zurich-Durnten, 2016
3. Liška, P.; Šlanhof, J.; Nečasová, B.; Kovářová, B., *Experimental Investigation of the Tensile Properties of Ventilated Facade Cladding with Bonded Joints*, článek v Applied Mechanics and Materials, ISSN 1660-9336, Trans Tech Publications, Zurich-Durnten, 2016
4. Nečasová, B.; Liška, P.; Šlanhof, J., *Influence of Technological Indiscipline on Strength Properties of Bonded Joints*, článek v Applied Mechanics and Materials, ISSN 1660-9336, Trans Tech Publications, Zurich - Durnten, 2015
5. Šlanhof, J.; Liška, P.; Nečasová, B.; Šimáčková, M., *The Suitability of Sealants for Use with Concrete Structures*, článek v Advanced Materials Research, ISSN 1022-6680, Trans Tech Publications, Zurich - Durnten, 2015
6. Nečasová, B.; Liška, P.; Šlanhof, J., *Wooden Facade with Bonded Joints - Experimental test*, článek v Advanced Materials Research, ISSN 1022-6680, Trans Tech Publications, Zurich - Durnten, 2015
7. Nečasová, B.; Liška, P.; Šlanhof, J.; Kovářová, B., *Determination of Adhesion of Silyl Modified Polymer Adhesives to Wooden Façade Cladding – Case Study*, článek v Procedia Engineering, ISSN 1877-7058, Elsevier Ltd., Amsterdam, 2015
8. Liška, P.; Nečasová, B.; Šlanhof, J.; Šimáčková, M., *Determination of Tensile Properties of Selected Building Sealants in Combination with High-pressure Compact Laminate (HPL)*, článek v Procedia Engineering, ISSN 1877-7058, Elsevier Ltd., Amsterdam, 2015
9. Nečasová, B.; Liška, P.; Šlanhof, J., *Test of Adhesion and Shear Strength of Polyurethane Adhesives to Cement-bonded Particleboard*, článek v Advanced Materials Research, ISSN 1022-6680, Trans Tech Publications, Zurich - Durnten, 2015
10. Liška, P.; Šlanhof, J.; Nečasová, B., *Revitalization of Facade Cladding with the Use of Bonded Joints*, článek v Advanced Materials Research, ISSN 1022-6680, Trans Tech Publications, Zurich-Durnten, 2014
11. NEČASOVÁ, B.; LIŠKA, P.; ŠLANHOF, J.; ŠIMÁČKOVÁ, M., *Test of Adhesion and Cohesion of Silicone Sealants on Facade Cladding Materials within Extreme Weather Conditions*, článek v Advanced Materials Research, ISSN 1022-6680, Trans Tech Publications, Zurich-Durnten, 2014

Kompletní seznam publikační činnosti je uveden v Dizertační práci.

ŽIVOTOPIS

Osobní údaje

Jméno, titul: **Pavel Liška, Ing.**
Narozen: Příbrami, dne 23. 7. 1984
Trvalé bydliště: Mokrovraty 156, 262 03 Nový Knín

Vzdělání

2011 – současnost Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
Doktorský studijní program: Stavební inženýrství
Obor: Pozemní stavby

2009 – 2011 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
Navazující magisterský studijní program: Stavební
inženýrství
Obor: Realizace staveb

2004 – 2009 Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební
Bakalářský studijní program: Stavební inženýrství
Obor: Pozemní stavby

2000 – 2004 Střední průmyslová škola Příbram
Studijní obor: Pozemní stavitelství

Studijní pobyty v zahraničí

2012 Univerzita v Lublani, Fakulta stavební a geodézie, Slovinsko

2012 Slovenská technická univerzita v Bratislavě, Fakulta
stavební, Slovensko

Projekty

2016 Specifický výzkum FAST-S-16-3434, Experimentální
ověření technologického řešení konstrukce trvale udržitelné
mobilní stavby s důrazem na její stavebně - fyzikální chování.

2015 Specifický výzkum FAST-J-15-2728, Analýza odolnosti
dřevěné provětrávané fasády s lepenými spoji proti zatížení
větrem.

2012 – 2014 FR - TIP (2009-2017) FR-TI4/332, Nové technologie
lepených obvodových plášťů budov s kotvicími prvky se
zvýšenou odolností vůči korozi.

2011 Specifický výzkum FAST-S-11-46, Návrh technologických
postupů při recyklaci a následném využití při výstavbě v
oblastech brownfieldů.

