ISSN 1339-3189 6/2025

Mladá veda

Young Science

Špeciálne vydanie

www.mladaveda.sk

K KPS

STU SvF

ŠTUDENTSKÁ DOKTORANDSKÁ KONFERENCIA

2025

KATEDRY KONŠTRUKCIÍ POZEMNÝCH STAVIEB SVF STU V BRATISLAVE
ÚSTAVU KONŠTRUKCIÍ V ARCHITEKTÚRE A INŽINIERSKYCH STAVIEB FAD STU V BRATISLAVE
ÚSTAVU STAVITELSTVÍ FA ČVUT V PRAHE

PROGRAM

09:00 - ÚVOD
09:10 - 10:45 - PREZENTÁCIA VÝSKUMNEJ ČINNOSTI DOKTORANDOV (BLOK 1)
10:45 - 11:00 - COFFE BREAK
11:00 - 12:30 - PREZENTÁCIA VÝSKUMNEJ ČINNOSTI DOKTORANDOV (BLOK 2)
12:45 - 13:30 - OBED (ALŽBETKA)
14:00 - 15:00 - KOMENTOVANÁ PREHLIADKA MODERNIZOVANEJ SNG (VAJANSKÉHO NÁBREŽIE)

*program je predbežný, jeho zmena je vyhradená

ODBORNÍ GARANTI

prof. Ing. Boris Bielek, PhD.
doc. Ing. arch. Eva Vojteková, PhD.
doc. Ing. Lenka Prokopová, PhD.
doc. Ing. Stanislav Darula, PhD.
doc. Ing. arch. Henrich Pifko, PhD.
doc. Ing. Rastislav Ingeli, PhD.
Ing. Peter Hanuliak, PhD.
doc. Ing. Daniela Bošová, Ph.D.
doc. M.A. Jan Stolín

VÝSTUP

ŠPECIÁLNE VYDANIE MLADEJ VEDY - PREZENTUJÚCI ÚČASTNÍCI ODOVZDAJÚ ODBORNÉ ČLÁNKY NA RECENZIU V TERMÍNE DO 31.5.2025

24 Apríl, 2025

SEMINÁRNA MIESTNOSŤ KKPS
NA STAVEBNEJ FAKULTE STU V BRATISLAVE

Mladá veda
Young Science

MEDZINÁRODNÝ VEDECKÝ ČASOPIS MLADÁ VEDA / YOUNG SCIENCE

Číslo 6, ročník 13., vydané v decembri 2025
ISSN 1339-3189, EV 167/23/EPP
Kontakt: info@mladaveda.sk, tel.: +421 908 546 716, www.mladaveda.sk
Fotografia na obálke: Slovenská národná galéria. © Peter Hanuliak

REDAKČNÁ RADA

prof. Ing. Peter Adamišin, PhD. (Katedra environmentálneho manažmentu, Prešovská univerzita, Prešov)
doc. Dr. Pavel Chromý, PhD. (Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje, Univerzita Karlova, Praha)
prof. Dr. Paul Robert Magocsi (Chair of Ukrainian Studies, University of Toronto; Royal Society of Canada)
Ing. Lucia Mikušová, PhD. (Ústav biochémie, výživy a ochrany zdravia, Slovenská technická univerzita, Bratislava)
PhDr. Veronika Kmetóny Gazdová, PhD. (Inštitút edukológie a sociálnej práce, Prešovská univerzita, Prešov)
doc. Ing. Peter Skok, CSc. (Ekomos s. r. o., Prešov)
Mgr. Monika Šavelová, PhD. (Katedra translatológie, Univerzita Konštantína Filozofa, Nitra)
prof. Ing. Róbert Štefko, Ph.D. (Katedra marketingu a medzinárodného obchodu, Prešovská univerzita, Prešov)
prof. PhDr. Peter Švorc, CSc., predseda (Inštitút histórie, Prešovská univerzita, Prešov)
doc. Ing. Petr Tománek, CSc. (Katedra veřejné ekonomiky, Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava)
doc. Mgr. Michal Garaj, PhD. (Katedra politických vied, Univerzita sv. Cyrila a Metoda, Trnava)

REDAKCIA

Mgr. Branislav A. Švorc, PhD., šéfredaktor (Vydavateľstvo UNIVERSUM, Prešov)
Mgr. Martin Hajduk, PhD. (Banícke múzeum, Rožňava)
PhDr. Magdaléna Keresztesová, PhD. (Fakulta stredoeurópskych štúdií UKF, Nitra)
RNDr. Richard Nikischer, Ph.D. (Ministerstvo pro místní rozvoj ČR, Praha)
PhDr. Veronika Trstianska, PhD. (Ústav stredoeurópskych jazykov a kultúr FSŠ UKF, Nitra)
Mgr. Veronika Zuskáčová (Geografický ústav, Masarykova univerzita, Brno)

VYDAVATEĽ

Vydavateľstvo UNIVERSUM, spol. s r. o.
www.universum-eu.sk
Javorinská 26, 080 01 Prešov
Slovenská republika

© Mladá veda / Young Science. Akékoľvek šírenie a rozmnožovanie textu, fotografií, údajov a iných informácií je možné len s písomným povolením redakcie.

Mladá veda
Young Science
ISSN 1339-3189

Vol. 13 (6), pp. 32-45

REFLEXNÍ MIKROMATERIÁL NA BÁZI SKLENĚNÝCH MIKROKULIČEK PRO FASÁDNÍ PLÁŠTĚ: EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ VLIVU NA VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ BUDOV

REFLECTIVE MICRO-MATERIAL BASED ON GLASS MICROSPHERES FOR BUILDING ENVELOPES: EXPERIMENTAL VERIFICATION OF ITS IMPACT ON INDOOR ENVIRONMENTAL CONDITIONS

František Novotný, Zuzana Vyoralová[1]

František Novotný působí jako doktorand na Fakultě stavební Českého vysokého učení technického v Praze. Ve svém výzkumu se věnuje problematice aplikace reflexních mikro-materiálů na obalové pláště budov a jejich vlivu na vnitřní prostředí. Jeho disertační práce se zaměřuje na inovativní využití těchto materiálů, zejména při konverzi materiálů pro průsvitné konstrukce, s cílem zlepšit tepelně-technické vlastnosti fasádních plášťů. Zuzana Vyoralová je pedagog na ČVUT na ústavu Stavitelství II Fakulty architektury. Je garantem předmětů pro prezenční formu studia a školitelkou studentů doktorského studia. V praxi se věnuje poradenské a projekční činnosti v oboru technických zařízení budov a programům celoživotního vzdělávání.

František Novotný is a PhD student at the Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague. His research focuses on the application of reflective micro-materials in building envelopes and their impact on the indoor environment. His dissertation explores the innovative use of these materials, particularly in the conversion of materials for translucent structures, aiming to improve the thermal performance of façade systems. Zuzana Vyoralová is a lecturer at ČVUT, at the Institute of Building Construction II, Faculty of Architecture. She serves as a course guarantor for full-time study programmes and as a supervisor of doctoral students. In professional practice, she is engaged in consultancy and design activities in the field of building services engineering and in lifelong learning programmes.

Abstract

We are investigating the effect of Hollow Glass Microspheres™ on the thermal and optical properties of building envelopes and describing their impact on the indoor environment. A

[1] Autor, Adresa pracoviska: Ing. arch. František Novotný, Ing. Zuzana Vyoralová, Ph.D., České vysoké učení technické v Praze, Fakulta architektury, Ústav stavitelství II, Thákurova 9, 166 34 Praha 6 – Dejvice
E-mail: frantisek.novotny@fa.cvut.cz, zuzana.vyoralova@fa.cvut.cz

surface layer of glass microspheres applied to a façade is intended to reflect solar gains, insulate against heat loss from the interior, and modify the transparency of the façade without altering the construction itself.
Key words: Young Science, scientific journal, glass microspheres, reflective layer, building envelope, solar gains, heat flux, indoor environment

Abstrakt
Tento výzkum se zabývá vlivem reflexních tenkovrstvých povlaků na bázi dutých skleněných mikrokuliček na tepelně-technické vlastnosti transparentních fasádních plášťů. Cílem je ověřit schopnost těchto materiálů snižovat solární zisky a tepelné ztráty bez nutnosti změny konstrukce či přidání stínících prvků. Experiment probíhal na třech kontejnerových modulech s odlišnými typy aplikace reflexní vrstvy. Výsledky ukazují výrazné zlepšení teplotní stability v interiéru, potvrzující potenciál těchto materiálů pro rekonstrukce budov se zachováním původních obalových konstrukcí.
Kľúčové slová: Mladá veda, vedecký časopis, skleněné mikrokuličky, reflexní vrstva, fasádní plášť, solární zisky, tepelný tok, vnitřní prostředí

Úvod

Transparentní fasádní konstrukce hrají klíčovou roli při zajištění dostatečného denního osvětlení vnitřního prostředí budov. Zároveň však představují slabé místo z hlediska tepelné bilance objektu – umožňují nadměrné solární zisky v letním období a tepelné ztráty v zimě. Tradiční přístupy k regulaci těchto jevů spočívají v aplikaci stínících nebo izolačních prvků, které však často snižují transparentnost a narušují architektonický koncept.

Alternativní možností jsou specializované materiály, které díky svým fyzikálním vlastnostem dokážou modifikovat optické a tepelné chování transparentních plášťů, aniž by zásadně omezovaly jejich průsvitnost. Mezi tyto materiály patří například skla s upravenou spektrální selektivitou nebo polymerní kompozity.

Tento výzkum se zaměřuje na experimentální ověření funkce reflexní vrstvy na bázi dutých skleněných mikrokuliček, aplikované formou tenkovrstvého povlaku (coatingu) na průsvitné konstrukce. Cílem je analyzovat vliv tohoto povlaku na teplotní stabilitu vnitřního prostředí, a to bez nutnosti použití dodatečných neprůhledných stínících prvků. .[2]

Na rozdíl od většiny dosavadních studií, které se zaměřují na tepelně-izolační vlastnosti těchto mikromateriálů, je v tomto výzkumu kladen důraz na jejich emisivitu – schopnost odrážet tepelné záření. Tím se otevírá potenciál jejich využití nejen jako doplňkového izolačního prvku, ale jako aktivního regulátoru tepelné výměny v rámci transparentních plášťů. [3]

[2] NOVOTNÝ, František, 2018. *Transparentní fasády: Možnosti omezení solárních zisků přímo v konstrukci transparentní fasády bez použití stínících prvků.* Seminární práce. Praha: Fakulta architektury, České vysoké učení technické v Praze.
[3] NOVOTNÝ, František, 2020. *Dekonstruktivní REUSE: Možnosti znovuvyužití stavebních elementů a zapojení konceptu RE-USE v ČR*. Seminární práce. Praha: Fakulta architektury, České vysoké učení technické v Praze.

Důležitým aspektem je rovněž možnost aplikace tohoto řešení při rekonstrukcích a adaptacích budov, kde lze zachovat původní konstrukce a materiály, čímž dochází k podpoře principů cirkulární ekonomiky a znovuvyužití stavebního fondu.

Výzkum probíhal ve spolupráci s průmyslovým partnerem AZ tech, s.r.o., dodavatelem povrchového materiálu. Experimentální ověřování probíhalo od roku 2016 na měřicím polygonu složeném ze tří přepravních kontejnerových jednotek, které simulují reálné podmínky provozu fasádního pláště. Výsledky poskytují nové poznatky o možnostech aplikace reflexních mikro-materiálů pro zlepšení tepelně-technického chování obvodových plášťů budov. [4]

Teoretické východisko

V současné době se v mnoha zemích využívá pro dodatečnou tepelnou ochranu budov tenkovrstvý povlak tvořený dutými nebo plnými skleněnými či keramickými mikrokuličkami o průměru přibližně 10–50 µm, dispergovanými v akrylátovém pojivu. Po zaschnutí vytváří tento povrch souvislou vrstvu o tloušťce cca 0,3 mm, složenou z několika paralelních řad mikrokuliček spojených tenkým polymerním filmem. Výhodou této technologie je její jednoduchá aplikace, vysoká paropropustnost a nízká smáčivost. Podle údajů výrobců může takto vytvořený povlak snížit tepelné ztráty budovy až o 30 %.[5]

V odborné literatuře i v aplikační praxi je tento materiál nejčastěji interpretován jako alternativní izolační vrstva. Z tohoto důvodu se často objevují snahy o jeho srovnání s konvenčními tepelnými izolanty. Takové přímé porovnání je však metodicky nevhodné, neboť mikrokuličky fungují na zcela odlišném fyzikálním principu – odrazu tepelného záření, nikoliv zpomalení vedení tepla prostřednictvím tloušťky a struktury materiálu.

V rámci našeho výzkumu je proto klíčovým parametrem emisivita, tedy schopnost materiálu odrážet infračervené záření. Tato vlastnost má potenciál přispět ke snížení tepelných ztrát v zimním období a omezení solárních zisků v letním období, a to bez nutnosti použití dodatečných neprůhledných prvků. Uvedený přístup se jeví jako zvláště přínosný v kontextu renovací a adaptací budov s transparentními obvodovými konstrukcemi, kde může napomoci prodloužení jejich energetické životnosti bez zásahu do původní konstrukce.

Metodologický rámec výzkumu

Cílem výzkumu bylo experimentálně ověřit funkčnost tenkovrstvého reflexního povlaku na bázi skleněných mikrokuliček v kontextu reálného provozního zatížení transparentních obvodových konstrukcí. Zvolená metodologie vychází z potřeby propojit fyzikální parametry materiálu – zejména emisivitu – s jejich dopadem na vnitřní teplotní režim bez zásahu do konstrukčního systému fasády.

V rámci návrhu metodického přístupu bylo upuštěno od laboratorních měření na vzorcích s uměle udržovanými okrajovými podmínkami, která často nedokážou plně zachytit

[4] NOVOTNÝ, František, Lenka PROKOPOVÁ a Daniela BOŠOVÁ, 2018. *Aplikace inovativních průsvitných materiálů na konstrukce a jejich vliv na kvalitu vnitřního prostředí: sborník výzkumu.* Praha: Fakulta architektury, České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-06461-0.

[5] BONDAREV, O.L., STRAZDOVSKII, V.V. a CHERNOV, Y.V., 2017. Experimental investigation of the thermophysical characteristics of a coating based on hollow glass microspheres. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 90, s. 1266–1273. [online]. Dostupné z: https://link.springer.com/article/10.1007/s10891-017-1682-y. DOI: 10.1007/s10891-017-1682-y.

komplexní interakce mezi vnějším klimatem, povrchem konstrukce a vnitřním prostředím. Naopak byl zvolen makroměřítkový přístup s použitím reálných kontejnerových modulů jako modelových jednotek. Tento způsob umožňuje sledovat vliv zkoumaného jevu za přirozených klimatických podmínek a zohlednit i sekundární faktory, jako jsou solární radiace, akumulace tepla, účinky větru či orientace povrchů.

Další klíčovou metodologickou volbou bylo upřednostnění komparativní analýzy před přímým srovnáním s konvenčními izolačními materiály. Důvodem je odlišný fyzikální mechanismus účinku – zatímco klasické izolanty redukují vedení tepla (kondukci), reflexní vrstvy ovlivňují především sálání (radiaci). Z tohoto důvodu nebylo cílem hledat „ekvivalentní tloušťku“ izolantu, ale spíše identifikovat reálný provozní efekt povlaku ve srovnání s referenčním stavem.

Výzkumný design byl dále strukturován tak, aby umožnil sledování rozdílů v účinnosti při různé aplikaci povlaku (interiérová vs. exteriérová), čímž byly vytvořeny tři experimentální varianty s kontrolovatelným rozlišením vstupních parametrů. Využití opakovaného měření v čase a záznam environmentálních podmínek bylo navrženo s cílem dosáhnout dostatečně robustních podkladů pro krokovou analýzu bez nutnosti zajištění laboratorních konstant.

Tento metodologický přístup je ve svém jádru aplikovaný a ověřovací – nesleduje laboratorní přesnost, ale funkční účinek v reálném prostředí. Takový přístup je dle současných směrů výzkumu udržitelnosti a adaptivního designu budov plně opodstatněný.

Experimentální ověření účinku reflexního povlaku

Reflexní povlak na bázi skleněných mikrokuliček byl aplikován na různé typy podkladních materiálů s nepříznivými tepelně-technickými vlastnostmi, jako jsou ocelový plech, polykarbonát a sklo. Cílem bylo sledovat změny v jejich tepelném a světelném chování po aplikaci vrstvy. Následně byl materiál testován v plném měřítku na třech experimentálních jednotkách, tvořených přepravními kontejnery s polykarbonátovým světlíkem. Každá z těchto jednotek byla upravena odlišným způsobem, což umožnilo přímé srovnání.

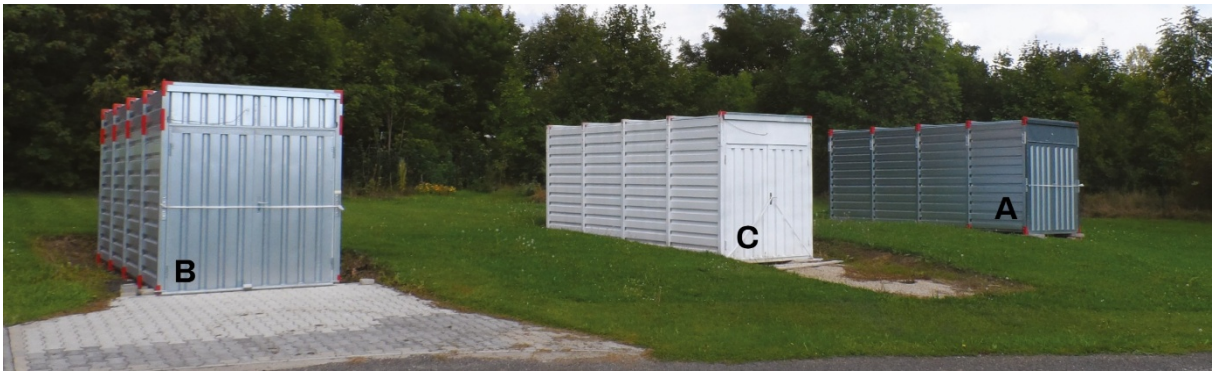
Sestavení měřicího okrsku

Byl vytvořen měřicí polygon viz Obr. 1, složený ze tří kontejnerových jednotek s následující konfigurací:

Kontejner A (CA): referenční jednotka bez úpravy

Kontejner B (CB): povlak aplikován z interiérové strany

Kontejner C (CC): povlak aplikován z exteriérové strany



Obr. 1 – Měřící okrsek, kontejnery A, B, C
Zdroj: fotodokumentace autorov

Každá jednotka byla vybavena nezávislým měřicím systémem zaznamenávajícím teplotu a relativní vlhkost interiéru, kontaktní teploty pláště z vnější i vnitřní strany, a doplněna meteorologickou stanicí měřící teplotu vzduchu, vítr a solární radiaci. Data byla sbírána v desetiminutových intervalech po dobu jednoho referenčního roku.

Hypotéza

Předpokládáme, že aplikace tenkovrstvého reflexního povlaku na bázi mikrosférického materiálu ("blokátoru") změní teplotní chování obálky experimentálních kontejnerových jednotek. Kontejner B, s aplikací vrstvy na vnitřní straně, bude vykazovat stabilnější vnitřní teplotní profil – tedy pomalejší nárůst a pokles teploty v interiéru. U kontejneru C, s povlakem aplikovaným z exteriéru, očekáváme celkové snížení solárních zisků z okolního prostředí. U reflexní vrstvy předpokládáme přibližně lineární chování v rozsahu provozních teplot od −20 °C do +50 °C.

Výzkumná otázka

Lze využít materiál 3M™ Glass Bubbles jako inovativní funkční vrstvu pro zlepšení tepelných a optických vlastností průsvitných fasádních plášťů, a lze toto zlepšení empiricky prokázat v reálných provozních podmínkách?

Vyhodnocení dat

Data z jednotlivých měřicích jednotek byla analyzována metodou krokové analýzy vyvinutou v předchozí fázi výzkumu. Sledovány byly zejména extrémní denní hodnoty, dlouhodobé trendy a rozdíly v teplotním chování mezi jednotlivými variantami. Vzhledem k rozsahu dat nebylo provedeno plnohodnotné statistické šetření, analýza probíhala na vzorku relevantních datových sad vybraných dle klimatických podmínek (slunečnost, větrnost, srážky).

Metoda výzkumu

Experimentální měření bylo realizováno na třech identických kontejnerech z pozinkovaného trapézového plechu o přibližných rozměrech 6,0 × 2,2 × 2,6 m (délka × šířka × výška) a vnitřním objemu přibližně 34 m³. Každý kontejner byl opatřen světlíkem z komůrkového polykarbonátu o rozměrech 6,0 × 1,0 m, umístěným podélně v ose střechy, a vstupními dveřmi na čelní stěně. Kontejnerové jednotky byly rozděleny podle způsobu aplikace reflexní vrstvy následovně:

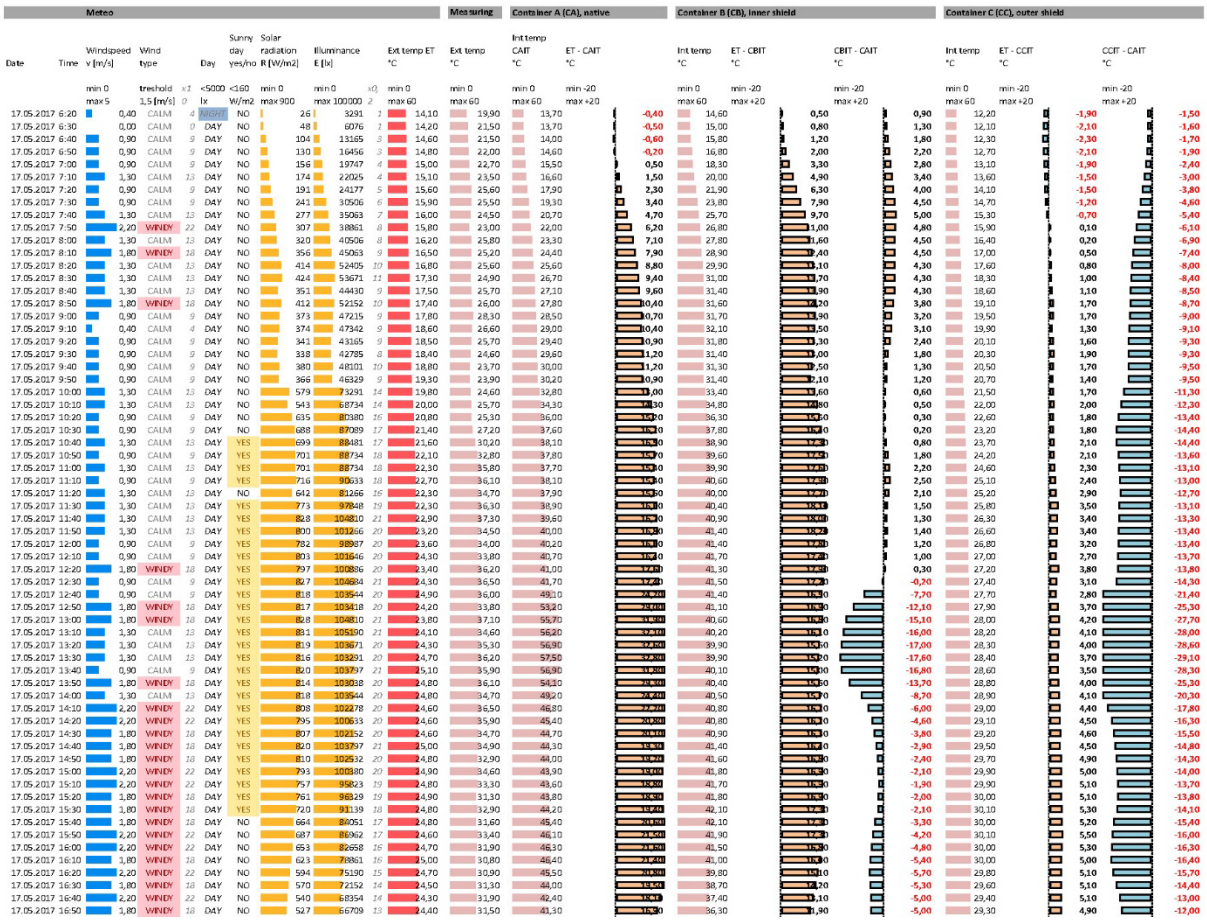
Mladá veda
Young Science
ISSN 1339-3189

Vol. 13 (6), pp. 32-45

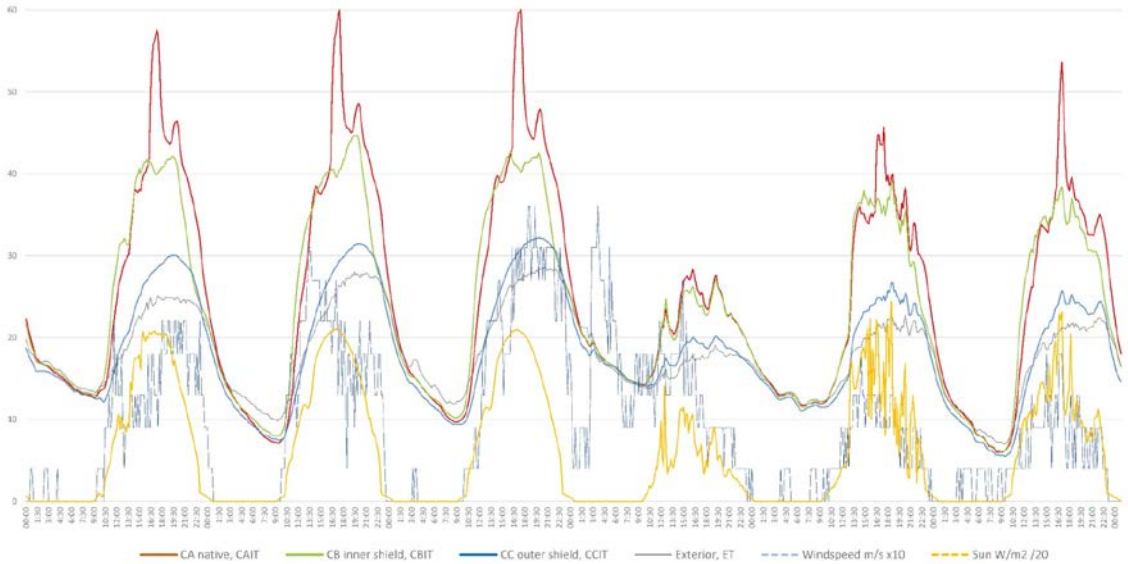
Kontejner A (referenční jednotka): bez jakékoli povrchové úpravy, sloužící jako kontrolní vzorek s předpokládanými nevyhovujícími tepelně-technickými vlastnostmi,
Kontejner B: povlak s reflexním mikro-materiálem aplikovaný na vnitřní stranu pláště,
Kontejner C: povlak aplikovaný na vnější stranu pláště.
Každá z jednotek byla vybavena autonomním měřicím systémem pro záznam teploty a relativní vlhkosti vzduchu v interiéru. Snímací jednotka byla umístěna v geometrickém středu interiéru a zaznamenávala hodnoty v desetiminutových intervalech. Paralelně byl použit další nezávislý měřicí systém sledující kontaktní teplotu pláště – jak na vnitřní, tak na vnější straně – s umístěním sond na jižní fasádě každého kontejneru.

Měření vnějších klimatických podmínek byla zajištěna meteorologickou stanicí umístěnou přibližně 20 metrů od měřicího polygonu. Stanice zaznamenávala teplotu venkovního vzduchu, rychlost a směr větru a intenzitu slunečního záření, rovněž v desetiminutových intervalech.

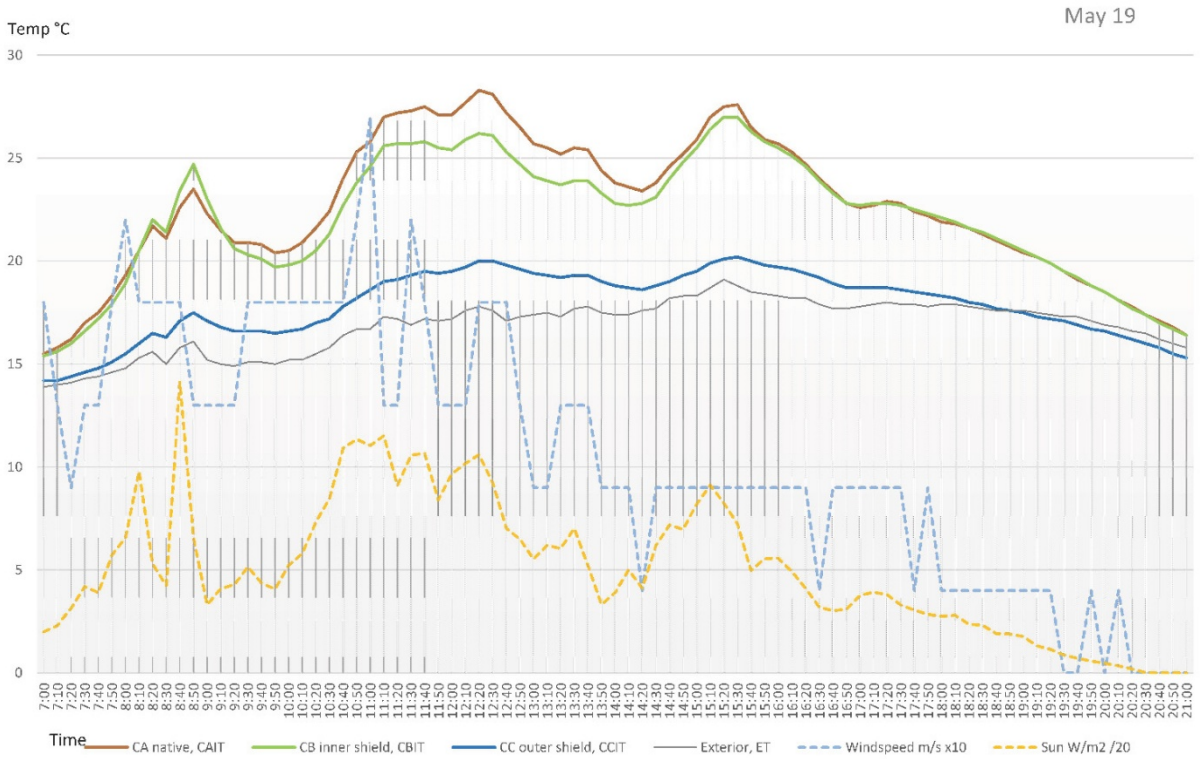
Shromážděná data byla analyzována v rámci čtyřstupňového procesu, který zahrnoval:
Filtrování nerelevantních záznamů (např. technické výpadky, anomálie),
Třídění dat podle klimatických podmínek (sluneční svit, vítr, teplota) viz Obr. 2,
Porovnání mezi kontejnery A, B a C v kontrolovaných obdobích viz Obr. 3,
Krokovou analýzu s cílem identifikovat trendy a rozdíly v teplotním chování jednotlivých jednotek viz Obr. 4 a 5.



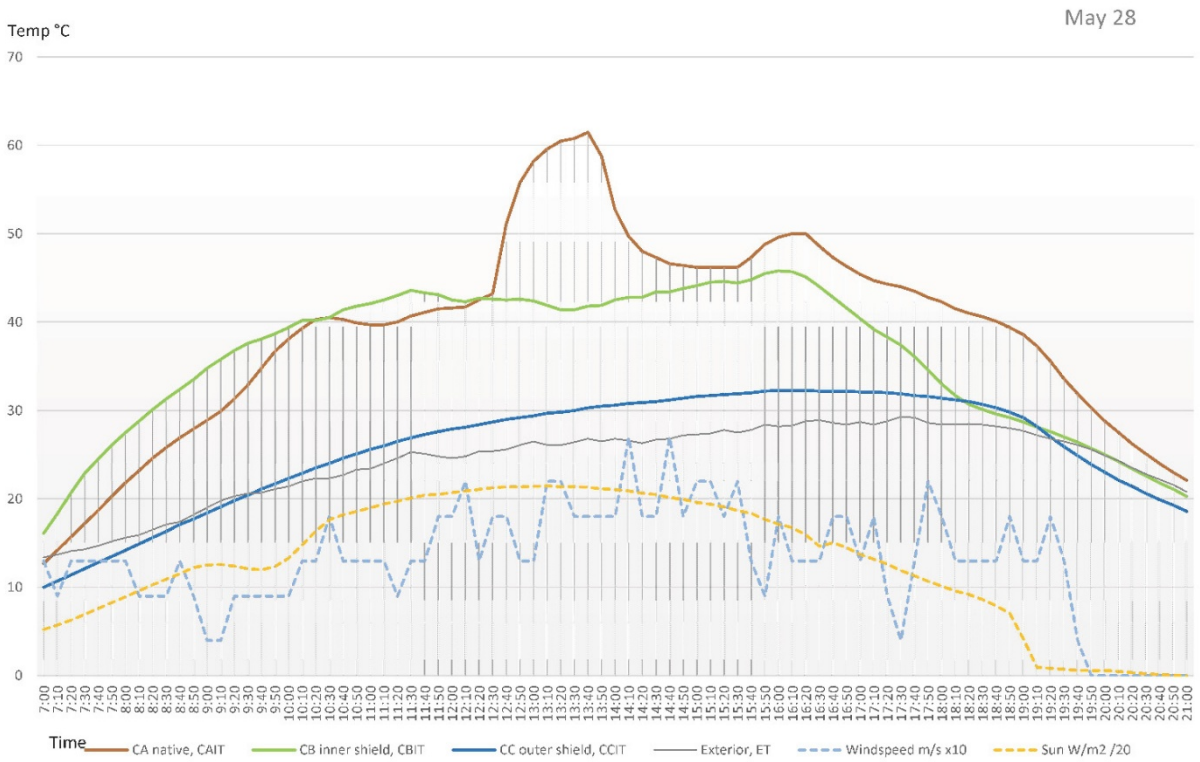
Obr. 2 – Vyhodnocení a filtrování dat, komparační pásový graf
Zdroj: analýza autorov



Obr. 3 – 7 denní liniový graf
Zdroj: analýza autorov



Obr. 4 – Denní liniový graf, mírně oblačný větrný den
Zdroj: analýza autorov



Obr 5 – Denní liniový graf, plně osluněný bezvětrný den
Zdroj: analýza autorov

Postup a etapy výzkumu

Výzkum probíhal ve čtyřech hlavních fázích mezi lety 2016–2018. Každá fáze měla jasně definovaný cíl a návaznost na předchozí výstupy, přičemž celý proces vedl od metodické přípravy přes vývoj technického řešení až k experimentálnímu ověření a vyhodnocení získaných dat.

Fáze A – Návrh metod sledování parametrů (I–IV/2016)

V této úvodní etapě byl zvolen výzkumný rámec na základě předchozích experimentů realizovaných na Fakultě architektury ČVUT. Byla použita metodika měření denního osvětlení a sledování vnitřního prostředí v měřítkových modelech. [6] Tyto poznatky tvořily základ pro návrh metod sběru dat a výběr vhodných typů senzorů v další fázi.

Fáze B – Vývoj metody aplikace materiálu (I–IX/2016)

Ve spolupráci s průmyslovým partnerem AZ tech, s.r.o., a s využitím technologické podpory 3M Česká republika, byl upraven průmyslový coating[7] na bázi skleněných mikrokuliček pro aplikaci na průsvitné stavební materiály. Technické aspekty formulace a aplikace byly dále

[6] PROKOPOVÁ, L. a BOŠOVÁ, D., 2016. Architectural models for measurement of Daylight Factor. *Applied Mechanics and Materials*, 824, s. 692–698. [online]. Dostupné z: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.824.692

[7] 3M Company, 2017. *3M™ Glass Bubbles for Solar Reflective Coatings*. [online]. Saint Paul, MN: 3M Company. Dostupné z: https://multimedia.3m.com/mws/media/1454990O/3m-glass-bubbles-for-solar-reflective-coatings.pdf

konzultovány s výzkumným týmem Fakulty biomedicínského inženýrství ČVUT (FBMI ČVUT), aby bylo dosaženo optimálního rozložení a adheze vrstvy při zachování transparentnosti podkladu.

Fáze C – Experimentální měření
C1 – Pilotní měření a návrh senzorové sítě (IX–XII/2016)
V rámci pilotní fáze byly ověřeny základní parametry sběru dat a provedena stabilizace požadavků na měřená data. Na základě těchto poznatků bylo rozhodnuto o přechodu od laboratorních modelů k plnému měřítku prostřednictvím vytvoření měřicího polygonu tvořeného třemi kontejnerovými jednotkami (označenými CA, CB a CC). [8] Zároveň byla zprovozněna senzorová síť pro automatický sběr dat o teplotě, vlhkosti a radiačních veličinách.

C2 – Standardizované měření v reálném prostředí (I–XII/2017)
Po dokončení příprav byla zahájena hlavní fáze experimentu s kontinuálním sběrem dat po dobu jednoho kalendářního roku. Monitorována byla následující data:
Teplota interiéru (TI): TICA, TICB, TICC
Kontaktní teploty pláště (TSI, TSE): vnitřní a vnější povrchové teploty všech kontejnerů
Vnější klimatické podmínky: teplota vzduchu (TE), rychlost větru (WS), intenzita a časový průběh solární radiace (SR)
Součástí této fáze byla také doplňující měření denního osvětlení v interiéru a exteriéru kontejnerových jednotek, prováděná za různých meteorologických podmínek. [9]

Fáze D – Analýza a interpretace dat (V/2017 – IV/2018)
Shromážděná data byla zpracována ve čtyřkrokové analytické sekvenci. Nejprve došlo k filtrování nerelevantních záznamů (např. z důvodu výpadku napájení či chybných senzorů). Následovalo třídění podle meteorologických podmínek (slunečnost, větrnost), [10] komparační analýza jednotlivých kontejnerů a tvorba grafických výstupů (např. denní a týdenní průběhy, pásové komparační grafy). Tato fáze potvrdila, že reflexní vrstva má měřitelný vliv na teplotní stabilitu vnitřního prostředí.

Použité zkratky

Zkratka	Význam
CA, CB, CC	Kontejner A (referenční), B (vnitřní nátěr), C (vnější nátěr)
FBMI ČVUT	Fakulta biomedicínského inženýrství ČVUT

[8] NOVOTNÝ, F., PROKOPOVÁ, L. a BOŠOVÁ, D., 2017. Innovative coating materials for glass structures. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Building Materials and Construction (ICBMC 2017)*, 25.–27. února 2017, Hanoj, Vietnam. [online]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/328454657_Innovative_Coating_Materials_for_Glass_Structures
[9] PROKOPOVÁ, L., BOŠOVÁ, D. a NOVOTNÝ, F., 2018. The outside thermal insulation from glass micro bubbles with influence on daylight factor. *Key Engineering Materials*, 776, s. 140–146. [online]. Dostupné z: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.776.140
[10] NOVOTNÝ, F., PROKOPOVÁ, L. a BOŠOVÁ, D., 2018. Thin-layer materials as a heat transfer blocking agent. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 9(5), s. 1–5. [online]. Dostupné z: https://www.ijscer.com/uploadfile/2018/0507/20180507051015514.pdf

TI	Teplota interiéru
TSI, TSE	Teplota pláště (interiér/exteriér)
TE	Teplota exteriéru
WS	Wind speed – rychlost větru
SR	Solar radiation – solární radiace

Vyvození výsledků výzkumu

V rámci hlavní experimentální fáze (etapa C) byl získán rozsáhlý soubor dat zahrnující tepelně-technické a environmentální parametry tří experimentálních jednotek s rozdílným způsobem aplikace reflexní vrstvy. Shromážděná data byla podrobena strukturované analýze a rozdělena podle relevantních klimatických podmínek (např. stupeň oslunění, intenzita větru, venkovní teplota).

Tato předzpracovaná datová sada představuje robustní základnu pro zhodnocení účinnosti materiálu v podmínkách reálného provozu. První výsledky ukazují výrazné rozdíly v teplotních průbězích mezi referenční a upravenými jednotkami. V případě jednotek s aplikovanou reflexní vrstvou bylo zaznamenáno: Snížení maximální interiérové teploty ve špičkových solárních dnech až o 17,7 °C (kontejner B) a 29,9 °C (kontejner C) ve srovnání s referenční jednotkou A.

Celkové zlepšení teplotní stability, především u kontejneru B, kde bylo pozorováno výraznější tlumení teplotních výkyvů díky vnitřnímu umístění vrstvy.

Získaná data potvrzují schopnost reflexní vrstvy redukovat solární zisky bez potřeby stínění a naznačují potenciál pro využití při optimalizaci energetické náročnosti lehkých obvodových konstrukcí.

Zároveň byl identifikován potenciál pro další zpracování dat statistickými a numerickými metodami, které mohou přinést hlubší pochopení závislostí mezi fyzikálními parametry vrstvy, typem podkladu a konkrétním klimatickým zatížením. Tyto výstupy mohou sloužit jako podklad pro návrh prediktivních modelů a budoucích aplikačních scénářů materiálu.

Prokázání funkce materiálu

Na základě vyhodnocení dat z měřicí sezóny lze jednoznačně doložit účinnost tenkovrstvé reflexní vrstvy na bázi skleněných mikrokuliček při snižování solárních zisků a omezení teplotních extrémů v interiéru. Aplikace vrstvy vedla k významným rozdílům v teplotním chování mezi referenční a upravenými kontejnerovými jednotkami. V některých případech dosahovaly rozdíly v maximálních teplotách až 50 %, což prokazuje schopnost vrstvy aktivně ovlivňovat vnitřní mikroklima bez zásahu do konstrukce či potřeby mechanického stínění.
Kritickým bodem experimentálního pozorování byl den 28. května 2017, který byl charakterizován jasným a bezvětrným počasím s vysokou intenzitou slunečního záření. Pro tento den byl sestaven detailní časový teplotní profil všech tří kontejnerových jednotek.

V čase špičkového solárního zatížení (13:10 SEČ) byly zaznamenány následující hodnoty:

- Kontejner B (vnitřní aplikace vrstvy) vykazoval vnitřní teplotu o 17,7 °C nižší než referenční kontejner A.

- Kontejner C (vnější aplikace vrstvy) byl o 29,9 °C chladnější než kontejner A.
- Relativně vyjádřeno, byla jednotka B v daném čase přibližně o 29,7 % chladnější a jednotka C o 50,1 % chladnější než referenční jednotka. [11]

Tyto výsledky potvrzují, že materiál má nejen významný tlumicí efekt na solární zisky, ale že efektivita aplikace závisí i na poloze vrstvy – přičemž vnější aplikace se jeví jako výrazně účinnější v omezení přímého přestupu solární energie do interiéru. To je v souladu s předpokladem, že reflexní efekt se nejlépe uplatní při kontaktu se slunečním zářením ještě před jeho absorpcí konstrukčním materiálem.

Získané výsledky představují silný argument pro další vývoj této technologie a její nasazení zejména v případě rekonstruovaných budov s transparentními konstrukcemi, kde může pomoci výrazně zlepšit vnitřní prostředí a snížit potřebu aktivního chlazení.

Prokázání proveditelnosti aplikace

Výsledky experimentu jednoznačně potvrzují technickou proveditelnost aplikace reflexní vrstvy v plném měřítku. Povlak byl úspěšně aplikován „nastojato“ na povrchy různých stavebních materiálů, včetně ocelového plechu, skla a polykarbonátu, bez nutnosti konstrukčních úprav. Klíčovým faktorem úspěšné aplikace bylo použití vhodného pojivového média, které zajistilo dostatečnou přilnavost a homogenitu vrstvy při zachování optických vlastností podkladu.

Na základě experimentálního ověření lze konstatovat, že danou technologii je možné implementovat na širokou škálu obvodových plášťů, a to i v rámci dodatečných úprav stávajících budov. Reflexní vrstva má potenciál sloužit jako rychlá a nenáročná forma upgrade pro obálky budov s nevyhovujícími tepelně-technickými parametry, aniž by bylo nutné měnit konstrukční skladbu nebo zasahovat do funkčních vrstev.

Tato metoda tak otevírá možnost prodloužení morální a funkční životnosti obvodových konstrukcí o desítky let, zejména v kontextu rekonstrukcí, adaptací a reuse budov. Její aplikace je zvláště vhodná tam, kde je žádoucí zachovat původní charakter stavby, průhlednost obálky nebo architektonickou hodnotu pláště.

Nutno však podotknout, že otázka dlouhodobé trvanlivosti vrstvy, zejména odolnosti pojiv vůči UV záření, vlhkosti, smogu a mechanickému opotřebení, nebyla předmětem tohoto výzkumu. Budoucí výzkumné aktivity by se měly zaměřit na laboratorní i in-situ testování stárnutí vrstvy v časových horizontech odpovídajících reálnému provozu. Sledování změn emisivních a adhezních vlastností v čase bude klíčové pro formulaci dlouhodobé aplikační strategie a tvorbu technických norem pro tuto technologii.

Zapojení do recentních tematických okruhů

Výsledky tohoto výzkumu mají přímou relevanci k současným výzvám architektonického a stavebního oboru, které se soustředí na prodloužení morální a technické životnosti staveb při

[11] NOVOTNÝ, F., PROKOPOVÁ, L. a BOŠOVÁ, D., 2017. Aplikace inovativních materiálů na skleněné konstrukce. In: *Juniorstav 2017: 19. odborná konference doktorského studia*, 26. ledna 2017, Brno. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. ISBN 978-80-214-5462-0. [online]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/veda/konference/juniorstav2017/pdf/4_1/pid/novotny_f.pdf

současném snižování jejich energetické náročnosti a environmentálních dopadů. Reflexní materiály aplikované na transparentní obvodové konstrukce mohou představovat účinný nástroj pro omezování tepelných ztrát a solárních zisků, čímž přispívají ke snížení provozních nákladů i emisí spojených s chlazením a vytápěním.

V kontextu životního cyklu budov (LCA) a konceptu upcyclingu nabývá daná technologie zvláštního významu. Umožňuje zachovat funkčně i vizuálně hodnotné stavební prvky a zároveň je doplnit o vrstvu, která prodlužuje jejich funkční udržitelnost bez zásahu do nosné konstrukce. Tento přístup je v souladu s cíli Green Deal, oběhového hospodářství ve stavebnictví i doporučeními Evropské taxonomie pro udržitelné investice.

V rámci dřívějšího výzkumu na Fakultě architektury ČVUT byla tato problematika řešena v souvislosti s využitím pokročilých materiálů ve vztahu k energetickému chování budov. Reflexní vrstvy zde byly identifikovány jako jedna z perspektivních cest pro neinvazivní zlepšení tepelně-technických vlastností fasádních systémů, bez nutnosti kompletní výměny konstrukčních prvků.

Zatímco dosavadní fáze výzkumu byla zaměřena na empirické ověření funkce materiálu, následující etapy mohou směřovat k teoretickému hodnocení širších dopadů. Na základě shromážděných dat lze v budoucnu realizovat:

- Zjednodušené LCA analýzy, které kvantifikují přínos reflexní vrstvy v kontextu energetické bilance budovy,
- Modelové scénáře aplikace, např. při rekonstrukci objektů s vysokým procentem prosklení, nebo halových staveb,
- Simulace vlivu materiálu na stárnutí a degradaci stavebních prvků, včetně predikce udržitelnosti při různých klimatických zatíženích.

Vzhledem k technickému překročení kapacit laboratorního a polního výzkumu na univerzitní úrovni by měla tato fáze pravděpodobně probíhat v teoretické a numerické rovině, přičemž využití dat z tohoto projektu poskytuje solidní výchozí základ.

Závěr

Výzkum prokázal, že aplikace tenkovrstvého reflexního povlaku na bázi skleněných mikrokuliček má měřitelný a významný vliv na tepelně-technické vlastnosti transparentních a lehkých obvodových plášťů. Empirická data získaná během měřicí sezóny jednoznačně potvrzují platnost výchozí hypotézy: materiál přispívá k redukci solárních zisků a teplotních extrémů v interiéru, a to bez nutnosti použití tradičních stínících nebo izolačních prvků.

Na základě zaznamenaných dat byly identifikovány rozdíly v interiérových teplotách mezi referenční a upravenými jednotkami až o 50 %, přičemž nejvyšší účinnost byla dosažena při vnější aplikaci reflexní vrstvy. Tato pozorování potvrzují funkčnost vrstvy jako účinného regulátoru solárního záření a podkládají potenciál materiálu pro využití v energeticky úsporných a adaptivních konstrukcích.

Současně byla experimentálně ověřena technická proveditelnost aplikace vrstvy na vertikální plochy různých typů obalových konstrukcí. Za předpokladu vhodně zvoleného pojivového média lze očekávat, že technologie bude uplatnitelná napříč širokým spektrem stavebních materiálů. Z toho vyplývá i možnost rychlé modernizace a prodloužení morální

životnosti stávajících plášťů budov, a to bez potřeby konstrukčních zásahů nebo výměny pláště jako celku.

Významným otevřeným tématem zůstává dlouhodobá trvanlivost vrstvy, zejména odolnost pojiva vůči degradaci vlivem UV záření, vlhkosti, mechanickému zatížení a klimatickému stárnutí. Tyto parametry nebyly v rámci této studie zkoumány a budou předmětem budoucích výzkumných etap.

Pro další fáze výzkumu bude klíčové ověřit aplikovatelnost povlaku ve velkoplošném měřítku, zejména na transparentních materiálech na bázi skla. Kromě dlouhodobého monitoringu tepelně-technického chování bude nutné sledovat také změny optických vlastností materiálu, zejména světelnou propustnost, a jejich korelaci s energetickými přínosy.

Dalším směrem může být orientační porovnání funkční vrstvy s konvenčními izolačními materiály – například ve formě přepočtu na ekvivalentní tloušťku běžného izolantu (např. EPS). Je však třeba zdůraznit, že takové srovnání je pouze ilustrativní, neboť materiály fungují na odlišných fyzikálních principech – zatímco klasické izolanty působí proti vedení tepla, reflexní vrstvy regulují především sálání. Přesto by takové empirické koeficienty mohly sloužit jako nástroj pro rozhodování v projektové praxi.

Omezením výzkumu je absence dlouhodobého sledování degradace vrstvy a vliv regionálních klimatických odlišností. Interpretace výsledků je tak vázána na středoevropské klimatické podmínky, což je třeba zohlednit při aplikaci výsledků na jiné geografické oblasti.“

Celkově lze uzavřít, že reflexní mikro-materiály představují perspektivní směr vývoje v oblasti adaptivní obalové techniky a jejich další výzkum má potenciál přinést nové poznatky pro udržitelné navrhování a renovaci budov.

Tento článok odporúčal na publikovanie vo vedeckom časopise Mladá veda:
doc. Ing. Lenka Prokopová, Ph.D.

Výzkum vznikl za podpory grantu SGS15/222/OHK1/3T/15 Aplikace inovativních materiálů na celoskleněné konstrukce z hlediska kvality vnitřního prostředí, řešeného v letech 2015–2018 pod vedením Františka Novotného. Autori vyjadřují poděkování Ing. Zuzaně Vyoralové z Fakulty architektury ČVUT za technickou podporu a cenné konzultace. Zvláštní poděkování patří doc. Ing. Daniele Bošové, Ph.D., a doc. Ing. Lence Prokopové, Ph.D., z Fakulty architektury ČVUT za odborné vedení, inspiraci a dlouhodobou spolupráci při výzkumu a zpracování tohoto tématu.

This research was supported by the SGS15/222/OHK1/3T/15 grant titled "Application of Innovative Materials on Fully Glazed Structures in Terms of Indoor Environmental Quality", conducted at the Faculty of Architecture, Czech Technical University in Prague (2015–2018).

Použitá literatúra

1. NOVOTNÝ, František, 2018. *Transparentní fasády: Možnosti omezení solárních zisků přímo v konstrukci transparentní fasády bez použití stínících prvků*. Seminární práce. Praha: Fakulta architektury, České vysoké učení technické v Praze.
2. NOVOTNÝ, František, 2020. *Dekonstruktivní REUSE: Možnosti znovuvyužití stavebních elementů a zapojení konceptu RE-USE v ČR*. Seminární práce. Praha: Fakulta architektury, České vysoké učení technické v Praze.
3. NOVOTNÝ, František, Lenka PROKOPOVÁ a Daniela BOŠOVÁ, 2018. *Aplikace inovativních průsvitných materiálů na konstrukce a jejich vliv na kvalitu vnitřního prostředí: sborník výzkumu*. Praha: Fakulta architektury, České vysoké učení technické v Praze. ISBN 978-80-01-06461-0.
4. BONDAREV, O.L., STRAZDOVSKII, V.V. a CHERNOV, Y.V., 2017. Experimental investigation of the thermophysical characteristics of a coating based on hollow glass microspheres. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 90, s. 1266–1273. [online]. Dostupné z: https://link.springer.com/article/10.1007/s10891-017-1682-y. DOI: 10.1007/s10891-017-1682-y.
5. PROKOPOVÁ, L. a BOŠOVÁ, D., 2016. Architectural models for measurement of Daylight Factor. *Applied Mechanics and Materials*, 824, s. 692–698. [online]. Dostupné z: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.824.692.
6. PROKOPOVÁ, L., BOŠOVÁ, D. a NOVOTNÝ, F., 2018. The outside thermal insulation from glass micro bubbles with influence on daylight factor. *Key Engineering Materials*, 776, s. 140–146. [online]. Dostupné z: https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.776.140.
7. NOVOTNÝ, F., PROKOPOVÁ, L. a BOŠOVÁ, D., 2018. Thin-layer materials as a heat transfer blocking agent. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 9(5), s. 1–5. [online]. Dostupné z: https://www.ijscer.com/uploadfile/2018/0507/20180507051015514.pdf.
8. NOVOTNÝ, F., PROKOPOVÁ, L. a BOŠOVÁ, D., 2017. Innovative coating materials for glass structures. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Building Materials and Construction (ICBMC 2017)*, 25.–27. února 2017, Hanoj, Vietnam. [online]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/328454657_Innovative_Coating_Materials_for_Glass_Structures.
9. NOVOTNÝ, F., PROKOPOVÁ, L. a BOŠOVÁ, D., 2017. Aplikace inovativních materiálů na skleněné konstrukce. In: *Juniorstav 2017: 19. odborná konference doktorského studia*, 26. ledna 2017, Brno. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. ISBN 978-80-214-5462-0. [online]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/veda/konference/juniorstav2017/pdf/4_1/pid/novotny_f.pdf.
10. 3M COMPANY, 2017. *3M™ Glass Bubbles for Solar Reflective Coatings* [online]. Saint Paul, MN: 3M Company. Dostupné z: https://multimedia.3m.com/mws/media/1454990O/3m-glass-bubbles-for-solar-reflective-coatings.pdf.

Mladá veda

Young Science

ISSN 1339-3189