

Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-16-0126****Fasádna technika budov s viacstupňovým využívaním obnoviteľných zdrojov energie pre udržateľnú architektúru**Zodpovedný riešiteľ **prof. Ing. Boris Bielek, PhD.**Prijemca **Slovenská technická univerzita v Bratislave - Stavebná fakulta**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Slovenská technická univerzita v Bratislave - Stavebná fakulta

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

TGM Wien, Rakúsko (Herbert Muellner, Alexander Niemczanowski) - medzinárodná spolupráca v oblasti vibrometrických meraní pomocou akcelerometrov akustických parametrov detailov a prvkov fasádnych stavebných konštrukcií,
RENSON, Waregem, Belgicko (Frank Goudman, Jaroslav Kazimir) - spoločný vývoj regulovateľných vetracích otvorov pre odvod vzduchu z medzipriestoru dvojitej transparentnej fasády,

LUNOS Lüftungstechnik GmbH Berlin, Nemecko (zástupca v SR Ing. Roman Grolmus) - spolupráca ohľadom výber a optimalizácie integrácie vetracej rekuperačnej jednotky do vyvíjanej inovatívnej modulárnej elementovej transparentnej fasády,

ISOSKLO, spol. s r.o. Jindřichův Hradec, ČR (Ing. Vomastek) - spolupráca ohľadom optimalizácie typu fotovoltaického zasklenia pre parapetnú časť vonkajšieho plášťa a vyvíjanej inovatívnej elementovej dvojitej transparentnej fasády, zabezpečenia jeho výroby a dodávky.

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

Vzhľadom na neukončené experimentálne overenie prototypu vyvinutej inovatívnej fasády s viacstupňovým využívaním OZE (chýbajúce letné meranie z dôvodu posunutej dodávky technológie Twin-roomsov pre pavilónový experimentálny výskum pokročilých fasádnych prvkov v podmienkach reálnej klímy v dôsledku pandémie Covid-19 a z nej vyplývajúceho lockdownu a narušenia dodávateľsko-odberateľských vzťahov – niekoľkonásobné predĺženie dodávok komponentov) nebolo možné komplexne spracovať a podať patentovú prihlášku.

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

BIELEK, Boris – SZABÓ, Daniel – PALKO, Milan – RYCHTÁRIKOVÁ, Monika. Optimisation of design of air inlets in air distribution channels of a double-skin transparent facade. In Slovak Journal of Civil Engineering, Vol. 25, no. 4 (2017), s. 1-11. ISSN 1210-3896. V databáze: WOS: 000419979200001 ; DOI: 10.1515/sjce-2017-0017.
URBÁN, Daniel – ROOZEN, N.B. – MUELLNER, Herbert – ZAŤKO, Peter –

NIEMCZANOWSKI, Alexander – RYCHTÁRIKOVÁ, Monika – GLORIEUX, Christ. Vibrometry assessment of the external thermal composite insulation systems influence on the façade airborne sound insulation. In *Applied Sciences*, Volume 8, Issue 5, 2018, 703; <https://doi.org/10.3390/app8050703> *Applied Sciences* 2018. (CC, WOS, IF=1,679).

BIELEK, Boris - SZABÓ, Daniel - LAVRINČÍK, Milan. Transparent elemental façade with an integrated ventilation unit for a high-rise building – development and experimental verification. In : *Slovak Journal of Civil Engineering*. Vol. 26, no. 4 (2018), s. 66-77. ISSN 1210-3896. V databáze: WOS, DOI: 10.2478/sjce-2018-0030.

BIELEK, Boris - KLEM, Josip - MACÁK, Marek. Physical Cavity of a Double Skin Facade as a Source of Pre-heated Air in the Winter Season for the Heat Recovery Unit of a Facade. In *Slovak Journal of Civil Engineering*. Vol. 27, 2019, No.4, s.7-10, ISSN 1210-3896. V databáze: WOS ; DOI: 10.2478/sjce-2019-0025.

BIELEK, Boris - SZABÓ, Daniel. Impact of ventilation unit on the acoustic properties of the window. In *Akustika*. Vol. 31, March (2019), s. 27-35. ISSN 1801-9064 (2017: 0.190 - SJR, Q4 - SJR Best Q). V databáze: WOS: 000460341500004.

ČURPEK, Jakub - ČEKON, Miroslav - HRAŠKA, Jozef. PCM Integrated in BiPV Ventilated Façade Concepts: Experimental Test Cell Platform and Initial Full-Scale Measurements. In *Central Europe towards Sustainable Building (CESB19) [elektronický zdroj] : proceedings. 2–4 July 2019, Prague, Czech Republic. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2019, online, [8] s., art. no. 012072. ISSN 1755-1307. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85068773493 ; DOI: 10.1088/1755-1315/290/1/012072.*

BIELEK, Boris - KRAJČÍK, Michal - BUDAY, Peter - MACÁK, Marek. Two-Stage System for Utilization of Renewable Solar Energy in Modern Building Facade Technology. In *Central Europe towards Sustainable Building (CESB19) [elektronický zdroj] : proceedings. 2–4 July 2019, Prague, Czech Republic. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2019, online, [8] s., art. no. 012070. ISSN 1755-1307. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85068752832 ; DOI: 10.1088/1755-1315/290/1/012070.*

ČURPEK, Jakub - BIELEK, Boris - BUDAY, Peter - MACÁK, Marek - KLEM, Josip - KRAJČÍK, Michal. Optimization of air of a double-skin transparent facade for HVAC strategy. In *Advanced Building Skins [elektronický zdroj] : proceedings of the 14th Conference. 28-29 October 2019, Bern, Switzerland. Lucerne : Advanced Building Skins, 2019, USB klúč, s. 80-89. ISBN 978-3-9524883-0-0.*

CHMÚRNÝ, Ivan. Thermal transmittance around edge of vacuum glazing. In *4th World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium - WMCAUS 2019 [elektronický zdroj] : proceedings. 17–21 June 2019, Prague, Czech Republic. 1. vyd. Bristol : IOP Publishing, 2019, online, [6] s., art. no 022059. ISSN 1757-8981. V databáze: SCOPUS: 2-s2.0-85072954009 ; DOI: 10.1088/1757-899X/603/2/022059.*

KRAJČÍK, Michal - ŠIKULA, Ondřej. The possibilities and limitations of using radiant wall cooling in new and retrofitted existing buildings. In *Applied Thermal Engineering*. No. 164 (2020), [15] s., art. no. 114490. ISSN 1359-4311 (2019: 4.725 - IF, Q1 - JCR Best Q, 1.780 - SJR, Q1 - SJR Best Q). V databáze: CC: 000498754900060; SCOPUS: 2-s2.0-85073550921; DOI: 10.1016/j.applthermaleng. 2019.114490.

KRAJČÍK, Michal - ŠIKULA, Ondřej. Heat storage efficiency and effective thermal output: Indicators of thermal response and output of radiant heating and cooling systems. In *Energy and buildings*. No. 229 (2020), [14] s., art. no. 110524. ISSN 0378-7788 (2019: 4.867 - IF, Q1 - JCR Best Q, 2.061 - SJR, Q1 - SJR Best Q). V databáze: CC: 000582959200026 ; SCOPUS: 2-s2.0-85092260033 ; DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.110524.

BIELEK, Boris – FRANEK, Michal – BIELEK, Milan. Aerodynamika a hydrodynamika budov – Fyzikálne problémy účinku vetra a hnaného dažďa na budovy a konštrukcie. 1. vydanie. Bratislava : Slovenská technická univerzita v Bratislave – Vydavateľstvo SPEKTRUM STU, 2020, 285 s., 20,741 AH, ISBN 978-80-227-5051-6.

BIELEK, Boris - SZABÓ, Daniel - ČURPEK, Jakub - SUCHÁNEK, Peter - PANÁČEK, Pavol. Infrared thermography diagnostics of air permeability through building openings - assessment of its reliability. In *Slovak Journal of Civil Engineering*. Vol. 28, no. 1 (2020), s. 16-23. ISSN 1210-3896. V databáze: WOS: 000526518400004 ; DOI: 10.2478/sjce-2020-0004.

KRAJČÍK, Michal - ARICI, Müslüm - ŠIKULA, Ondřej - ŠIMKO, Martin. Review of water-based wall systems: Heating, cooling, and thermal barriers. In *Energy and buildings*. No. 253 (2021), [31] s., art. no. 111476. ISSN 0378-7788 (2020: 5.879 - IF, Q1 - JCR Best Q,

1.737 - SJR, Q1 - SJR Best Q). V databáze: CC: 000706262800004 ; SCOPUS: 2-s2.0-85116063079 ; DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111476.
KRAJČÍK, Michal - ŠIMKO, Martin - ŠIKULA, Ondřej - SZABÓ, Daniel - PETRÁŠ, Dušan. Thermal performance of a radiant wall heating and cooling system with pipes attached to thermally insulating bricks. In Energy and buildings. No. 246 (2021), [18] s., art. no. 111122. ISSN 0378-7788 (2020: 5.879 - IF, Q1 - JCR Best Q, 1.737 - SJR, Q1 - SJR Best Q). V databáze: CC: 000667458000005 ; SCOPUS: 2-s2.0-85107839284 ; DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111122.
BIELEK, Boris – SZABÓ, Daniel – KLEM, Josip – KANIKOVÁ, Kristína. Application of physical theory of cavity in the construction of double skin facades. In Curved and Layered Structures, No.9 (2022), p.40-53, DOI:<https://doi.org/10.1515/cls-2022-0004>.

Uplatnenie výsledkov projektu

V súčasnom období charakterizovanom snahami po udržateľnej spoločnosti sa obnoviteľné zdroje energie ako dominantná produkčná technológia kapitálu prírody so simultánnym obnovovaním ekosystémov stávajú sa podmieňujúcim faktorom zmien zásadnej koncepcie energetickej kvantifikácie budov. Budova prestáva byť len spotrebičom energie ale stáva sa miestom pre zber obnoviteľných zdrojov a konverziu energie na mieste ako súčasť transformácie organizácie energetického trhu. Stáva sa súčasťou energetických distribučných sietí. Z celej škály obnoviteľných zdrojov energií sa najväčší potenciál pripisuje slnečnému žiareniu. Jeho základným nedostatkom je nízka hustota toku energie a preto je potrebné využívať na jeho konverziu veľké zberné plochy. Obalové konštrukcie budov (strechy a fasády) s veľkými plošnými výmerami sú na zber slnečnej energie predurčené. V súlade s predmetnými vývojovými trendami k udržateľnej architektúre sa zamerlal náš výskum v oblasti fasádnej techniky budov na vývoj a experimentálne overenie konceptu inovatívnej modulárnej elementovej klimaticky adaptívnej transparentnej fasády s integrovanými prvkami, ktoré svojou konštrukčno-fyzikálnou podstatou dokážu reagovať na zmeny vonkajšej klímy, zozbierať a využívať dostupné ekologicky čisté obnoviteľné zdroje energie a optimalizovať energetické toky jej konštrukciou s priaznivým vplyvom na fyzikálno-energetickú kvantifikáciu budov. Fasádne konštrukcie a ich prvky tak získavajú charakter členov obvodov automatizovaného systému riadenia budovy, využívajú prirodzené fyzikálne javy a svojou optimalizovanou funkciou majú schopnosť dynamicky redukovat' potrebný objem techniky v budove.

Výskum, koncepčný rozvoj a konštrukčná tvorba klimaticky adaptívnych fasád s cieľavedomým využívaním obnoviteľných zdrojov energie je plne v súlade so súčasnými vývojovými trendami udržateľnej architektúry a predstavuje vysoko aktuálny príspevok k ekologizácii stavebníctva a redukcii uhlíkovej stopy v národnom hospodárstve. Vyvinutý a overený prototyp inovatívnej modulárnej elementovej transparentnej fasády s viacstupňovým využívaním obnoviteľných zdrojov energie má cez spolupracujúcu organizáciu Ingsteel, spol. s r.o. Bratislava, popredného výrobcu a dodávateľa ľahkých fasádnych konštrukcií v strednej Európe, reálne predpoklady uplatnenia v realizačnej praxi výškových inteligentných budov. Nová overená technológia využívania obnoviteľného zdroja slnečného žiarenia fasádny konštrukciami za využitia prirodzených fyzikálnych medzipriestorov a fyzikálnych javov v nich pre redukcii ziskov zo slnečného žiarenia v letnom období a využitia ziskov zo slnečného žiarenia v zimnom období na redukcii energetických potrieb budovy zvýši konkurencieschopnosť slovenského stavebného priemyslu nielen v oblasti techniky budov, ale aj v celkovej tvorbe umelého životného - architektonického prostredia.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Globálnym cieľom projektu bola teória, tvorba, rozvoj a konštrukčno-fyzikálna optimalizácia systémov transparentných konštrukcií vo fasádnej technike budov pre udržateľnú architektúru. Projekt cez optimalizáciu jednotlivých konštrukčných prvkov a sústav vyústil do vývoja novej inovatívnej modulárnej elementovej dvojitej transparentnej fasády vysokej fyzikálnej kvantifikácie, využívajúcej viacstupňovo dostupnú ekologicky čistú energiu slnečného žiarenia pre minimalizáciu energetických nárokov budovy a zabezpečenie komfortných parametrov jej vnútornej klímy. Viacstupňové využívanie energie slnečného žiarenia je charakterizované :

1. transformáciou krátkovlnného slnečného žiarenia na dlhovlnné tepelné vo fyzikálnom medzipriestore dvojitej transparentnej fasády s pozitívnou redukciou energetických tokov do jadra budovy (redukcia tepelnej záťaže zo slnečného žiarenia v letnom období a eliminácia tepelných strát v období zimnom),
2. využitím teplotne upraveného (zohriateho) vzduchu vo fyzikálnom medzipriestore dvojitej fasády v zimnom období pre fasádnu rekuperačnú jednotku integrovanú vo fasádnom elemente s cieľom zvýšenia jej účinnosti a pozitívnym dopadom na redukciiu potreby energie na vykurovanie budovy,
3. fotoelektrickou transformáciou krátkovlnného slnečného žiarenia na elektrickú energiu na fotovoltickom zasklení parapetnej časti vonkajšieho transparentného plášťa dvojitej fasády s priamym využitím v budove.

Výsledkom riešenia projektu je funkčný prototyp inovatívnej dvojitej transparentnej fasády určenej pre inteligentné výškové budovy s takmer nulovou potrebou energie v súlade s vývojovými trendami udržateľnej architektúry. Teplotný, aerodynamický a energetický režim prototypu fasády je v súčasnom období experimentálne overovaný pavilónovým výskumom v podmienkach reálnej klímy na novo vybudovanom zariadení Twin-rooms. Z 5 naplánovaných etáp so 17 podetapami riešenia projektu bolo v plnom rozsahu 100% splnených 16 podetáp. Posledná 17 podetapa Laboratórne experimentálne overenie fyzikálnych vlastností fasádneho elementu transparentnej fasády bola z objektívnych príčin v dôsledku pandémie Covid-19 a následnej krízy v dodávateľsko-odberateľských vzťahoch, v dôsledku ktorých sa nám nepodarilo včas dobudovať experimentálne zariadenie Twin-rooms na výskum progresívnych fasád a stihli sme zrealizovať len zimné meranie prototypu fasády, naplnená na 60%. Podetapa bude ukončená letným meraním prototypu fasády v roku 2022. Napriek uvedenému časovému sklzu nám doterajšie výsledky experimentálnych meraní potvrdili reálny energetický potenciál fasády a verifikovali výsledky simulácií z jej vývojového cyklu. Vyvinutá inovatívna elementová dvojité transparentná fasáda vykazuje v zimnom období približne 30% energetickú prevádzkovú úsporu v porovnaní s jednoduchou fasádou tej istej fyzikálnej kvantifikácie ako má vnútorný plášť predmetnej dvojitej fasády. Výsledné energetické parametre vyvinutej fasády budú zverejnené až po ukončení jej experimentálneho overenia.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

The global goal of the project was the theory, creation, development and structural-physical optimization of systems of transparent structures in the facade technology of buildings for sustainable architecture. The project, through the optimization of individual structural elements and systems, resulted in the development of a new innovative modular element double skin facade of high physical quantification, using multi-stage available ecologically pure solar energy to minimize the building's energy requirements and ensure comfortable indoor climate parameters. Multistage use of solar energy is characterized by:

1. transformation of shortwave solar radiation into longwave heat in the physical cavity of the double skin facade with a positive reduction of energy flows to the building core (reduction of heat load from solar radiation in summer and elimination of heat losses in winter),
2. using heat-treated (heated) air from the physical cavity of the double skin facade in the winter for the local heat recovery unit integrated in the facade element in order to increase its efficiency and positive impact on reducing the energy demand for heating the building,
3. photoelectric transformation of shortwave solar radiation into electrical energy on the photovoltaic glazing located on the parapet part of the outer transparent construction of the double skin facade with direct use in the building.

The result of the project solution is a functional prototype of an innovative double skin facade designed for intelligent high-rise buildings with almost zero energy demand in accordance with the development trends of sustainable architecture. The temperature, aerodynamic and energy regime of the facade prototype is currently being experimentally verified by pavilion research in real climate conditions on the newly built test cell Twin-rooms. Of the 5 planned stages with 17 sub-stages of the project solution, 16 sub-stages were fully (100%) fulfilled. The last, 17th sub-stage - Laboratory experimental verification of the physical properties of the facade element of the transparent facade was due to objective reasons due to the Covid-19 pandemic and the subsequent crisis in supplier-customer relations, as a result of which we failed to complete the Twin-rooms experimental facility in

time. We finished only winter measurement of the prototype facade, filled to 60%. The sub-stage will end with a summer measurement of the facade prototype in 2022. Despite this time lag, the results of experimental measurements to date have confirmed the real energy potential of the facade and verified the results of simulations from its development cycle. The developed innovative element double skin facade shows approximately 30% energy savings during the winter period, compared to a single facade of the same physical quantification as the inner part of the double skin facade in question. The resulting energy parameters of the developed facade will be published only after the completion of its experimental verification.