

STAVEBNÍ OBZOR

ROČNÍK 21 ČÍSLO 08/2013

Navigace v dokumentu

ŠAGÁT, E. – PĚNČÍK, J. – MATĚJKA, L. Parametrická studie vlivu tloušťky vzduchové mezery provětrávané fasády	197
MATYŠČÁK, O. – OTTOSEN, Lisbeth M. – RÖRIG-DALGAARD, I. Změny pH v cihlách a příložených prvcích využitím elektrického pole	202
SOBOTKA, J. – ŠUHAJDA, K. – NOVOTNÝ, M. Účinnost likvidace biotických škůdců plísní mikrovlnným zářením	205
KŘEMEN, T. – KOSKA, B. – POSPÍŠIL, J. Určení objemu zemních prací pozemním laserovým skenováním a dalšími geodetickými metodami	209

Parametrická studie vlivu tloušťky vzduchové mezery provětrávané fasády

Ing. Erik ŠAGÁT

Ing. Jan PĚNČÍK, Ph.D.

doc. Ing. Libor MATĚJKA, CSc., Ph.D., MBA

VUT v Brně – Fakulta stavební

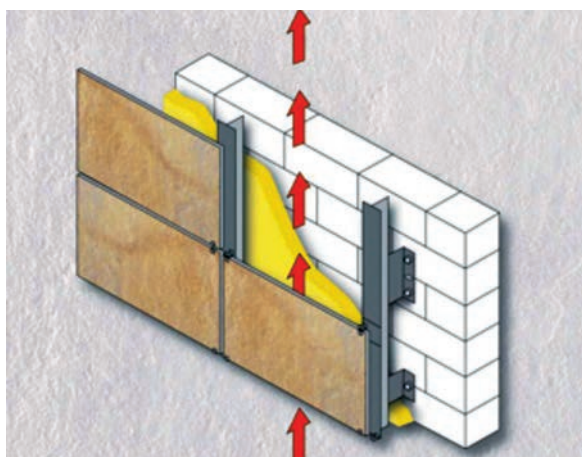
Článek je zaměřen na určení rychlosti proudění a teploty vzduchu v provětrávané fasádě při okrajových podmínkách odpovídajících zimnímu období. V rámci parametrické analýzy je porovnána tloušťka tří mezer. Proudění je vyvoláno teplotním rozdílem povrchu kolem mezery.

Parametric study of the cavity thickness influence on the temperature and airflow in a ventilated facade

The article is focused on the investigation of the airflow rate and air temperature in a ventilated facade in winter conditions. Three different gaps thicknesses are compared. The airflow is initialized by the temperature difference of the surfaces around the cavity. The result is the comparison of airflow rates and temperature fields.

Úvod

Z fyzikálního hlediska je provětrávaná fasáda se zateplením difúzně otevřenou konstrukcí, v níž se mezi povrchem tepelné izolace a vnějším vzduchem proudícím v dutině nenacházejí další vrstvy omezující difúzi vodní páry z konstrukce do exteriéru (obr. 1). Další vrstvou může být protivětrná fólie malé ekvivalentní difúzní tloušťky ($< 0,1$ m). Proudění vzduchu v dutině provětrávané fasády, odvádějící přebytečnou vlhkost z konstrukce, zabezpečuje lepší tepelnou izolační funkci konstrukce v zimním období. V létě pak omezuje přehřívání objektu přirozeným odváděním ohřátého vzduchu z dutiny na osluněné straně fasády [1], [2].



Obr. 1. Provětrávaná fasáda

(zdroj: <http://arch3150.files.wordpress.com/2012/09/facciate-ventilate-001.jpg>)

Výzkum provětrávaných fasád se v současnosti zaměřuje na porovnání různých druhů konstrukcí [3], energetický přírůstek jednotlivých řešení [4], [5] a různý přístup k jejich modelování a posuzování [6]-[9]. Zajímavou oblastí je využití energeticky aktivních prvků, které nahrazují klasické obkladové prvky [10], [11], případně použití materiálů PCM [12], [13]. Obdobnou problematikou je konvekce ve svislých dutinách uvnitř konstrukcí [14].

Při vývoji nových fasádních celků se často klade důraz na použití inovativních materiálů, konstrukční stránku tohoto celku nebo ztvárnění fasády. Základní funkce, kterou je provětrání konstrukce, je tím často potlačena, což vytváří prostor pro její další optimalizaci. Cílem této studie bylo proto porovnání rychlosti proudění a teploty v dutinách rozdílné tloušťky v zimním období. Pro tento účel byl zhotoven model v programu ANSYS/CFX [15], [16], který umožnil vypočítat posuzované veličiny v dutině v konkrétních okrajových podmínkách. Výsledkem je informace o chování vzduchu v provětrávaných fasádách v zimním období, konkrétně výsledek porovnání dvourozměrného pole proudění vzduchu a teplotního pole v ustáleném stavu při rozdílné tloušťce vzduchové mezery [17].

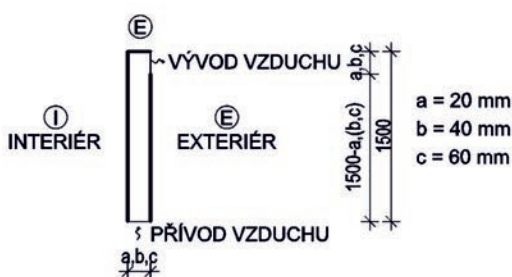
Výpočtový model

Modelové situace byly připraveny v prostředí ANSYS/Workbench [18] a vypočteny programem ANSYS/CFX [19]. Dvourozměrný model zahrnuje pouze fluidní oblast a okrajové podmínky na jejích hranicích. Při všech parametrických výpočtech byly zadány stejné okrajové podmínky simulující zimní období bez vlivu insolace. K výpočtu proudění byl použit laminární model. Celkem se posuzovaly tři varianty s rozdílem v tloušťce dutiny fasády. Nejmenší simulovaná tloušťka mezery 20 mm vychází z ETAG-u 034 [20], který ji stanovuje jako nejmenší přípustnou větranou mezeru. V našich podmínkách je běžné navrhovat provětrávanou mezeru v tloušťce alespoň 40 mm, což byl druhý posuzovaný případ. Tato tloušťka, vzhledem k absenci národní normy pro provětrávané fasády, vychází z normy [21], v níž je stanovena jako minimální pro provětrávanou dvouplášťovou střechu se sklonem větším než 45° . Pro názornost byl zvolen třetí případ s tloušťkou mezery 60 mm. Zjednodušený výpočet teploty ve větrané vzduchové vrstvě a kondenzace vodní páry ve větrané vzduchové vrstvě uvádí norma [22].

Geometrie modelu

Modelovaná část provětrávané fasády je omezena na vzduchovou dutinu, pro kterou jsou na ohraničujících plochách zadány okrajové podmínky. Výška dutiny je ve všech

posuzovaných případech 1,5 m. Představuje část provětrávané fasády typickou pro prostor mezi nadpražím a parapetem dvou následujících úrovní pásových oken. Stěna dutiny ze strany exteriéru je celistvá bez otevřených mezer (velkoplošný obklad na celou výšku dutiny). Přívod vzduchu do dutiny je modelován vertikálně v celém profilu konkrétní šířky dutiny. Vývod vzduchu je pod parapetem v boční stěně dutiny na straně exteriéru, rovněž v průřezu rovnajícím se průřezu samotné dutiny. Exteriér je definovaný pro parapet v horní části dutiny a pro pravou svislou část s výjimkou otvoru pro vyvedení vzduchu. Levá svislá část je definována směrem k interiéru. Geometrie modelu je pro lepší představu znázorněna na obr. 2.

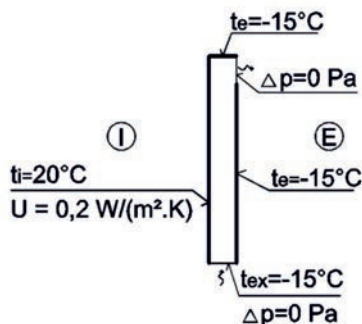


Obr. 2. Geometrie

Jednotlivé varianty tloušťky provětrávané mezery jsou v dalším textu označeny písmeny $a = 20$ mm, $b = 40$ mm a případ $c = 60$ mm. Vzhledem k tomu, že model je dvourozměrný, byly zanedbány vřazené odpory vlivem kotevních prvků předsazeného pláště fasády stejně jako vliv větracích mřížek na vstupním a výstupním otvoru. Výpočetní síť byla vzhledem k velikosti modelu sestavena ze čtverců stejné velikosti, bez potřeby zjemnění sítě u přilehlých povrchů. Délka strany prvku byla u všech variant 1 mm.

Okrajové podmínky

Okrajové podmínky parametrických modelů jsou uvažovány tak, aby modelovaly zimní období (obr. 3). Definována je teplota v interiéru, venkovního vzduchu, na povrchu konstrukcí odedělujících mezeru od vnějšího prostředí a součinitel prostupu tepla konstrukce mezi interiérem a provětrávanou mezerou.



Obr. 3. Okrajové podmínky – zimní období

Na hranici mezery ze strany exteriéru (svislá stěna kromě výstupního otvoru a parapet) byla zadána teplota $t_e = -15$ °C, jež simuluje návrhovou venkovní teplotu vzduchu v zimním období pro určité oblasti. Vliv samotného obkladu, tepelných mostů a radiace okolních povrchů byl zanedbán. Hranice dutiny přilehlá k interiéru je definována součinitelem prostupu tepla $U = 0,2$ W m⁻² K⁻¹ a teplotou v interiéru objektu $t_i = 20$ °C. Vstupním otvorem se do dutiny nasává

vzduch z exteriéru o teplotě $t_{ex} = -15$ °C, při nulovém tlakovém rozdílu pouze přirozenou konvekcí na základě rozdílu teplot vzduchu v dutině. Na výstupním otvoru je rovněž nulový tlakový rozdíl $\Delta_p = 0$ Pa.

Stanovení režimu proudění

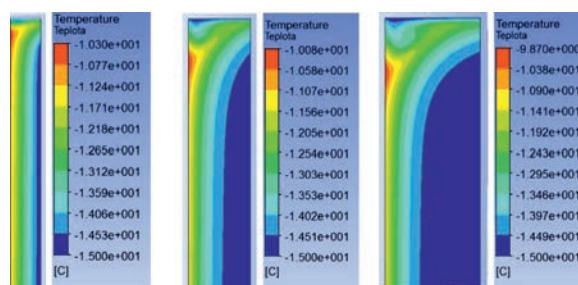
Typ proudění u přirozené konvekce závisí na hodnotě Rayleighova čísla, které je definováno vztahem

$$Ra = \frac{g \cdot \beta \cdot \Delta T \cdot D^3 \cdot \rho^2 \cdot c_p}{\eta \lambda}, \quad (1)$$

kde g je tíhové zrychlení, β koeficient teplotní roztažnosti tekutiny, ΔT teplotní gradient, D charakteristický rozměr oblasti, ρ průměrná hustota proudící tekutiny, c_p měrná tepelná kapacita tekutiny, η dynamická viskozita, λ tepelná vodivost tekutiny [16]. Po dosazení za $g = 9,81$ m s⁻², $\beta = 0,003899$ K⁻¹, $\Delta T = 5$ K, $D = 1,5$ m, $\rho = 1,3524$ kg m⁻³, $c_p = 1006,6$ J kg⁻¹ K⁻¹, $\eta = 16,472 \times 10^{-6}$ Pa s, $\lambda = 0,02301$ W m⁻¹ K⁻¹ do (1) je hodnota $Ra = 3\,135\,236\,612$. V práci [16] jsou uvedeny hranice mezi laminárním a turbulentním prouděním. Proudění je laminární, pokud $Ra < 10^8$. Přechod od laminárního k turbulentnímu proudění nastává při $10^8 < Ra < 10^{10}$. Při hodnotách $Ra > 10^{10}$ je proudění turbulentní. Z toho vyplývá, že v tomto případě představuje hodnota Rayleighova čísla přechod mezi laminárním a turbulentním prouděním. Vzhledem k výsledkům příčných profilů proudění vzduchu u laminárního modelu a turbulentního modelu $k-\epsilon$ byl vyhodnocen jako vhodnější laminární model. Výsledky tohoto modelu jsou bližší porovnávaným experimentálními výsledky použitým k ověření věrohodnosti výsledků této simulace.

Výsledky

V dolní části mezery proudí vzduch celým profilem přírodním otvoru. S postupem tepla z interiéru do provětrávané mezery se s rostoucí výškou zvyšuje teplota i rychlost proudícího vzduchu do mezery přilehlé k interiéru. Výsledky simulací jsou zaměřeny jen na horní část mezery, v níž je dosahováno jak nejvyšší rychlosti proudícího vzduchu, tak nejvyšší teploty. Teplotní pole v této části dutiny pro jednotlivé případy je znázorněno na obr. 4.

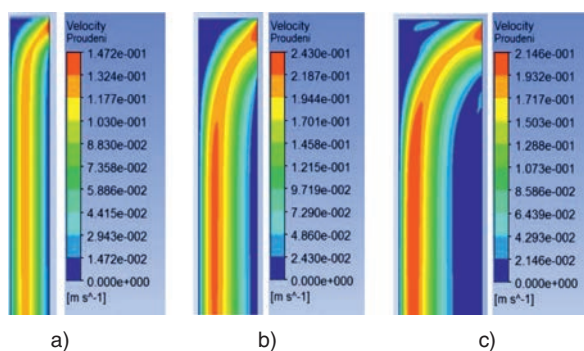


Obr. 4. Dvourozměrné teplotní pole [°C] v horní části mezery

Z výsledků simulace teplotního pole v zimním období je zřejmé, že rozložení teploty u varianty a , a tedy i její průměrná hodnota, je značně vyšší než u variant b , c . Oblast se zvýšenou teplotou vzduchu je v tomto případě situována poblíž stěny oddělující vzduchovou mezeru od interiéru. Toto zvýšení teploty vzduchu v mezeře je způsobeno prostupem tepla z interiéru směrem do exteriéru, který v tomto případě představuje provětrávaná mezeru v konstrukci fasády.

V případech *b*, *c* je teplota vzduchu v části dutiny blíže k hranici s interiérem nižší.

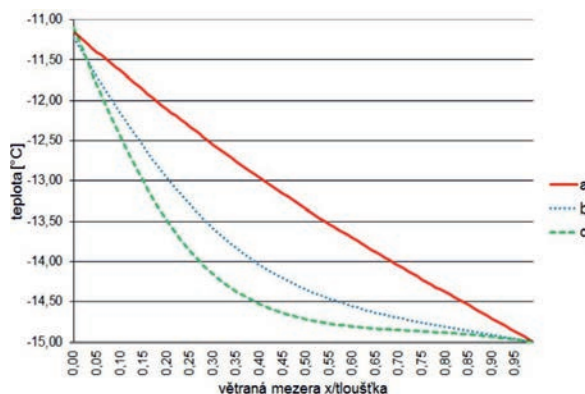
V případě *a* dochází ke zjevnému zvýšení teploty napříč téměř celou tloušťkou dutiny, na rozdíl od případů *b*, *c*, u kterých je zvýšená teplota v dutině soustředěna u hranice s interiérem. Z horní strany mezery je vzduch ve všech případech ochlazován od parapetu, na jehož hranici je teplota $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. V tomto detailu však není zahrnut vliv tepelného mostu výplně otvoru. Toto ochlazení vzduchu v dutině je zjevné ve všech případech, přičemž nejzřetelnější je u varianty *c*. Vyvedení vzduchu z mezery bočním otvorem pod parapetem částečně zvyšuje teplotu po celé šířce dutiny pod parapetem. Tento jev je nejvýraznější u varianty *a*, ve variantě *b* je nárůst teploty menší a u varianty *c* je přibližně stejný jako u varianty *b*. Pod úrovní parapetu dochází ve všech případech k lokálnímu nárůstu teploty na hranici s interiérem. Zvýšení teploty je posunuto směrem dolů od horní hrany dutiny vlivem ochlazujícího účinku od parapetu. Rozdíl mezi teplotou vzduchu v místě lokálního zvýšení teploty je mezi hraničními variantami *a*, *c* roven $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, přičemž nižší teplota je u varianty *a*.



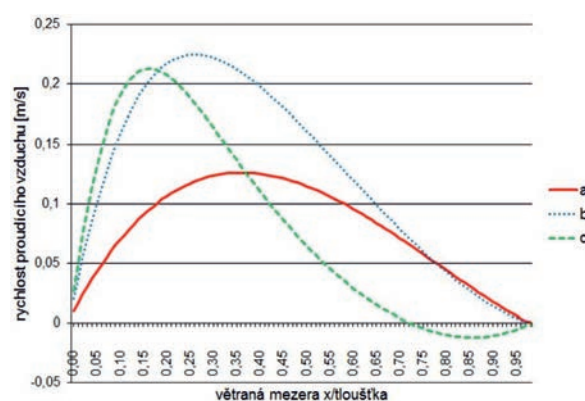
Obr. 5. Dvourozměrné pole rychlosti proudění vzduchu v horní části mezery

Dvourozměrné pole rychlosti proudícího vzduchu v horní části mezery u odváděcího otvoru znázorňuje obr. 5. Vzduch proudí do vzduchové mezery v dolní části u přírodního otvoru v celém profilu. S rostoucí výškou proudí rychleji blíže k hranici s interiérem, která má vyšší teplotu vlivem prostupu tepla z interiéru. Nejvyšší rychlost je v mezeře tloušťky 40 mm , a to lokálně $0,24\text{ m s}^{-1}$. Maximální rychlost proudícího vzduchu v případě *c* je jen o něco menší, konkrétně $0,21\text{ m s}^{-1}$. Na rozdíl od těchto hodnot je v případě *a* maximální rychlost proudícího vzduchu podstatně nižší, na úrovni $0,15\text{ m s}^{-1}$. Lze tedy konstatovat, že rychlost proudění vzduchu v mezeře významně ovlivňuje právě tloušťka mezery spolu s rozměry nasávacího a vývodního otvoru, které jsou v posuzovaných případech stejného průřezu jako mezera. Menší vliv na maximální rychlost proudění vzduchu u posuzovaných variant má maximální teplota vzduchu v dutině, která je ve všech případech v podstatě stejná. V případě *a* proudí vzduch téměř v celé šířce dutiny, kromě míst v těsné blízkosti hranic oblasti. U variant *b*, *c* je rychlejší proudění soustředěno blíže k hranici s interiérem.

Pro možnost přesnějšího vyhodnocení byla porovnána teplota a rychlost proudění napříč provětrávanou dutinou ve výšce 100 mm pod parapetem, tj. $1\text{ }400\text{ mm}$ od přírodního otvoru. Pro snadnější grafické vyjádření je na obr. 6 a obr. 7 šířka větraných mezer jednotlivých variant vyjádřena na ose x hodnotami $0-1$, které představují poměr vzdálenosti ve směru osy x celkové šířce mezery.



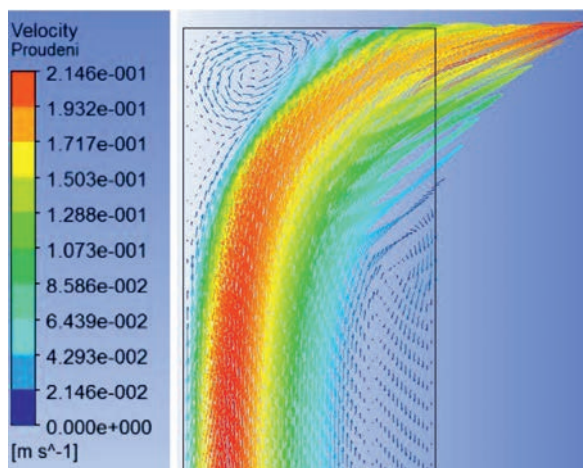
Obr. 6. Průběh teploty ve vzduchové mezeře



Obr. 7. Průběh rychlosti a směru proudění ve vzduchové mezeře

Nejvyšší teplota ve vzduchové mezeře je pro všechny varianty simulace v zimním období soustředěna na hranici s interiérem, která je navíc v posuzované rovině ve všech variantách simulace téměř stejná, a to přibližně $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$. To znamená, že v provětrávané mezeře fasády se vzduch ohřevá z teploty $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ zhruba o $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Z této hodnoty teplota ve variantě *a* klesá téměř lineárně směrem k hranici s exteriérem. U variant *b*, *c* je pokles od hranice s interiérem mnohem výraznější s následným zmírněním poklesu teploty směrem ke hranici s exteriérem.

Z průběhu grafů znázorňujících rychlost proudění vzduchu je zřejmé soustředění proudícího vzduchu v části dutiny poblíž hranice s interiérem, odkud do mezery vstupuje teplo. Tento jev se zvýrazňuje s rostoucí tloušťkou mezery. Z průběhu grafu pro variantu *a* vyplývá vychýlení proudu vzduchu nejvyšší rychlosti směrem k interiéru jen minimálně. Pro případy *a*, *b* klesá rychlost proudícího vzduchu směrem k hranici s exteriérem přibližně rovnoměrně se snižující se vzdáleností od této hranice. U varianty *a* je tento pokles blíže lineárnímu průběhu než u varianty *b*. V případě *c* rychlost proudění klesá k nule ve vzdálenosti zhruba 16 mm od hranice s exteriérem, a následně opět stoupá k hodnotě $0,01\text{ m s}^{-1}$ (v obr. 7 znázorněno přechodem k záporným hodnotám pro zvýraznění změny směru proudu vzduchu). Tento úkaz je způsoben změnou směru proudění vzduchu při hranici s exteriérem. V celé vzduchové mezeře totiž proudí vzduch směrem nahoru, kromě místa pod odváděcím otvorem, kde se vlivem širší mezery část vzduchu ochlazuje a stáčí směrem dolů podél ochlazovaného opláštění fasády (obr. 8).



Obr. 8. Varianta c – vektorové pole rychlosti proudění vzduchu [m/s] v horní části mezery

Ověření a posouzení výsledků simulace

Vzhledem k tomu, že sledování proudění vzduchu v provětrávané fasádě je dlouhodobý proces, nebylo možné ověřit výsledky na reálném modelu. Lze však vycházet z měření publikovaných v člancích zabývajících se stejnou nebo podobnou problematikou. Výsledné hodnoty, získané na základě zadaných okrajových podmínek a teploty na hranicích simulované mezery, jsou jasně definovány, což je ověřitelné ve výsledných grafech a polích.

Další vývoj teploty a proudění vzduchu uvnitř dutiny lze odvodnit přirozenou konvekcí, při níž teplejší vzduch menší hustoty proudí nahoru. Teplota vzduchu v mezeře se v zimním období bez vlivu insolace jednoznačně zvyšuje nejvíce poblíž hranice s interiérem, z čehož plyne, že i nejvyšší rychlost proudícího vzduchu je situována v rámci mezery blíže k této hranici.

Prouděním vzduchu v provětrávaných fasádách, nebo dvojitých fasádách, se zabývají například autoři [23] a [24], kteří použili pro experimentální ověření proudění vzduchu metodu PIV (Particle Image Velocimetry). Spolupracovali na energetickém posouzení chování provětrávaných fasád s autory [25]. Výsledky těchto prací byly použity jako podklad pro porovnání s výsledky této studie, provedené simulace a jejich výsledné hodnoty je možné označit za relevantní.

Závěr

Prezentované výsledky poskytují náhled na teplotní chování a proudění vzduchu v profilu vzduchové mezery provětrávané fasády v zimním období. Dvourozměrný model CFD poskytuje základní představu o vyšetřovaných veličinách a lze konstatovat, že jako nejvhodnější se jeví varianta s provětrávanou mezerou tloušťky 40 mm. Simulací zde byla zjištěna nejvyšší rychlost proudícího vzduchu, který zabezpečuje odvádění vlhkosti z vrstvy tepelné izolace nebo konstrukce přilehlé k dutině. U varianty s minimální možnou návrhovou tloušťkou mezery dle ETAG-u (20 mm) byla maximální rychlost proudění vzduchu v mezeře menší téměř až o 40 %. K proudění tedy docházelo v omezené míře. Vzhledem k pomalejšímu proudění a menší tloušťce mezery byla i průměrná teplota v dutině u této varianty nejvyšší. Varianta c s největší tloušťkou mezery se projevila mírně menší maximální rychlostí proudění vzduchu, což bylo zřejmě způsobeno i otáčením proudění v okrajových oblastech

s pomalejším prouděním u odváděcího otvoru. Na základě těchto výsledků lze označit pro stanovené okrajové podmínky jako nejvhodnější variantu b s tloušťkou mezery 40 mm.

Článek vznikl za podpory projektu FAST-S-13-2085 specifického výzkumu VUT v Brně.

Literatura

- [1] Sánchez, M. N. – Sanjuan, C. – Suárez, M. J. – Heras, M. R.: Experimental assessment of the performance of open joint ventilated façades with buoyancy-driven airflow. *Solar Energy*, Vol. 91, 2013, pp. 131-144. ISSN 0038-092X
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X13000352
- [2] Giancola, E. – Sanjuan, C. – Blanco, E. – Heras, M. R.: Experimental assessment and modelling of the performance of an open joint ventilated façade during actual operating conditions in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, Vol. 54, 2012, pp. 363-375. ISSN 0378-7788
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812003805
- [3] de Gracia, A. – Castell, A. – Navarro, L. – Oró, E. – Cabeza, L. F.: Numerical modelling of ventilated façades. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 22, 2013, pp. 539-549. ISSN 1364-0321
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032113001317
- [4] Frances, V. M. S. – Escrivá, E. J. S. – Ojer, J. M. P. – Bannier, E. – Soler, V. C. – Moreno, G. S.: Modeling of ventilated façades for energy building simulation software. *Energy and Buildings*, Vol. 65, 2013, pp. 419-428. ISSN 0378-7788
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813003538
- [5] Ciampi, M. – Leccese, F. – Tuoni, G.: Ventilated façades energy performance in summer cooling of buildings. *Solar Energy*, Vol. 75, Iss. 6, 2003, pp. 491-502. ISSN 0038-092X
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X03003396
- [6] Freire, R. Z. – Abadie, M. O. – Mendes, N.: On the improvement of natural ventilation models. *Energy and Buildings*, Vol. 62, 2013, pp. 222-229. ISSN 0378-7788
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778813001497
- [7] López, F. P. – Jensen, R. L. – Heiselberg, P. – de Adana Santiago, M. R.: Experimental analysis and model validation of an opaque ventilated façade. *Building and Environment*, Vol. 56, 2012, pp. 265-275. ISSN 0360-1323
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132312001096
- [8] Balocco, C.: A simple model to study ventilated façades energy performance. *Energy and Buildings*, Vol. 34, Iss. 5, 2002, pp. 469-475. ISSN 0378-7788
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877880100130X
- [9] Stazi, F. – Tomassoni, F. – Vegliñ, A. – di Perna, C.: Experimental evaluation of ventilated walls with an external clay cladding. *Renewable Energy*, Vol. 36, Iss. 12, 2011, pp. 3373-3385. ISSN 0960-1481
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148111002424
- [10] Cipriano, J. – Houzeaux, G. – Chemisana, D. – Lodi, Ch. – Martí-Herrero, J.: Numerical analysis of the most appropriate heat transfer correlations for free ventilated double skin photovoltaic façades. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 57, Iss. 1-2, 2013, pp. 57-68. ISSN 1359-4311
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431113002524
- [11] Han, J. – Lu, L. – Peng, J. – Yang, H.: Performance of ventilated double-sided PV façade compared with conventional clear glass façade. *Energy and Buildings*, Vol. 56, 2013, pp. 204-209. ISSN 0378-7788
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778812004215
- [12] de Gracia, A. – Navarro, L. – Castell, A. – Ruiz-Pardo, Á. – Álvarez, S. – Cabeza, L. F.: Solar absorption in a ventilated facade with PCM. *Experimental Results. Energy Procedia*, Vol. 30, 2012, pp. 986-994. ISSN 1876-6102
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021201627X
- [13] de Gracia, A. – Navarro, L. – Castell, A. – Ruiz-Pardo, Á. – Álvarez, S. – Cabeza, L. F.: Experimental study of a ventilated facade with PCM during winter period. *Energy and Buildings*, Vol. 58, March 2013, pp. 324-332. ISSN 0378-7788
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877881200535X

- [14] Svoboda, Z.: Svisle orientované šíření tepla ve vzduchových dutinách. *Stavební obzor*, **20**, 2011, č. 4, s. 106-109. ISSN 1210-4027
- [15] Boetcher, S. K. S. – Sparrow, E. M.: Buoyancy-induced flow in an open-ended cavity: Assessment of a similarity solution and of numerical simulation models. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 52, Iss. 15-16, 2009, pp. 3850-3856. ISSN 0017-9310
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931009000581
- [16] Bangalee, M. Z. I. – Miao, J. J. – Lin, S. Y.: Computational techniques and a numerical study of a buoyancy-driven ventilation system. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 65, 2013, pp. 572-583, ISSN 0017-9310
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931013005085
- [17] Blejchař, T.: Modelování proudění CFX – Návody do cvičení. VŠB TU-Ostrava, 2009, 133 s. ISBN 978-80-248-2050-7
- [18] ANSYS Workbench User's Guide 12.1
- [19] ANSYS CFX – Pre User's Guide 12.0
- [20] ETAG 034-1 Ventilated glazing kits comprising glazing components and associated fixings. European Organisation for Technical Approvals 2012, 98 s.
- [21] ČSN 73 1901 Navrhování střech – Základní ustanovení. ÚNM, 2011
- [22] ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov- Část 4: Výpočtové metody. ČNI, 2005
- [23] Marinosci, C. – Strachan, P. A. – Semprini, G. – Morini, G. L.: Empirical validation and modelling of a naturally ventilated rainscreen façade building. *Energy and Buildings*, Vol. 43, Iss. 4, 2011, pp. 853-863. ISSN 0378-7788, 10.1016/j.enbuild.2010.12.005.
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810004251
- [24] Sanjuan, C. – Sánchez, M. N. – del Rosario Heras, M. – Blanco, E.: Experimental analysis of natural convection in open joint ventilated façades with 2D PIV. *Building and Environment*, Vol. 46, Iss. 11, 2011, pp. 2314-2325. ISSN 0360-1323, 10.1016/j.buildenv.2011.05.014
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132311001624
- [25] Suárez, M. J. – Sanjuan, C. – Gutiérrez, A. J. – Pistono, J. – Blanco, E.: Energy evaluation of an horizontal open joint ventilated façade. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 37, 2012, pp. 302-313.
www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431111006624

Změny pH v cihlách a přílozých prvcích využitím elektrického pole

Ing. Ondřej MATYŠČÁK

VUT v Brně – Fakulta stavební

doc. Lisbeth M. OTTOSEN

Inge RÖRIG-DALGAARD, Ph.D.

DTU Lyngby – Faculty of Civil Engineering

Experimenty byly zaměřeny na změny pH v přílozých prvcích a uvnitř cihel po ukončení experimentů [1]. Kombinace přílozých prvků, ve které byla cihlářská hlína použita na obou stranách cihly, zaznamenala nejmenší nárůst u přílozých prvků na straně katody proti počáteční hodnotě pH cihlářské hlíny (8,1) k hodnotám (8,5-8,2) a také velmi malý nárůst pH (0,7-0,8 %) uvnitř cihly v porovnání s referenční hodnotou pH cihly (10,5). Všechny kombinace přílozých prvků prokázaly vhodnost použití, protože pH v laboratorním systému nekleslo pod hodnotu 7, což by znamenalo nežádoucí acidifikaci.

Changes in pH in bricks and clay poultrices due to an electric field

The dewatering of bricks was due to the influence of an electric field. The electric field was applied to electrodes which were placed in clay poultrices. Laboratory experiments were aimed at changes in pH in clay poultrices and in bricks at the end of experiments. Two types of poultrices were used and tested with their combinations. The combination of clay poultrices where only brick clay was used showed the lowest increase in pH in the cathode clay poultrice (8.5-8.2) in relation to the initial pH of brick clay (8.1) and also a very low increase in pH (0.7-0.8 %) in the brick in comparison with the initial pH of the brick. Each combination of clay poultrices was suitable for the experiments because pH did not decrease below 7, which would mean acidification.

Úvod

Prezentovaný text navazuje na článek [1], který se zabýval odvlhčováním cihel pomocí elektrického pole. Vyšetřují se změny pH v cihlách a přílozých prvcích, které mohou výrazně ovlivňovat jak elektroosmózu, tak s tím související účinnost odsolování. Při elektrochemickém odstraňování chloridů [2]-[4] byla výztuž železobetonu použita jako katoda, anoda byla umístěna na vnější povrch železobetonového prvku. Účinkem elektrického pole se pak anionty chloridů transportovaly ke kladné elektrodě. Bylo zjištěno, že nárůst iontů OH^- na straně katody může negativně ovlivnit efektivnost odsolení, protože se stávají hlavními nosiči elektrického náboje proti požadovaným iontům Cl^- . Dále bylo prokázáno výrazné snížení přenesených iontů Cl^- , z čehož je zřejmé, že nárůst iontů OH^- bude stejným způsobem výrazně ovlivňovat účinnost elektroosmózy. Tento článek se zaměřuje na změny pH v uzavřeném laboratorním nastavení po ukončení experimentů různé délky. Následně jsou porovnány změny pH v přílozých prvcích, cihlách s referenčními hodnotami pH na začátku experimentů. U kombinace přílozých prvků je dále testována vhodnost použití ve vztahu k acidifikaci. Cílem bylo zjištění, která kombinace přílozých obkladů vykazuje nejmenší nárůst iontů OH^- na straně katody.

Experimentální část

Ve všech experimentech byly použity žluté cihly dánské formátu [1]. Jako přílozý prvek byla v laboratoři použita jednaknamíchaná směs, a jednak cihlářská hlína z továrny Wienerberger. Směs byla namíchána z CaCO_3 , kaolinitu a destilované vody, pouze v experimentech č. 2 a č. 8 byla použita pitná voda.

K měření pH byla použita extrakce vzorků v destilované vodě. Před chemickou analýzou byly cihly a přílozý prvek

rozděleny na několik částí [1]. Ty byly vysušeny, a pak byla vytvořena suspenze z 10 g vysušeného vzorku a 25 ml destilované vody, která byla protřepávána po dobu 24 h. Následně byly změřeny hodnoty pH (PHM 220 Lab pH Meter).

Bylo provedeno jedenáct experimentů, počáteční nastavení a podmínky viz článek [1]. Každý experiment byl proveden se dvěma půlkami cihel, které byly v uzavřeném laboratorním nastavení upevněny svěrákem mezi přílozý prvek na obou stranách. Po skončení byly přílozý prvek a cihly rozděleny na části, ve kterých bylo změřeno pH.

Výsledky a diskuze

Referenční hodnoty

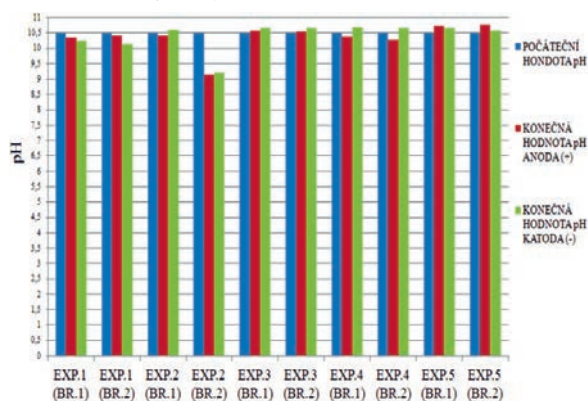
Naměřené pH se u cihel měnilo, i když cihly použité v experimentech byly ze stejné výrobní série. Proto bylo u pěti vzorků cihel změřeno pH a vypočítána jeho průměrná hodnota včetně směrodatné odchylky ($10,5 \pm 0,03$). U přílozých prvků byly referenční hodnoty pH v mezích (tab. 3). Od těchto hodnot se odvíjí následně porovnání.

Změny

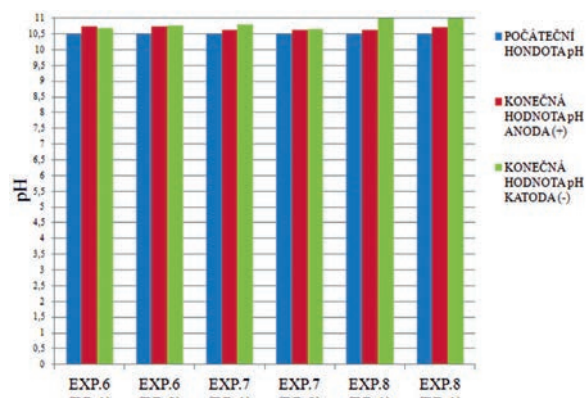
Všechny kombinace přílozých prvků zabránily poklesu pH pod 7, což by znamenalo acidifikaci, která je nežádoucí ve vztahu ke konstrukci a materiálu. Na začátku experimentů se předpokládalo, že pH uvnitř cihel na konci experimentu bude nižší blíže kladné elektrodě, u které probíhá chemická reakce, jež vytváří H^+ . Tvorba těchto iontů snižuje hodnotu pH. U záporné elektrody probíhá chemická reakce, která vytváří ionty OH^- , ty naopak zvyšují pH. V experimentech č. 1 až č. 5, které trvaly kratší dobu, nebylo dosaženo předpokládaného poklesu pH (obr. 1). Bylo proto rozhodnuto o opakování experimentů s delší dobrou trvání, neboť se předpokládalo, že délka experimentů (a tedy i tvorba iontů

H⁺ a OH⁻) nebyla dostatečná, aby bylo předpokládaných změn dosaženo. V experimentech č. 6 až č. 11 s delší dobou trvání bylo poté dosaženo předpokládaných změn pH ve většině případů (obr. 2, obr. 3). Tímto zjištěním byla prokázána důležitost trvání experimentů.

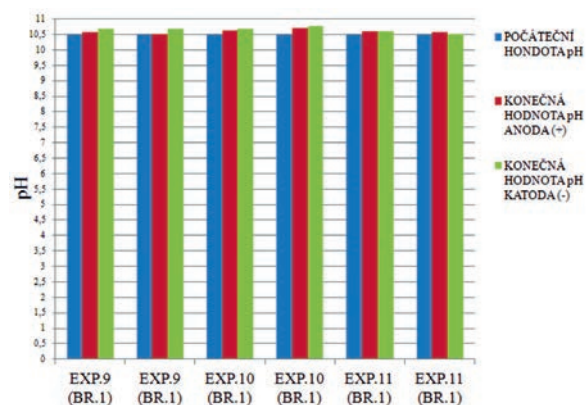
Nejmenší nárůst pH v příložených prvcích na straně anody proti počáteční hodnotě pH byl naměřen v experimentu č. 3 (1,9-1,6 %), ve kterém byla použita cihlářská hlína jako příložený prvek na obou stranách (tab. 1). Na straně katody to bylo v experimentech č. 3 (5,3-1,9 %) a č. 9 (7,4-7,8 %) proti počátečním hodnotám pH z tab. 3. V těchto experimentech byla také použita cihlářská hlína jako příložený prvek na obou stranách (tab. 2).



Obr. 1. Změny pH na konci experimentů 1 až 5 ve vztahu k počáteční hodnotě pH $10,5 \pm 0,03$
BR1 – půlka cihly 1, BR2 – půlka cihly 1



Obr. 2. Změny pH na konci experimentů 6 až 8 ve vztahu k počáteční hodnotě pH $10,5 \pm 0,03$
BR1 – půlka cihly 1, BR2 – půlka cihly 1



Obr. 3. Změny pH na konci experimentů 9 – 11 ve vztahu k počáteční hodnotě pH $10,5 \pm 0,03$
BR1 – půlka cihly 1, BR2 – půlka cihly 1

Tab. 1. Změny pH uvnitř příloženého prvku na straně anody ve vztahu k počáteční hodnotě z tab. 3

Experiment	[%]	Anoda		[%]
		BR. 1	BR. 2	
1	pokles	0,8	0,8	pokles
2	nárůst	12,4	4,3	nárůst
3	nárůst	1,9	1,6	nárůst
4	pokles	4,6	6,6	pokles
5	nárůst	4	3,9	nárůst
6	pokles	3,9	5,5	pokles
7	nárůst	3,8	4,7	nárůst
8	nárůst	23,8	13,6	nárůst
9	pokles	3,3	2,3	pokles
10	pokles	7,7	7,5	pokles
11	nárůst	4,2	3,5	nárůst

Tab. 2. Změny pH uvnitř příloženého prvku na straně katody ve vztahu k počáteční hodnotě z tab. 3

Experiment	[%]	Katoda		[%]
		BR. 1	BR. 2	
1	nárůst	7,8	3,8	nárůst
2	nárůst	40,1	45,5	nárůst
3	nárůst	5,3	1,9	nárůst
4	nárůst	14,6	14,6	nárůst
5	nárůst	24	23,4	nárůst
6	nárůst	15,4	18,5	nárůst
7	nárůst	24,6	20,9	nárůst
8	nárůst	52,6	40,9	nárůst
9	nárůst	7,4	7,8	nárůst
10	nárůst	12,2	11,9	nárůst
11	nárůst	26,9	16,5	nárůst

Tab. 3. Referenční pH uvnitř příložených prvků*

Prvek	Počáteční hodnota	Konečná hodnota	
		anoda	katoda
cihlářská hlína	8,0-8,1	8,1-8,5	8,8-11,0
CaCO ₃ +kaolinit+DV	8,6-8,8	8,1-8,3	9,0-11,0
CaCO ₃ +kaolinit+PV	7,3-7,7	8,2-9,0	10,2-10,6

* DV – destilovaná voda; PV – pitná voda

Závěr

Po aplikaci elektrického pole v uzavřeném laboratorním nastavení byly změny pH prokázány. U kombinace příložených prvků, ve které byla cihlářská hlína na obou stranách, byl prokázán nejvyšší nárůst na straně katody jak v experimentu č. 3 s krátkým trváním, tak v experimentu č. 9 s delším trváním. Průměrná hodnota pH v uzavřeném laboratorním nastavení nebyla nižší než 7 v žádném z experimentů. Příliš vysoká zásaditost v příložených prvcích na straně katody (díky tvorbě iontů OH⁻) je také nežádoucí, protože může

zpomalovat jak odvlhčování, tak odsolování pomocí příložených prvků a aplikovaného elektrického pole. Zjištění kombinace příložených prvků s nejmenším nárůstem iontů OH⁻ na straně katody (cihlářská hlína na obou stranách) může být využito v dalším testování. V průběhu popisovaných experimentů zavinily pravděpodobně špatné kontakty elektrod s příloženými prvky odchylky ve výsledcích, především v kombinacích příložených prvků, ve kterých byla speciální směs (CaCO₃ + voda + kaolinit) použita na straně anody.

Literatura

- [1] Matyščík, O. – Ottosen, L. – Dalgaard-Rørig, I.: Vysoušení cihel pomocí elektrického pole. *Stavební obzor*, **22**, 2013, č. 7, s. 187-191. ISSN 1805-2576 (Online)
- [2] Said-Shawqi, Q. – Arya, C. – Vassie, P. R.: Numerical modeling of electrochemical chloride removal from concrete. *Cement and Concrete Research*, **28**, 1998, No. 3, pp. 391-400. ISSN 00088846. DOI: 10.1016/S0008-8846(98)00002-7
- [3] Tritthart, J. – Pettersson, K. – Sorensen, B.: Electrochemical removal of chloride from hardened cement paste. *Cement and Concrete Research*, **23**, 1993, No. 5, pp. 1095-1104. ISSN 00088846. DOI: 10.1016/0008-8846(93)90169-A
- [4] Mietz, J.: Electrochemical realkalisation for rehabilitation of reinforced concrete structures. *Materials and corrosion*, **46**, 1995, No. 9, pp. 527-533. ISSN 1521-4176. DOI: 10.1002/maco.19950460904

Účinnost likvidace biotických škůdců plísní mikrovlnným zářením

Ing. Jindřich SOBOTKA
Ing. Karel ŠUHAJDA, Ph.D.
prof. Ing. Miloslav NOVOTNÝ, CSc.
VUT v Brně – Fakulta stavební

Elektromagnetické vlnění o frekvenci od 300 MHz do 300 GHz odpovídá vlnovým délkám od 1 m do 1 mm. Pro průmyslovou aplikaci je povoleno více frekvencí, nás však zajímá především frekvence 2 450 MHz o vlnové délce 12,2 cm. Mikrovlny patří do široké skupiny elektromagnetických vlnění, zahrnující i oblast viditelného světla, které se řídí Maxwellovými rovnicemi. Princip mikrovlnného vysoušení je založen na rozkmitání molekul vody ve hmotě zdiva, či jakéhokoli stavebního materiálu, za vzniku tepla vytvořeného jejich pohybem a třením, přeměně ve vodní páry a na jejich následném odvětrání. Rozkmitání molekul vody je primární děj v tomto procesu, při němž jsou molekuly vody schopny se zbavit energetického potenciálu, který je váže na kapiláry ve stavebním materiálu a znemožňuje odpařování.

The efficiency of the disposal of biotic pests fungus by microwave radiation

Microwaves are electromagnetic waves with frequencies from 300 MHz to 300 GHz, corresponding to wavelengths from 1 m to 1 mm. More frequencies are allowed for industrial applications, but we are mainly interested in the frequency of 2 450 MHz, a wavelength of 12.2 cm, which is used in our applications. Heating occurs so that due to the electric field water molecules orient themselves according to polarization. Microwaves belong to a large family of electromagnetic waves which also includes the visible light, which is governed by Maxwell's equations. The principle of microwave drying is based on the vibration of water molecules in the mass of masonry, or any building material, on the heat generated by their movement and friction, the conversion of water vapour and subsequent venting of these. The vibration of water molecules is the primary storyline in the process. Under these conditions, water molecules are able to get rid of their energy potential, which is bound to capillaries in the building material and prevents evaporation.

Úvod

Častým problémem stavebních objektů bývá vyšší relativní vlhkost vzduchu v interiéru. Negativně působí na konstrukci objektu, následně na její statiku, nepříznivě může působit i na zdraví člověka. Článek řeší přehled o způsobu sterilizace biotických škůdců (plísní), převážně o teplotách, při kterých dochází k jejich likvidaci za pomoci mikrovlnného záření. Existují i jiné metody, nicméně tuto technologii je nutno v některých případech použít. Podrobněji budou specifikovány biotičtí škůdci, kteří se při nadměrné vlhkosti rozvíjejí, s čímž souvisí i jejich likvidace mikrovlnným zářením [1].

Vysoká a velmi vysoká hmotnostní vlhkost stavebních látek způsobuje poruchu povrchů, často i zdiva. Pod okraj charakteristických vlhkostních map dochází k vyduťtí maleb a omítek a vytvářejí se podmínky pro výskyt plísní a mikrobiologických škůdců. Voda, která difunduje do volného prostoru místností, negativně ovlivňuje prostorovou relativní vlhkost, a jak již bylo řečeno, i zdraví osob.

Charakteristika plísní

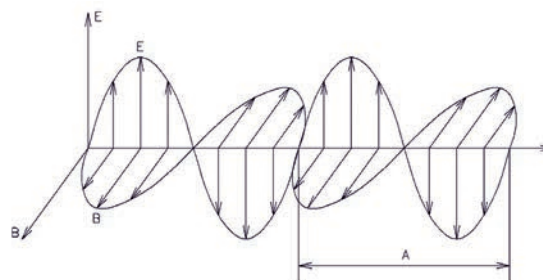
Plísně jsou mikroskopické houby (mikroorganismy) vytvářející jemné vláknité povlaky. Pro růst jim stačí vlhkost a teplota okolo 25 °C. Tyto podmínky bývají vyžadovány v nízkoenergetických či pasivních objektech. Důležité je v těchto domech dostatečně a pravidelně větrat. Pokud se tak neděje, zvyšuje se relativní vlhkost vzduchu interiéru, a následně i hmotnostní vlhkost stavebních materiálů.

Při splnění nutných životních podmínek mohou plísně růst na všech organických i anorganických materiálech. Vy-

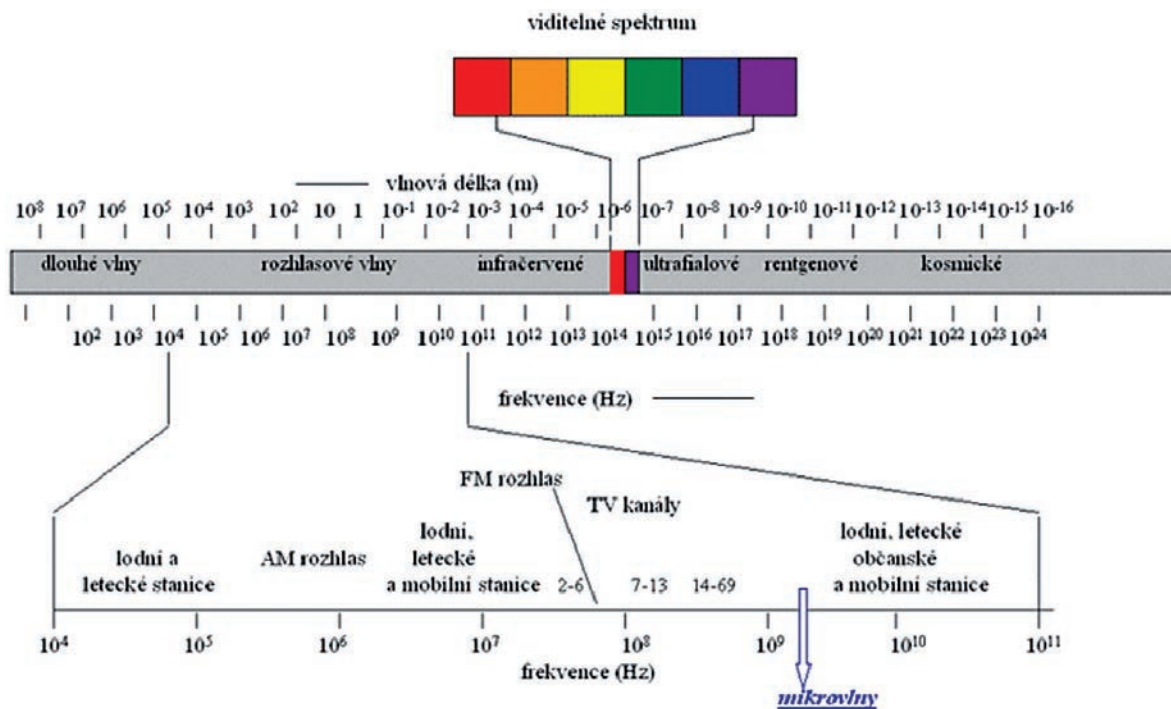
znamně zhoršují vnitřní mikroklíma, ve zdivu udržují nadměrnou vlhkost a uvolňují spory, jež následně ovlivňují zdraví osob pohybujících se v těchto prostorách. Na vlhkých stěnách se jejich růst plísní projeví žlutými, zelenými červenými nebo černými skvrnami a zatuchlým zápachem. Zaměnit se mohou s výkvěty různých solí, které vytvářejí krystalický povlak plísně připomínající. [3], [10], [11]

Mikrovlnné záření

Mikrovlnami je nazývána část elektromagnetického záření s vlnovou délkou od 1 cm do 1 m. Ve formě vln se šíří do prostoru od zdroje. Pro průmyslové účely je určena globálně frekvence 2,45 GHz s odpovídající vlnovou délkou 12,2 cm. Její místo v elektromagnetickém spektru a její vztah k ostatním používaným frekvencím ukazují obr. 1 a obr. 2.



Obr. 1. Elektromagnetická vlna délky λ
E – složka elektrická, B – složka magnetická



Obr. 2. Spektrum elektromagnetických vln

Mikrovlny umožňují zničení jakékoli formy živé tkáně do hloubky zdiva více než 1 m. Při likvidaci houby se zdivo vysuší, čímž se odstraní podmínky pro její další růst. Je však třeba zabránit, aby se vlhkost v materiálu opět nadměrně nezvyšovala. Jednou z výhod jejich využití je možnost vstupu mikrovln do nepřístupných míst a ohřev hmoty v celém průřezu. K dalším výhodám patří:

- selektivní ohřev, tj. u višesložkových materiálů se ohřívá pouze složka absorbující mikrovlny (voda);
- rychlost ozařování a následná likvidace;
- menší energetická náročnost v porovnání s horkovzdušným sušením;
- nižší náklady v porovnání s klasickým horkovzdušným sušením.

Nevýhodou je možnost lokálního přehřátí v důsledku nehomogenity mikrovlnného pole i samotného materiálu.

Jak bylo řečeno, při použití mikrovlnného záření se v materiálu se snižuje vlhkost, čili dochází k vysušování. Na rozdíl od jiných metod, které působí jen povrchově, působí mikrovlny v celém objemu materiálu, přímo na molekuly vody a na organismy vodu obsahující. Hloubkové působení mikrovln působí na škůdce bez nutnosti odkrývání postižených míst, takže obvyklé rozsáhlé bourání včetně výměny částí objektu není nutné, vyměňují se pouze prvky, které přestaly plnit svou funkci. Ostatní, i částečně napadené prvky konstrukce, jsou sterilizovány a ponechány na místě.

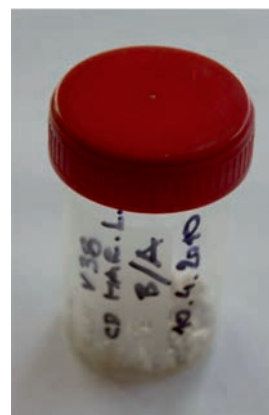
Mikrovlnná energie je pohlcována především molekulami vody, které se rozkmitají a způsobují její zahřátí. Běžnými stavebními materiály jsou mikrovlny absorbovány podle množství vody, které obsahují. Avšak platí, že i hodně vlhké zdivo a dřevo (20-30 %) má stále podstatně méně vody než živá tkáň hub (více než 90 %). Proto houby absorbují mnohem více mikrovlnné energie než jejich okolí. V důsledku působení mikrovln a nepřítomnosti termoregulačních mechanismů se rychle přehřívají a dochází k nevratné degradaci buněčných stěn. Tyto specifické vlastnosti jsou využívány nejen při likvidaci dřevokazného hmyzu, ale především při sanaci dřevomorky domácí [10].

Provedení a tvary antén (v literatuře můžeme najít i termín „vlnovod“) závisí na způsobu užití [3], v daném případě byly zvoleny trychtýřové antény s mikrovlnným výkonovým generátorem pracujícím na frekvenci 2,45 GHz. [2], [3], [7], [10], [11]

Odběr plísní

Úvodem je nezbytné zmínit, že na Ústav pozemního stavitelství VUT v Brně se obrací stále častěji laická i odborná veřejnost se žádostí o vyřešení způsobu likvidace biotických škůdců ve stavbách. V součinnosti s RNDr. Danou Hanulákovou z akreditované mikrolaboratoře v Brně-Židenicích (IFCOR-99), která disponuje zařízením pro kultivaci a následný chemický rozbor plísní, před ozařováním i po něm, bylo proto rozhodnuto se danou problematikou zabývat.

Na počátku jsme se věnovali experimentům pouze s mikroorganismy, přesněji řečeno plísněmi a houbami. Z rozsáhlého množství byly vybrány jen ty, které se na stavbách vyskytují nejčastěji. Vzorok byly odebrány ze stavebních konstrukcí, ať již šlo o zdicí materiály, či omítky. U napadených



Obr. 3. Sterilní ampule s víčkem

konstrukcí byly vzorky vyhodnoceny, určen procentní podíl biotických škůdců v zastoupení jednotlivých druhů a stanoven jejich nejčastější výskyt. Vzorky ve formě omítky nebo zdiva byly odebrány z kamenného rodinného domu, sklepních prostor, staré stavby připravené k demolici, z vlhkých místností (koupelny, toalety) a prostor v blízkosti oken. Odběrné plastové sterilní ampule byly opatřeny víčky (obr. 3), aby se zabránilo vnikání či unikání vlhkosti ze vzorků.

Vzorky se odebíraly z několika úrovní, avšak vždy byl jeden odebrán ve výšce 200 mm nad podlahou. Rozborem byly určeny mikroorganismy, které se nejčastěji vyskytují v interiérech objektu a ve stavebním materiálu – *Fusarium oxysporum*, *Alternaria alternata*, *Penicillium brevicompactum*, *Cladosporium cladosporioides*, *Aspergillus versicolor* [10], [11].

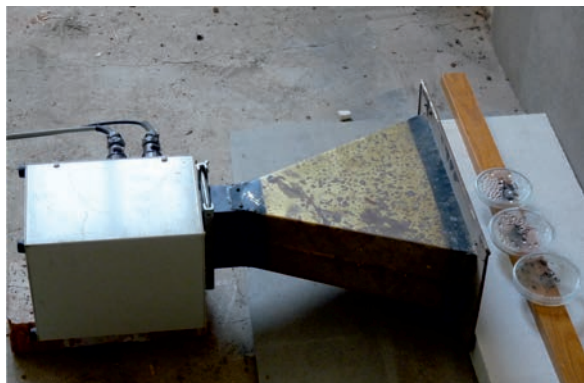
Kultivace plísní

Získané mikroorganismy byly v mikrobiologické laboratoři vypěstovány a naočkovány nejprve do kultivačních pěst, poté do stěnových vápenocementových omítek odebraných jako sondy v daných objektech. Kultivace probíhala v termostatu při 25 °C, kultivační půdou byl sladinný agar a Czapek-Dox agar s 20% sacharózou. Pro zajištění prostředí bez bakterií byla do vzorků přidána „antibiotika“. Ozařování pak postihlo dané ohnisko mikroorganizmů [10], [11].

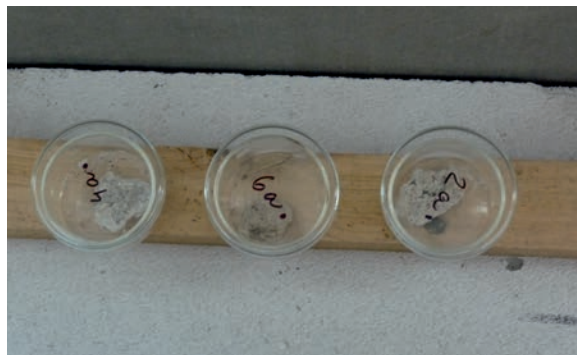
Postup experimentů

Experimenty probíhaly na Fakultě stavební VUT v Brně v prostorách Ústavu pozemního stavitelství. V laboratoři byly kultivary vypěstovány v Petriho miskách. Každá plíseň byla rozdělena do šesti misek, dalších šest misek bylo vytvořeno pro jinou frekvenci ozařování. Na jiné misce byla vypěstována daná plíseň v kombinaci s agarem. Následně byla intenzitou mikrovln 350-400 W, 700 W a 1 200 W provedena experimentální sterilizace zářením EMW (obr. 6). Tomuto záření byly vystaveny skleněné Petriho misky s víčky, naočkované misky s kultivary plísní, vzorky omítek odebraných ze stavby, naočkované krychle či kvádrčky vápenocementové omítky.

Pro likvidaci byl zvolen napájecí zdroj s ovladačem mikrovlnného generátoru, mikrovlnný výkonový generátor pracující na frekvenci 2,45 GHz Plazmatronika MWD 2000 GMR 1200, trychtýřová anténa napojená na generátor, indikátor úrovně intenzity mikrovlnného záření, cyklické záření EMW, stejné záření v různých časových intervalech. Na základě získaných výsledků můžeme říci, že dosavadní experimentální likvidace biotických škůdců zářením EMW prokázala vysokou úspěšnost.



Obr. 4. Trychtýřová anténa pro likvidaci mikroorganizmů zářením EMW

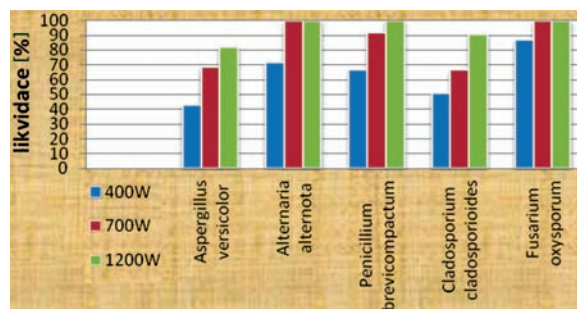


Obr. 5. Vzorky kultivarů očkovaných do úlomků omítky

Vzhledem k tomu, že jen některá plíseň byla odebrána z reálné stavby, bylo rozhodnuto, že se musí do omítek jednotlivé druhy plísní očkovat, a poté vystavit záření EMW. První experimenty byly provedeny na očkované kultivary v Petriho miskách, další na kultivarech očkovaných do omítkových vápenocementových krychlíček. Kultivary plísní, které se očkovaly do omítkových krychlíček (obr. 4, obr. 5), se musely nechat minimálně měsíc zrát, aby byly aktivní. [2], [4][6], [8], [10], [11]

Výsledky

Pro likvidaci biotických činitelů je možno použít běžně dostupné prostředky, např. SAVO proti plísním, Fungispray super nebo Dezisan Spray. Je zřejmé, že likvidace plísní a biotických činitelů v podobě mikroorganizmů zářením EMW je vysoce účinná. V zásadě je nutné zjistit druh plísně, a poté stanovit vhodnou intenzitu a dobu radiace. Většinou se přikláníme při ozařování k cyklickému procesu s opakováním po 5x30 minutách. Tuto dobu a počet opakování je možné podle potřeby měnit. Obecně však platí, že během radiace by se lidé neměli dlouhodobě či trvale v ozařovaném prostoru zdržovat (obr. 6).



Obr. 6. Účinnost likvidace plísní na čistých kulturách

Závěr

Experimenty bylo zjištěno, že hubení plísní zářením EMW bylo úspěšné u čtyř z pěti naočkovaných kultivarů. Dosud byl pozorován menší podíl likvidace plísní *Aspergillus versicolor*. Výsledky mohou být zkráceny např. naočkováním většího množství plísně do kultivaru. Pro likvidaci tohoto druhu plísně bude v dalších experimentech vyzkoušen největší výkon záření EMW, prodloužení doby ozařování či zvýšení počtu cyklů. Dále můžeme očekávat stanovení délky a intenzity ozařování včetně výkonu záření EMW, podání návrhu na vytvoření ověřené technologie pro likvidaci biotických škůdců prostřednictvím záření EMW a prověření možnosti aplikace i na dřevokazné škůdce.

Článek vznikl za podpory projektu P104/10/P388 GA ČR „Experimentální analýza účinnosti mikrovlnného záření při likvidaci biologických činitelů způsobujících korozi stavebních materiálů“.

Literatura

- [1] <http://www.likvidace-cervotoce.cz>
- [2] <http://www.impreg.cz/htm/mikrovlny.htm>
- [3] Šuhajda, K.: Sanace vlhkého zdiva staveb – Využití tyčové antény při mikrovlnném vysoušení. [Dizertace], VUT Brno, 2006, s. 15-96.
- [4] Šuhajda, K. – Novotný, M. – Škramlík, J.: Monitoring of effectivity of microwave desiccation by means of rod plug-in antenna. The e-Journal of Nondestructive Trstiny. ISSN 1435-4934; Journal & Exhibition of non destructive Testing, 2008, pp. 4-8.
- [5] Škramlík, J. – Novotný, M. – Šuhajda, K.: Měření vlhkosti stavebních materiálů absorbní mikrovlnnou metodou. Stavební obzor, 17, 2008, č. 1, s. 1-7. ISSN 1210-4027
- [6] <http://www.mikrobiologie.cz/>
- [7] Němec, M. – Horáková, D.: Základy mikrobiologie. Brno, 1993, s. 10-62.
- [8] <http://www.microwaveglass.com> - Microwave glass Technology Company
- [9] <http://stavba.tzb-info.cz/drevostavby/6896-analyza-ucinnosti-likvidace-bioticky-skudcu-pomoci-mikrovlneho-zareni>
- [10] <http://www.dřevomorka.cz>
- [11] Sobotka, J. – Jiroušek, Z. – Šuhajda, K.: Likvidace a sterilizace biotických činitelů pomocí mikrovlnné technologie. [Sborník], konference „Sanace a rekonstrukce staveb 2012“, WTA. ISBN 978-82-02-02414-9
- [12] Sobotka, J.: Účinnost likvidace biotických škůdců prostřednictvím mikrovlnného záření. [Sborník], konference „Juniorstav 2012“, VUT v Brně. ISBN 978-80-214-4393-8
- [13] Šuhajda, K. – Novotný, M. – Škramlík, J.: Monitoring of effectivity of microwave desiccation by means of rod plug-in antenna. The e-Journal of Nondestructive Trstiny. ISSN 1435-4934; Journal & Exhibition of non destructive Testing, 2008, pp. 4-8.

Určení objemu zemních prací pozemním laserovým skenováním a dalšími geodetickými metodami

*Ing. Tomáš KŘEMEN, Ph.D.
Ing. Bronislav KOSKA, Ph.D.
prof. Ing. Jiří POSPÍŠIL, CSc.
ČVUT v Praze – Fakulta stavební*

Pozemní laserové skenování je novou efektivní metodou určování objemu zemních prací. Při kalibraci se vyskytuje řada těžkostí, přičemž dosud nebyl zveřejněn mezinárodně ověřený a uznávaný postup. Tento článek uvádí jeden z možných postupů ověření její přesnosti.

Accuracy comparison of volume determination by terrestrial laser scanning and other surveying methods

Terrestrial laser scanning is a new effective method for the determination of earthwork volumes. Its calibration involves a lot of difficulties; despite this no international verified and accredited procedure of the calibration has been published yet. The paper introduces one of the verification possibilities of its accuracy.

Úvod

Zemní práce se významně podílejí na celkových nákladech na stavbu. Tento podíl je tím větší, čím větší část v rámci stavby tvoří. Významnými reprezentanty jsou například stavby liniové. Pro minimalizování nákladů na zemní práce je třeba jejich objem snížit co nejvíce, tedy navrhovat projekt s ohledem na co nejmenší objem zemních prací s vyrovnanou bilancí násypů a výkopů. Dalším faktorem, který ovlivňuje výslednou cenu zemních prací, je přesné určení jejich objemu. Zde se také nachází jedna z hlavních možností špatného ocenění stavby, především v neprospěch investora.

Geodetické metody

Ke své práci používají zeměměřiči základní geodetické přístroje a metody. Nejčastěji jde o zaměření podrobných bodů prostorovou polární metodou měřenou totální stanicí, dále o zaměření podrobných bodů technologií GNSS (globální navigační satelitní systémy), fotogrammetrickou metodou a metodou pozemního laserového skenování.

Totální stanice již patří díky univerzálnosti k základnímu přístrojovému vybavení každého geodeta na stavbě. Uplatňuje se u většiny geodetických prací na stavbě, tj. od budování a kontroly bodového pole stavby, přes polohové a výškové vytyčování, až po zaměření skutečného stavu. Použití totální stanice a prostorové polární metody je proto v řadě případů první volbou pro určování objemu zemních prací. Výhodou metody je vysoká přesnost zaměření podrobných bodů a možnost měřit i v zarostlém terénu (pokud je zajištěna přímá viditelnost mezi totální stanicí a odrazným hranolem). Mezi nevýhody patří relativně malá hustota zaměřených podrobných bodů ve sledované oblasti, pomalejší měření, nutnost měřené body signalizovat odrazným hranolem, což znamená, že zaměřovaná oblast musí být přístupná, ačkoli v současné době bezhranolových dálkoměrů toto nemusí být nevýhodou. Rovněž je třeba zmínit nutnost přímé viditelnosti mezi totální stanicí a hranolem či bodem na zaměřovaném povrchu a pomalejší sběr dat.

Technologie GNSS, konkrétně metoda měření RTK (real time kinematic), patří mezi základní geodetické metody

s univerzálním použitím. Nevyžaduje přímou viditelnost mezi referenční stanicí nebo sítí permanentních stanic (CZEPOS) a roverem (aparatura GNSS sloužící k měření podrobných bodů). Mezi nevýhody patří malá hustota podrobných bodů, nutnost postavení roveru na každý měřený podrobný bod a nemožnost měření v uzavřených prostorech a podzemí, protože pro GNSS je nutná přímá viditelnost na oblohu s potřebným počtem satelitů pro určení polohy podrobného bodu.

Fotogrammetrická metoda nepatří mezi metody, které by se výrazněji uplatňovaly ve stavebnictví. Její výhodou je rychlé pořízení dat a komplexnost zachycení sledovaného objektu. Mezi nevýhody patří delší doba zpracování pořízených dat do požadovaného výsledku, nevhodnost použití v zarostlém terénu a minimální uplatnění v dalších měřicích pracích na stavbě.

Poslední zde zmíněnou metodou k určování objemu zemních prací je laserové skenování [1], [4]. Využívají se především pozemní skenovací systémy pracující na principu prostorové polární metody s rozsahem měření překračujícím 100 m. Mezi výhody metody patří velká rychlost sběru prostorových dat a jejich hustota. Nevýhodou lze spatřovat v nutnosti očištění měřené oblasti od porostu stejně jako u fotogrammetrické metody.

Výpočet objemu z naměřených dat

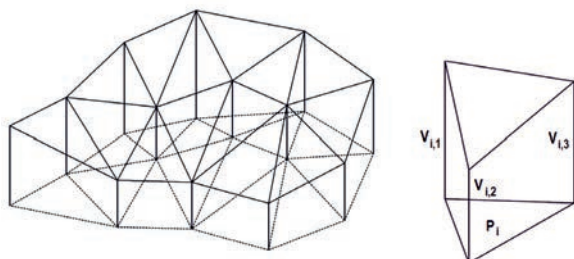
Pro výpočet je možné použít řadu postupů a vzorců. Při klasickém zpracování se ve většině postupů nepravidelně tvarované zemní těleso rozděluje na části, které se dají vhodně aproximovat geometrickými tvary, a poté se objem tělesa určí jako součet objemu dílčích těles. Geometrická tělesa používaná pro tuto aproximaci jsou kolmý hranol, jehlan, kužel, komolý jehlan a komolý kužel, rotační paraboloid nebo kulová úseč. Další postupy rozdělují zemní těleso rovnoběžnými řezy ve vertikálním (profily) nebo horizontálním (vrstevnice) směru. Objem vzniklých dílčích těles se vypočítá jako průměr plochy řezů vynásobený jejich rozestupem. Výsledný objem se opět určí jako součet objemu dílčích těles [2].

Zmíněné postupy jsou pracné, méně přesné a pro automatizovaný výpočet objemu nejsou příliš vhodné. Jako nejvhodnější a v současnosti nejčastěji používaný postup určení objemu se používá výpočet pomocí digitálního modelu terénu (dále DMT) a nepravidelných trojúhelníkových sítí (dále TIN). V oblasti, kde má být objem určen, se na povrchu zaměří nepravidelná síť podrobných bodů, které vystihují reliéf terénu. Z těchto bodů bude vytvořen DMT ve formě TIN. Ten reprezentuje povrch jako soubor trojúhelníků, které jsou definovány třemi body umístěnými v prostoru. Tyto sítě musí splňovat dvě podmínky – trojúhelníky se nesmějí při promítnutí do roviny x - y překrývat (DMT neobsahuje převisy) a sousední trojúhelníky musí mít shodnou jednu hranu a dva vrcholy. Při měření běžného terénu není problém první podmínku splnit, ale pro některá měření (skalní stěny apod.) je tato podmínka nesplnitelná a musí se pro tvorbu DMT použít jiný typ sítě než TIN. Konstrukce (triangulace) TIN vzniká nejčastěji Delaunayovou triangulační metodou, pojmenovanou po ruském horolezci a matematikovi.

Potom se objem tělesa V nad porovnávací rovinou, jehož povrch je definován TIN, určí jako součet objemu trojbokých kolmých hranolů seříznutých rovinou nerovnoběžnou (rovinou, ve které leží trojúhelník TIN) s rovinou podstavy (porovnávací rovina) (obr. 1), tzn.

$$V = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \frac{v_{i,1} + v_{i,2} + v_{i,3}}{3}$$

kde P_i je plocha podstavy trojbokého kolmého hranolu a $v_{i,j}$ je výška vrcholů TIN trojúhelníka nad porovnávací rovinou.



Obr. 1. Výpočet objemu tělesa, jehož povrch je definován TIN nad porovnávací rovinou

Objem lze počítat i mezi dvěma sítěmi TIN. Výpočet se komplikuje, když má být počítána bilance zemních prací (výkopy a násypy, poloha a velikost plochy výkopů a násypů). Při tomto výpočtu je nejprve nutné nalézt průsečíky mezi sítěmi TIN a referenční rovinou, případně druhou sítí TIN. Poté je určen objem jednotlivých regionů a celková bilance. Výsledný objem se může lišit podle výpočetního postupu. Přesto jsou všechny tyto výpočty stále založeny na určení objemu kolmého trojbokého hranolu.

Další možností určení objemu pomocí DMT je určení výškových odlehlostí DMT nad porovnávací rovinou v pravidelném rozestupu. Při této metodě je oblast pokryta rovinou čtvercovou (obdélníkovou) sítí ležící v referenční rovině a pro každý uzlový bod sítě je určena výšková odchylka vi mezi touto sítí a DMT. Objem V je poté určen jako průměrná výšková odchylka uzlových bodů vynásobená plochou DMT v referenční rovině P , tj.

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n} P$$

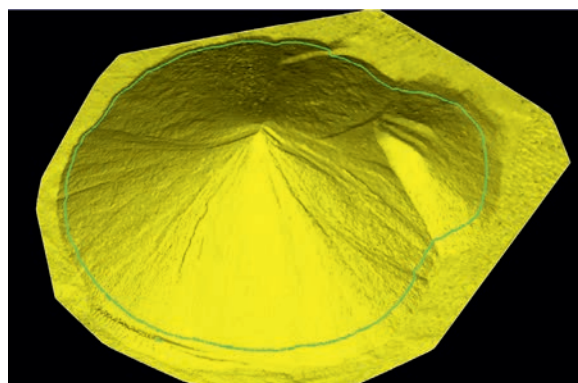
U tohoto způsobu výpočtu je důležité uvážit rozestupy uzlových bodů, aby výsledek nebyl negativně ovlivněn jejich malou hustotou.

Ověření relativní přesnosti určení objemu

Jedním z výzkumných úkolů řešených na Katedře speciální geodézie Fakulty stavební ČVUT bylo ověření určení objemu různými geodetickými metodami. Byla testována metoda laserového skenování měřené systémy Leica HDS 3000 (směrodatná odchylka v poloze bodu 6 mm) a Riegl LMS-Z420i (směrodatná odchylka v poloze bodu 10 mm), metoda fotogrammetrická a metoda GNSS měřené aparaturou Trimble MS750 při použití referenční stanice Trimble 4700 a síť CZEPOS [3]. Měření proběhlo počátkem dubna v areálu firmy DESTRO v Kladně za jasného počasí, za mírného větru a teploty 22 °C.

Postup měření

Měření proběhlo ve spolupráci s firmou Control System International. Katedra speciální geodézie zaměřila sledovanou oblast skenovacím systémem HDS 3000 a fotogrammetricky, firma Control System International oblast skenovacím systémem LMS-Z420i a metodou GNSS. Vybraným objektem byla kupa písku tvaru pravidelného kuželu (průměru 19,6 m, výšky 6,8 m), na jejímž jižním úpatí se nacházela menší kuželová kupa (průměru 10 m, výšky 2,7 m), částečně větší kupou zasypaná (obr. 2).



Obr. 2. Trojrozměrný model kupy písku ve formě TIN

Při měření skenovacím systémem HDS 3000 byly kupy zaměřeny ze čtyř stanovisek. Hustota skenování byla 20 mm na 100 m. Pro možnost spojení jednotlivých měření do celku a umístění do systému S-JTSK byly na každém stanovisku skenovány identické body, které byly pravidelně rozmístěny v okolí měřených kup (měření značeno HDS).

Při fotogrammetrickém zaměření kupy bylo pořízeno 53 digitálních fotografií z 13 stanovisek, vzdálenost od hrady byla přibližně 13 m (odkrokováno). Pro potřeby softwaru byla na každém ze stanovisek pořízena alespoň jedna dvojice paralelních snímků s velikostí základny přibližně 3 m.

Při měření skenovacím systémem LMS-Z420i byly kupy zaměřeny celkem sedmkrát, pokaždé ze čtyř stanovisek. Jednotlivá měření se lišila způsobem spojování stanovisek do výsledného celku. Pro tento systém byly použity čtyři metody spojení jednotlivých mračen bodů:

- Flat – využití plochých kruhových identických bodů;
- Cylinder – využití válcových identických bodů;
- Multi – využití speciálního modulu Multistation software RiSCAN společnosti Riegl, kde spojení jednotlivých mračen bodů je založeno na principu korelace mračen bez

potřeby využití identických bodů. Metoda využívá algoritmus Iterative Closest Point (ICP);

- Multi_move – při tomto měření byla použita stejná metoda jako u „Multi“, ale zároveň byly uměle buzeny kmity celé měřicí aparatury (měřicí systém se náhodně kýval na teleskopickém stožáru délky 3 m tak, že jeho vertikální osa měnila sklon v hodnotách $\pm 3^\circ$). Tímto způsobem byla zkontrolována správná funkce hardwarového systému vyrovnání náklonu „inclination senzor“ skeneru Z420i v extrémních podmínkách.

Při prvním měření (Flat) byly skenovány rovinné identické body, umístěné na stejných pozicích jako identické body pro skenovací systém HDS 3000 (speciální oboustranné rovinné terče). Při druhém a třetím měření (Cylinder_10, Cylinder_20) byly skenovány válcové terče Riegl, umístěné na výtyče pod rovinnými terči (výškový rozdíl mezi rovinnými terči a válcovým terčem byl 420 mm). Pro čtvrté, páté a šesté měření (Multi_10, Multi_20, Multi_30) byla použita metoda multistation (pro polohové, a především výškové georeferencování jednotlivých mračen bodů byla využita aparatura GNSS Trimble 4700, umístěná na skeneru s vlastní referenční stanicí). Sedmé měření je popsáno v posledním bodu. Při měření skenovacími systémy byly voleny pokaždé přibližně stejné pozice stanovisek.

Po ukončení měření skenovacími systémy byly kupy zaměřeny pomocí GNSS Trimble 4700 s referenční stanicí (96 bodů) a GNSS Trimble R8 a sítě Czepos (43 bodů) (měření značeno GPS_ref a GPS_czepos).

Vyhodnocení

Při vyhodnocování měření skenovacími systémy HDS 3000 byla nejprve všechna měřená mračna spojena v lokální souřadnicové soustavě do celku pomocí identických bodů. Výsledné mračno bylo očištěno a transformováno do systému S-JTSK. Zpracování proběhlo v programu Cyclone 5.6.

Při fotogrammetrickém vyhodnocování bylo z nasnímaných snímků vybráno 13 dvojic pro zpracování v softwaru PhotoModeler Scanner. Snímky bylo nutné propojit do jednoho modelu metodou průsekové fotogrammetrie, s níž PhotoModeler mimo modul Scanner pracuje. Pro spojení snímků do modelu bylo využito výrazných prvků na objektu (vrcholy kamenů atd.) a dále odrazných terčů sloužících jako

identické body pro metodu laserového skenování. Po připojení paralelních snímků byla provedena optimalizace modelu (vypuštění chybně připojených snímků či špatně označených spojovacích bodů). Výsledný model obsahuje 23 snímků a 48 spojovacích bodů. Pro vygenerování mračna bodů v modulu Scanner bylo dále třeba snímky idealizovat a vybrat na nich oblasti, ve kterých je požadováno vytvoření mračna. Mračna vzniklá z jednotlivých párů byla spojena do jednoho celkového, které obsahovalo 36 700 bodů. Pro jeho transformaci do souřadnicového systému S-JTSK byla použita z knihovny Alltran podobnostní trojrozměrná transformace. Identickými body pro transformaci byly tři odrazné terče sloužící k propojování mračen získaných skenováním, které bylo též možné vyhodnotit v programu PhotoModeler Scanner.

Základní zpracování měřených dat ze skenovacího systému LMS-Z420i, tj. spojení jednotlivých stanovisek, základní očištění a transformaci do S-JTSK, provedla firma Control System International. Zpracovala i data z obou měření GNSS. Výstupem byly seznamy souřadnic v S-JTSK. Následného zpracování dat z LMS-Z420i a z GPS se ujala Katedra speciální geodézie FSv ČVUT.

Data z jednotlivých měření skenovacími systémy LMS-Z420i a měření GNSS byla importována do programu Cyclone 5.6, konkrétně do projektu „Měření kup skenovacími systémy HDS 3000“. Každé měření bylo umístěno do samostatné vrstvy, mračna jednotlivých měření byla očištěna od přebytečných bodů. Byla vybrána zájmová oblast, ve které se nacházely pouze sledované kupy s bezprostředním okolím. V této oblasti bylo pro měření systémem HDS 3000 zhruba 1,8 milionu bodů, pro měření systémem LMS-Z420i zhruba 250 tisíc. Mračna bodů jednotlivých měření byly proloženy sítí TIN. Byla zvolena referenční rovina o nadmořské výšce 365,75 m a k této rovině byl vypočten objem z jednotlivých měření. V programu Cyclone byla zvolena funkce určení objemu TIN Volume (objem se určí jako součet objemu seříznutých trojbokých kolmých hranolů). Měření systémem HDS 3000 však bylo příliš husté, a proto bylo pro výpočet výsledné mračno zredukováno na 25 % původního stavu (měření značeno HDS 25 %). Dále byla v programu Cyclone použita funkce určení objemu Mesh Volume (určení objemu pomocí výškových odlehlostí nad

Tab. 1. Určený objem kupy písku

Měření	Objem [m ³]						
	Mesh Volume [m]					TIN Volume	Atlas
	0,1 m	0,2 m	0,3 m	0,5 m	1,0 m		
HDS 25 %	585,714	585,744	585,678	585,791	585,592	585,715	585,720
HDS	585,699	585,728	585,663	585,745	585,643	–	585,710
Cylinder_10	585,137	585,173	585,146	585,204	584,939	585,150	585,150
Cylinder_20	586,465	586,443	586,439	586,512	586,397	586,457	586,460
Flat	585,873	585,906	585,892	585,957	585,708	585,887	585,890
Multi_10	585,038	585,054	585,000	585,112	585,034	585,037	585,040
Multi_20	587,025	587,036	586,994	586,993	587,049	587,024	587,020
Multi_30	585,225	585,271	585,205	585,267	585,115	585,231	585,230
Multi_move	587,091	586,907	587,031	587,202	586,160	587,073	587,080
GPS_ref	553,505	553,504	553,496	553,513	553,537	553,505	553,510
GPS_czepos	519,623	519,622	519,620	519,641	520,301	519,623	519,620
fotogrammetrie	583,139	583,134	583,171	583,143	583,215	583,139	582,950

Tab. 2. Rozdíl mezi měřením HDS 25 % a ostatními metodami

Měření	Objem [m ³]						
	Mesh Volume					TIN Volume	Atlas
	0,1 m	0,2 m	0,3 m	0,5 m	1,0 m		
Cylinder_10	0,577	0,571	0,532	0,587	0,653	0,565	0,570
Cylinder_20	-0,751	-0,699	-0,761	-0,721	-0,805	-0,742	-0,740
Flat	-0,159	-0,162	-0,214	-0,166	-0,116	-0,172	-0,170
Multi_10	0,676	0,690	0,678	0,679	0,558	0,678	0,680
Multi_20	-1,311	-1,292	-1,316	-1,202	-1,457	-1,309	-1,300
Multi_30	0,489	0,473	0,473	0,524	0,477	0,484	0,490
Multi_move	-1,377	-1,163	-1,353	-1,411	-0,568	-1,358	-1,360
GPS_ref	32,209	32,240	32,182	32,278	32,055	32,210	32,210
GPS_czezos	66,091	66,122	66,058	66,150	65,291	66,092	66,100
fotogrammetrie	2,575	2,610	2,507	2,648	2,377	2,576	2,770

porovnávací rovinou v pravidelném rozestupu) pro volené intervaly hustoty výpočtu 0,1; 0,2; 0,3; 0,5 a 1,0 m.

Po výpočtu objemu v programu Cyclone byly podrobné body jednotlivých měření exportovány do programu ATLAS. Z bodů byly vygenerovány digitální modely terénu a vypočten objem nad referenční rovinou 365,75 m. Program Atlas používá pro určení objemu stejný postup jako program Cyclone v případě funkce TIN Volume.

Výsledky vyhodnocení pro jednotlivá měření jsou uvedeny v tab. 1.

Jako referenční měření bylo zvoleno měření ze skenovacího systému HDS 3000 po redukci na 25 %. Vypočítané rozdíly jednotlivých způsobů určení objemu vůči referenčnímu měření jsou v tab. 2.

Měření skenovacím systémem HDS 3000 bylo zvoleno na základě experimentálního ověřovacího měření, kdy byla skenovacím systémem HDS 3000 dvakrát nezávisle naskenována obdobná kupa a dosažený rozdíl mezi určenými objemy byl 0,087 m³ (tab. 3).

Tab. 3. Objem kupy zjištěný systémem HDS 3000

Měření	Objem [m ³]
1	326,407
2	326,494
rozdíl	-0,087

Závěr

Na základě jedenácti nezávislých měření sledovaného objektu byla ověřena přesnost určení objemu technologií laserového skenování systémem Riegl LMS-Z420i. Jako porovnávací měření bylo zvoleno měření skenovacím systémem Leica HDS 3000 (vyšší přesnost než LMS-Z420i). Při analýze výsledků byla zjištěna shoda, tj. rozdíl objemu byl od -0,8 m³ do 0,7 m³, což odpovídá 1,4 % z celkového určeného objemu. Pouze u měření Multi_20 byl rozdíl zhruba dvakrát větší. V případě, kdy byla celá měřicí aparatura ovlivněna uměle buzenými kmity simulujícími např. náročné povětrnostní podmínky, se určené hodnoty objemu nelišily o více než 1,4 m³, což odpovídá méně než 2,5 % celkového objemu.

Objem kupy písku, určený fotogrammetrickou metodou, se od objemu určeného systémem HDS 3000 lišil o 2,6 m³, což odpovídá 4,4 % z celkového určeného objemu. Při vyhodnocování objemu fotogrammetrickou metodou bylo nutné se vypořádat s velkým šumem v určeném mračnu bodů, což určení objemu poněkud komplikovalo.

Porovnání určených objemů technologií laserového skenování (oba přístroje) a technologií GNSS ukazuje výrazný systematický vliv borcení kupy písku a zanořování hrotu výtyčky při podrobném zaměřování kup technologií GNSS z důvodu nutnosti pohybu v kupě. Při určování objemu tělesa vytvořeného ze sypkého materiálu je tedy vhodnější volit bezkontaktní metody měření.

Z dosažených výsledků vyplývá, že k určování objemu sypkých povrchů nepokrytých vegetací je nevhodnější technologie laserového skenování. V případě tvaru měřeného objektu a úkolu, při kterém je určován pouze objem, a nikoli skutečný tvar a jeho nepravidlosti, je možné i při použití skenovacího systému s nižší deklarovanou přesností dosáhnout porovnatelných výsledků jako se systémem s vyšší deklarovanou přesností. Technologií laserového skenování pro určení objemu je dosahováno tak vysoké přesnosti, že je nutné k dosaženým výsledkům uvádět i míru ztuhnutí tělesa, neboť bez tohoto údaje jsou uváděné hodnoty objemu, a tím i přesnosti, zavádějící.

Článek vznikl za podpory projektu SGS 13/059/OHK1/1T/11.

Literatura

- [1] Štroner, M. – Pospíšil, J.: Terestrické skenovací systémy. ČVUT v Praze, 2008.
- [2] Neset, K.: Důlní měřičství II. Praha, SNTL 1967.
- [3] Křemen, T. – Pospíšil, J.: Technická zpráva – Ověření přesnosti určení objemů. ČVUT v Praze, 2009, s. 5.
- [4] Křemen, T. – Pospíšil, J. – Vondráčková, T.: Kontrola provedení zemních prací automaticky řízeným dozerem. Stavební obzor, 17, 2008, č. 10, s. 300-303. ISSN 1210-4027