Reflexní nátěry a úspory nákladů na vytápění

Možnosti využití patentů NASA v rámci stavebních aplikací

Článek se zabývá odpověďmi a navazujícími souvislostmi, které se týkají následujících otázek: Je možné využít nátěrové systémy používané pro finální povrchové úpravy plášťů raketoplánů, které jsou chráněny patenty NASA, ve stavebních aplikacích a využít jejich sálavých vlastností? Nahradí reflexní nátěry aplikované na plášti raketoplánům klasické tepelněizolační materiály, např. polystyren, minerální či skelnou vatu?

V případě, kdy je nutné porovnat vlastnosti stavebních materiálů (včetně jejich povrchových úprav) z hlediska možnosti využití jejich vlastností v rámci tepelně-technických charakteristik konstrukcí, se používá nejčastěji hodnocení podle velikosti součinitele tepelné vodivosti λ [W.m^{-1}.K^{-1}] nebo podle velikosti měrné tepelné kapacity $\boldsymbol{c}$ [J.kg^{-1}.K^{-1}]. Uvedené veličiny charakterizují chování materiálů především z hlediska šíření tepla vedením. Vliv materiálů, které tvoří relativně tenkou vrstvu na povrchu stavební konstrukce v interiéru nebo v exteriéru, na velikost výše uvedených materiálových veličin určujících tepelněizolační vlastnosti konstrukčního souvrství však není prakticky ani výpočtově zcela jasný.

Proto je nutné materiály používané k povrchovým úpravám (resp. povrchově upravené plochy stavebních konstrukcí) charakterizovat z hlediska vlastností popisujících jejich chování při sdílení tepla sáláním, tj. sálavými vlastnostmi. Teprve pak lze určit vliv povrchových úprav na energetickou bilanci stavebního díla.

Sálavé vlastnosti a nátěrové hmoty

Především u zahraničních výrobců nátěrových hmot se už delší čas setkáváme se snahou vyrobit interiérovou či exteriérovou nátěrovou hmotu, která by tvořila finální povrch stavební konstrukce a významně by přispěla k jejím tepelněizolačním vlastnostem, vyjádřeným např. součinitelem prostupu tepla $\boldsymbol{U}$ [W.m^{-2}.K^{-1}], součiniteli přestupu tepla $\boldsymbol{h_i}/\boldsymbol{h_e}$ [W^{-2}K^{-1}], tepelným odporem konstrukce $\boldsymbol{R}$ [m^2.K.W^{-1}], popř. tepelnou jímavostí $\boldsymbol{b}$ [W^2.s.m^{-4}.K^{-2}].

Nátěrové hmoty PCCM

Nátěrové hmoty označované jako reflexní či tepelně odrazivé se zřejmě dobře uplatnily při konstrukci tepelného štítu raketoplánu. Svědčí o tom čtyři americké patenty, jejichž vlastníkem jsou Spojené státy americké reprezentované NASA (National Aeronautic and Space Administration). Nejnovější patent byl přihlášen v březnu 1994, je registrován pod číslem US 005296288A a jedná se o inovaci tří dříve vyvinutých a patentovaných nátěrů (US 004093771, US 004381333, US 005066330). Tento nátěr, stejně jako ostatní uvedené nátěry, nese označení PCCM (Protective Coatings for Ceramic Materials – ochranná vrstva pro keramické materiály) a je určen k ochraně speciálních keramických materiálů, které jsou používány na tzv. tepelných štítech – poslední vrstvě vnějších obalů raketoplánů.

I když se výrobci stavebních tepelněodrazivých hmot na tyto patenty odvolávají, je zřejmé, že teplotní podmínky panující na tepelném štítu raketoplánu nejsou porovnatelné s podmínkami v okolí běžné stavební konstrukce. Posouzení praktického využití jakékoliv povrchové úpravy stavební konstrukce s ohledem na sálavé vlastnosti upraveného povrchu musí být založeno na měřeních modelujících reálné podmínky.

Nátěrové hmoty TBCs

Dalšími nátěrovými hmotami chráněnými patenty a určenými k ochraně konstrukcí před účinky extrémních teplot jsou nátěry TBCs (Thermal Barrier Coatings). Jsou určeny k ochraně konstrukcí turbín a mají za úkol zvyšovat mechanickou a chemickou stabilitu jejich keramických povrchů při vzniku napětí způsobených rozdílnými hodnotami součinitelů lineární teplotní roztažnosti materiálů α [K^{-1}]. Vlastníkem patentu je Westinghouse Power Generation Busines Unit of Orlando.

Ilustrativní popis funkce reflexních nátěrů (dle informací výrobců)

V reklamních podkladech výrobců reflexních či tepelněodrazivých nátěrů je např. uvedeno:

- „… nátěry jsou řešením problémů s nedostatečnou tepelnou izolací budov, stěna natřená tímto nátěrem teplo z místností neodebírá, ale odráží zpět do prostoru …“,
- „… jedná se o vnitřní malbu, která odráží příjemné tepelné záření …“,
- „… použitím nátěru se zvyšuje povrchová teplota zdí a zvýší se i tepelná izolace bytů a kanceláří“.

Rozbor přibližného složení nátěrové hmoty

Z provedeného rozboru složení nátěrové hmoty označené výrobcem jako nátěrová hmota pro zhotovení reflexních interiérových nátěrů, z analýzy plniv pomocí rentgenové difrakce, z analýzy pojiv pomocí infračervené spektroskopie a mikroskopického průzkumu skleněných částic plniva

Obr. 1: Ukázka aplikace PCCA nátěrů na keramické dlaždice tvořící obal raketoplánů

Obr. 2: Princip funkce reflexních nátěrů pro interiérovou aplikaci na povrchy stavebních konstrukcí dle podkladů jejich výrobců. Nátěr „odráží" tepelné sálání od zdroje tepla umístěného v interiéru

bylo možné odvodit přibližné složení předmětné nátěrové hmoty:

- plniva (TiO_2, $CaCO_3$) ... 32,3 %,
- plniva (duté skleněné částice od 5 do 60 μm) ... 8,3 %,
- pojiva (PVAc disperze) + pomocné přísady ... 12,6 %,
- voda ... 46,9 %.

Obsah sušiny činil cca 53 %, duté částice plniva měly efektivní hustotu o velikosti 0,2 g.cm^{-3} a objemová koncentrace pigmentu byla vyšší než 80 %.

Z uvedených výsledků vyplývá, že nátěrová hmota má poměrně nízký obsah sušiny a dosti vysoký obsah pojiva. Nátěr, který z této hmoty vznikne, lze označit jako otěruvzdorný, nikoliv však za mokra, protože při otírání nátěru za mokra dochází k uvolňování bílého pigmentu.

Sálavé vlastnosti materiálů

Jak již bylo uvedeno, sálavými vlastnostmi je nutné se zabývat v případě materiálů tvořících exteriérové i interiérové povrchové vrstvy stavebních konstrukcí. Tyto vlastnosti vyjadřují jejich chování z hlediska sdílení tepla sáláním:

- směrová spektrální odrazivost (reflektance, reflexe) $\rho_{\Omega\lambda}$ [–],
- směrová spektrální pohltivost (absorptance) $\alpha_{\Omega\lambda}$ [–],
- směrová spektrální propustnost (transmitance) $\tau_{\Omega\lambda}$ [–],
- směrová spektrální emisivita (zářivost) $\varepsilon_{\Omega\lambda}$ [–].

Indexy u jednotlivých sálavých vlastností vyjadřují závislost sálavých vlastností na úhlu dopadu (index Ω) a vlnové délce (index λ).

V technické praxi se lze setkat i s pojmy transreflektance, transabsorptance nebo transmitance. Uvedené pojmy se vztahují především k povrchovým úpravám o relativně malé tloušťce, kterými je část dopadajícího záření propuštěna a dále je odražena, resp. pohlcena materiálem, na kterém je aplikována zmíněná povrchová úprava (obr. 3). V praxi se např. transreflektance uplatní tehdy, když vrstva nátěrového systému má menší tloušťku než cca 0,1 mm. V případě stanovení reflektancí nátěrů relativně malých tlouštěk je nutné se přesvědčit, že naměřené hodnoty nejsou ovlivněny vlastnostmi podkladu, na který byl nátěr aplikován. Doporučuje se, aby při stanovení reflektancí nátěrů byl jako podklad použit nevodivý materiál.

Obr. 3: Rozdíl mezi reflektancí (odrazivostí) a transreflektancí nátěrových systémů

Okrajové podmínky stanovení sálavých vlastností povrchových úprav

Pro přesné určení odrazivosti $\rho_{\Omega\lambda}$ [–], popř. dalších sálavých vlastností, je nutné stanovit okrajové podmínky, které specifikují správné vymezení této veličiny. Základní okrajovou podmínkou je interval vlnových délek elektromagnetického záření λ [μm], který popisuje specifika prostředí, v nichž jsou použity povrchové úpravy.

Předmětný interval vlnových délek λ [μm] je nejvíce ovlivněn velikostí termodynamických teplot zdrojů tepelného sálání T [K]. Z hlediska stavebních aplikací, resp. z hlediska experimentálního určení průběhu a velikosti odrazivostí povrchů stavebních materiálů, jsou zajímavé tři intervaly elektromagnetického záření:

- **Tepelné sálání převážně dlouhovlnné** (s vlnovou délkou λ od cca 2 do 25 μm, obr. 4) se uplatňuje především v interiérech obytných budov, kde jsou použita jako zdroje tepla otopná tělesa sdílející část tepelného výkonu sáláním (dle ČSN EN 442-2) o termodynamické teplotě cca 350 K.
- **Tepelné sálání převážně krátkovlnné** (s vlnovou délkou λ cca od 0,8 do 2 μm, obr. 5) se uplatňuje především v exteriérech obytných budov, kde je zdrojem tepla Slunce (T = 6000 K). Za zdroj krátkovlnného sálání jsou také považovány zdroje tepla s termodynamickou teplotou povrchu vyšší než 800 K (např. plynové zářiče o termodynamické teplotě povrchu cca 1300 K).
- **Viditelné (světelné) elektromagnetické záření** (s vlnovou délkou λ cca od 0,4 do 0,7 μm) se uplatňuje nejčastěji pro vyjádření světelné odrazivosti barevných odstínů nátěrů.

Je důležité si uvědomit, že v každém z výše specifikovaných intervalů vlnových délek nabývají sálavé vlastnosti materiálů, resp. jejich povrchů, různých velikostí, a proto je nelze vzájemně zaměňovat.

Sálavé vlastnosti materiálů v oblasti dlouhovlnného tepelného sálání

Sálavé vlastnosti materiálů v oblasti dlouhovlnného tepelného sálání jsou ovlivněny zdroji tepelného sálání (velikostí povrchové teploty, konstrukčním řešením apod.), kterými jsou v interiérech obytných budov nejčastěji otopná tělesa sdílející část tepelného výkonu sáláním (viz ČSN EN 442-2).

Přijímajícími povrchy pak jsou vnitřní povrchy stěn, stropů, podlah apod.

Sálavé vlastnosti materiálů nejsou v čase konstantní, dlouhodobým použitím dochází např. z důvodu jejich zaprášení k poklesu odrazivosti.

Sálavé vlastnosti materiálů v oblasti krátkovlnného tepelného sálání

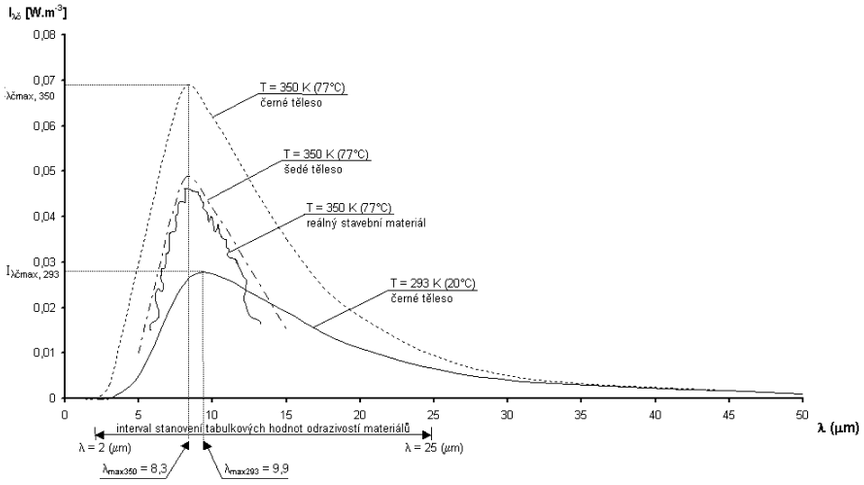
Zdrojem tepelného sálání je zde Slunce (sálání oblohy je převážně dlouhovlnné, přijímajícími povrchy jsou venkovní povrchy stavebních konstrukcí. Uvedené sálavé vlastnosti materiálů nejsou v čase konstantní.

Měřicí přístroje

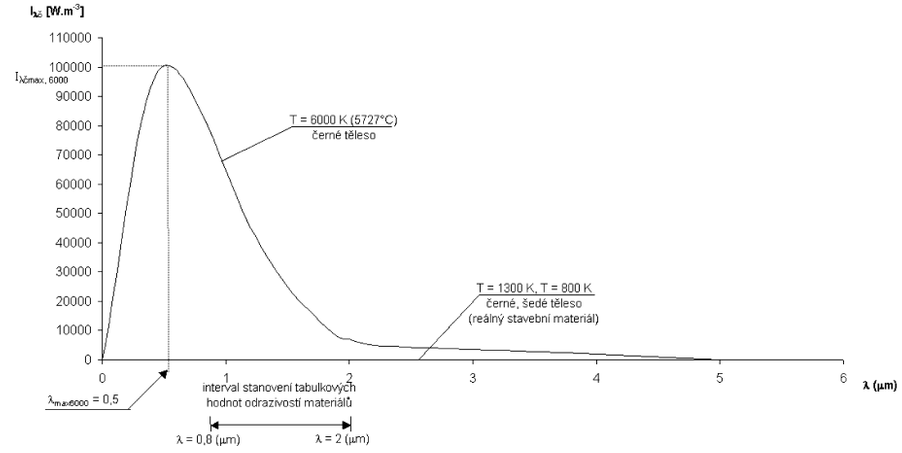
Měření byla provedena na spektrometrech Nicolet firmy Thermo Electron Corporation. Spektra v tzv. střední IČ oblasti byla měřena na spektrometrech Nicolet NEXUS a Nicolet AVATAR, vybavenými optikou z bromidu draselného, která propouští infračervené záření až do vlnové délky 25 μm, a DTGS detektorem, který je nejběžnějším detektorem pro střední infračervenou oblast (2,5–25 μm). Součástí přístroje Nicolet NEXUS byla také proměnná irisová apertura pro zúžení svazku IČ, což je důležité pro reflexní měření na nástavcích s maskami menších rozměrů.

Spektra v tzv. blízké IČ oblasti (0,8–2 μm) byla měřena na spektrometru Nicolet NEXUS uzpůsobeném pro tuto spektrální oblast (zdroj bílého světla, CaF_2 beamsplitter, detektor termoelektricky chlazený InGaAs, zeslabovací mřížka).

Difuzně reflexní spektra vybraných vzorků v blízké IČ oblasti byla za účelem porovnání s měřeními na difuzně-reflexním nástavci EzDiffTM změřena také na přístroji Nicolet ANTARIS vybaveném integrační sférou se safírovým okénkem a InGaAs detektorem, zdrojem bílého světla a CaF_2 beamsplitterem (beamsplittery z fluoridu



Obr. 4: Závislost spektrální intenzity záření $I_{\lambda\check{c}}$ [W/m³] černého tělesa na vlnové délce tepelného záření λ [μm] pro danou střední teplotu vnitřního zdroje záření, včetně označení intervalu vlnových délek typického pro interiérové podmínky obytných budov – jedna z okrajových podmínek experimentálního stanovení odrazivostí povrchových úprav $\rho_{\lambda\check{c}}$ [–]



Obr. 5: Závislost spektrální intenzity záření černého tělesa $I_{\lambda\check{c}}$ [W/m³] na vlnové délce tepelného záření λ [μm] pro danou střední teplotu vnitřního zdroje záření s označením intervalu vlnových délek typického pro exteriérové podmínky obytných budov – jedna z okrajových podmínek experimentálního stanovení odrazivostí $\rho_{\Omega\lambda}$ [–] povrchových úprav

vápenatého a detektory s čipem z InGaAs jsou v blízké IČ oblasti používané nejběžněji).

Závěr

Z výše uvedených výsledků experimentálního stanovení sálavých vlastností materiálů povrchových úprav je v obecné rovině zřejmé, že velikosti odrazivostí laboratorně používaných etalonů (hliník a zlato) a obvyklých materiálů povrchových úprav, včetně nátěrových hmot, které jejich výrobci označují jako reflexní, se zásadně liší. To platí jak pro výsledky měření v intervalu vlnových délek převážně dlouhovlnného tepelného sálání, tak v intervalu převážně krátkovlnného tepelné sálání. Nejvyšších velikostí odrazivostí ve dvou zmíněných intervalech dosahují nátěrové hmoty, jejichž plnivo je na bázi kovů. Tyto velikosti jsou v případě nátěrových hmot s plnivem z hliníkového prášku výrazně nižší než odrazivosti hliníkového etalonu. Příčinou snížení odrazivosti hliníkového prášku je přítomnost vrstvy plniva na jednotlivých zrnech jeho povrchu. Obdobné negativní dopady mající za následek podstatné snížení odrazivosti hliníku je jednak přítomnost korozních produktů (Al_2O_3) na povrchu hliníkových fólií či přítomnost protikorozních vrstev plastů (polyethylentereftelát, polypropylen) na kovových fóliích.

Porovnáme-li velikosti odrazivostí nátěrových hmot s běžným nekovovým plnivem s velikostmi odrazivosti „zlatěnek" a „stříbřenek", významně se liší. Vyšší hodnoty odrazivostí „zlatěnek" a „stříbřenek" jsou způsobeny přítomností kovových plniv, resp. významnými sálavými vlastnostmi kovů, jejichž zdůvodněním jsou rozdíly mezi energetickými dovolenými a zakázanými pásy kovových a nekovových materiálů (viz pásová teorie). Uplatníme-li tuto teorii na materiály plniv nátěrových hmot, nelze očekávat vysoké hodnoty odrazivostí ani v případě skleněných mikrokuliček či plniv na bázi keramických mikrogranulí, na něž se mnozí výrobci reflexních nátěrových hmot odvolávají jako na nositele speciálních vlastností.

V intervalu vlnových délek světelného záření je velikost odrazivosti nátěrových hmot primárně ovlivněna barevným odstínem (viz světelná odrazivost barevných odstínů dle Munsel Colour Co.) oproti materiálové podstatě součástí nátěrových hmot.

Z uvedeného textu vyplývá, že hodnoty sálavých vlastností nátěrů, které jejich výrobci spojují s výzkumy a patenty NASA, se z hlediska stavebních aplikací neliší od vlastností běžně používaných nátěrů, a proto nelze po jejich aplikaci očekávat dopad na úsporu nákladů na vytápění či chlazení obytných budov.

Nahradí-li reflexní nátěry aplikované na plášť raketoplánů klasické tepelněizolační materiály, tj. např. polystyren, minerální či skelnou vatu je otázka, na kterou jistě nalezneme odpověď v blízké budoucnosti.

Příspěvek byl napsán v rámci řešení výzkumného projektu VZ 6840770026.

ROMAN VÁVRA

Literatura:

1. Vávra, R.: Doktorská disertační práce, ČVUT Praha, Fakulta stavební, 1999.
2. Vávra, R.: Výzkumný ústav pozemních staveb – Certifikační společnost, s. r. o., výzkumný úkol Teoretické základy sdílení tepla elektromagnetickým zářením v intervalu vlnových délek tepelného sálání s transformací k okrajovým podmínkám, specifickým pro interiérové a exteriérové povrchy stavebních konstrukcí občanských a bytových staveb, Praha, 2004.
3. Vávra, R.: Výzkumný ústav pozemních staveb – Certifikační společnost, s. r. o., Výzkumný úkol Experimentální stanovení sálavých vlastností stavebních materiálů tvořících povrchové úpravy interiérových stavebních konstrukcí, včetně reflexních izolací a reflexních tepelněizolačních nátěrů pro potřeby navrhování a hodnocení stavebních konstrukcí (směrových spektrálních reflektancí, absorptancí a emisivit), Praha, 2004.
4. Vávra, R.: Výzkumný ústav pozemních staveb – Certifikační společnost, s. r. o., Výzkumný

Tabulka 1: Hodnoty sálavých vlastností vybraných materiálů – spektrálních směrových odrazivostí ($\rho_{\Omega\lambda}$), pohltivostí ($\alpha_{\Omega\lambda}$) a emisivit ($\varepsilon_{\Omega\lambda,si}$) pro okrajové podmínky vnitřního prostředí

Materiál tvořící povrch vnitřní konstrukce nebo navazující na průteplivý materiál (vzduchová mezera)	Vnitřní prostředí (od 2 do 25 μm)		
	Pohltivost (absorptance) $\alpha_{\Omega\lambda,se}$ [–]	Odrazivost (reflektance) $\rho_{\Omega\lambda,se}$ [–]	Emisivita (zářivost) $\varepsilon_{\Omega\lambda,si}$ [–]
1. Kovy s lesklým hladkým povrchem, úhel dopadu 90 ° – zrcadlový odraz			
Hliníkový laboratorní etalon (měřeno relativně proti zlatu)	0,04	0,96	0,04
Zlatý laboratorní etalon (měřeno relativně proti hliníku)		1,04	
Hliníková fólie tl. 0,095 (mm) s vrstvou plastu na povrchu (z obou stran)	0,39	0,61	0,39
2. Nekovové materiály povrchových úprav s hrubým a matným povrchem, difuzní odraz			
Papírová tapeta	0,94	0,06	0,94
Vápenný štuk (bez nátěru)	0,98	0,02	0,98
Keramika (bez glazury)	0,97	0,03	0,97
Keramika (z glazurou)	0,95	0,05	0,95
Cementový beton (bez nátěru)	0,99	0,01	0,99
Nátěry interiérové reflexní, tl. 0,2 mm	**0,98**	**0,02**	**0,98**
Nátěr, tzv. zlatěnka (RAL 0960), tl. 0,1 mm	0,92	0,08	0,92
Nátěr, tzv. stříbřenka (RAL 0910), tl. 0,1 mm	0,80	0,20	0,80
Nátěr bílé barvy (RAL 9003), tl. 0,1 mm	0,93	0,07	0,93
Nátěr barvy uhlově černé (RAL 9011), tl. 0,1 mm	0,93	0,07	0,93

Tabulka 2: Hodnoty sálavých vlastností vybraných materiálů – spektrálních směrových odrazivostí ($\rho_{\Omega\lambda}$), pohltivostí ($\alpha_{\Omega\lambda}$) a emisivit ($\varepsilon_{\Omega\lambda,si}$) pro okrajové podmínky vnějšího prostředí

Materiál tvořící povrch vnější konstrukce	Vnější prostředí (od 0,8 do 2 μm)		
	Pohltivost (absorptance) $\alpha_{\Omega\lambda,se}$ [–]	Odrazivost (reflektance) $\rho_{\Omega\lambda,se}$ [–]	Emisivita (zářivost) $\varepsilon_{\Omega\lambda,si}$ [–]
1. Kovy s lesklým hladkým povrchem, úhel dopadu 90 ° – zrcadlový odraz			
Hliníkový laboratorní etalon (měřeno relativně proti zlatu)	0,16	0,84	0,16
Zlatý laboratorní etalon (měřeno relativně proti hliníku)		1,2	
Hliníková fólie tl. 0,095 (mm) s vrstvou plastu na povrchu (z obou stran)	0,39	0,61	0,39
2. Nekovové materiály povrchových úprav stěn a střech s hrubým nebo matným povrchem, difuzní odraz			
Vápenný štuk (bez nátěru)	0,98	0,02	0,98
Cementový beton (bez nátěru)	0,99	0,01	0,99
Keramika bez glazury/s glazurou	0,99/0,97	0,01/0,03	0,99/0,97
Nátěr exteriérový reflexní, tl. 0,1 mm	**0,99**	**0,01**	**0,99**
Nátěr, tzv. zlatěnka (RAL 0960), tl. 0,1 mm	0,91	0,09	0,91
Nátěr, tzv. stříbřenka (RAL 0910), tl. 0,1 mm	0,9	0,1	0,9
Nátěr bílé barvy (RAL 9003), tl. 0,1 mm	0,93	0,07	0,93
Omítky tenkovrstvé	0,99	0,01	0,99

úkol Experimentální stanovení sálavých vlastností stavebních materiálů tvořících povrchové úpravy exteriérových stavebních konstrukcí, včetně reflexních izolací a reflexních tepelně izolačních nátěrů pro potřeby navrhování a hodnocení stavebních konstrukcí (směrových spektrálních reflektancí, absorptancí a emisivit), Praha, 2005.

*Ing. Roman Vávra, Ph. D. (*1972) pracuje od roku 1995 v na centrále a. s. Metrostav jako specialista úseku výrobně-technického ředitele. Je absolventem FS ČVUT v Praze, kde na Katedře stavebních hmot přednáší předmět Nauka o materiálech. Je také spoluautorem knihy Stavební hmoty (Jaga 2004), ČSN 73 0540-3/2005 a vedoucím řešitelem několika výzkumných úkolů.*