

PŘÍPRAVA A CHARAKTERIZACE HNĚDÝCH NIR PIGMENTŮ TYPU $\text{SrSn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$

HROCH J.*, DOHNALOVÁ Ž.

Univerzita Pardubice, Fakulta chemicko-technologická, jan.hroch@student.upce.cz

Práce autorů je zaměřena na syntézu a charakterizaci perovskitových pigmentů odvozených od základní struktury SrSnO_3 . Ačkoliv pigmenty založené na struktuře perovskitových směsných oxidů již patří mezi komerční anorganické pigmenty, není v literatuře publikováno velké množství článků zabývajících se hodnocením jejich schopnosti odrážet NIR záření. Navíc téměř všechny publikované články se týkají perovskitových pigmentů s obsahem iontů vzácných zemin, což činí tyto materiály pro průmyslové aplikace ekonomicky problematické. Cílem práce bylo tedy využít částečné substituce cínu manganem a prozkoumat vliv kalcinační teploty na fázové složení pigmentů typu $\text{SrSn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$, jejich barevné vlastnosti, distribuci velikosti pigmentových částic a schopnost odrážet NIR záření.

1 Úvod

Anorganické barevné pigmenty mají velmi široké uplatnění v oblastech pro dekorativní a ochranné nátěry, např. pro barvení nátěrových hmot, keramiky a stavebních materiálů, plastů, kovů, aj. Vyznačují se velmi dobrou chemickou i tepelnou stabilitou. V posledních letech je však výrazně větší pozornost věnována anorganickým pigmentům, které mají navíc schopnost odrážet NIR složku slunečního záření [1,2]. Sluneční energie, která dopadne na zemský povrch, obsahuje přibližně 5 % ultrafialového záření ($\lambda = 200\text{--}400\text{ nm}$), 43 % viditelného záření ($\lambda = 400\text{--}700\text{ nm}$) a 52 % blízkého infračerveného záření ($\lambda = 700\text{--}2500\text{ nm}$). Je známo, že poslední zmiňovaná oblast záření způsobuje ohřev a akumulaci tepla na povrchu budov, chodníků a střech. Toto teplo významně přispívá k tvorbě městských tepelných ostrovů, které se vyznačují teplotou vyšší, než je teplota okolí. Pro snížení akumulace tepla lze použít právě anorganické pigmenty s vysokou odrazivostí v NIR oblasti, které se označují jako tzv. cool pigmenty [3]. Tyto pigmenty svým účinkem přispívají též k úspoře energie, která by byla jinak zužitkována klimatizačními jednotkami na ochlazení prostor budov [4].

2 Experimentální část

2.1 Syntézní postup

Barevné pigmenty typu $\text{SrSn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ byly připraveny reakcí v pevné fázi podpořenou mokrou mechanoaktivací vstupních surovin. Rozsah substituce charakterizují hodnoty $x = 0,1\text{--}0,5$. Jako výchozí suroviny pro přípravu perovskitových pigmentů byly použity: SrCO_3 (99,9%, Sigma – Aldrich, Itálie), SnO_2 (99%, Shepherd Color Company, USA) a MnO_2 (99%, Lachema Brno, Česká republika). Po homogenizaci stechiometrického množství výchozích surovin v třecí misce byly reakční směsi podrobeny mechanoktivaci v planetovém mlýně Pulverisette 5 (Fritsch, Německo) v prostředí etanolu a mlecích achátových tělísek o průměru 1 cm v hmotnostním poměru 1:10 (vzorek: mlecí tělesa). Doba mletí byla 5 hodin při rychlosti otáček 200 rpm. Aktivované reakční směsi byly následně podrobeny kalcinaci při teplotách 1 050 °C, 1 200 °C, 1 300 °C a 1 400 °C. Rychlost ohřevu byla 10 °C/min a zadrž na dané teplotě 4 hodiny. Kalcinované vzorky byly poté rozmělněny ve vibračním mlýnu po dobu 15 sekund a připraveny pro studium pigmentových vlastností.

2.2 Charakterizace použitých technik

Fázové složení pigmentů bylo zkoumáno rentgenovou difrakční analýzou difraktometrem MiniFlex 600 (Rigaku, Japonsko), který je vybaven zdrojem rentgenového záření mědi, vertikálním goniometrem a vysokorychlostním 1D detektorem D/TEX Ultra. Přístroj Mastersizer 2000/MU (Malvern Instruments, VB), využívající rozptylu dopadajícího světla na částicích, byl použit pro analýzu distribuce velikosti pigmentových částic. Měřený signál byl vyhodnocen dle Mieho teorie.

Všechny pigmenty byly aplikovány do organického pojivového systému Luxol (Akzo Nobel Coatings CZ, Česká republika) v plném tónu. Ze suspenze obsahující 0,4 g pigmentu a 1 cm³ pojiva byl za pomoci Birdova aplikátoru s velikostí štěrby 100 μm vytvořen film, který byl podroben měření spektrální odrazivosti ve viditelné oblasti

(400–700 nm). Měření bylo provedeno spektrofotometrem UltraScan VIS (Hunterlab, USA) s geometrií měření d/8°. Barevné parametry byly vyhodnoceny v systému CIE L*a*b* (1976). Parametr L* popisuje světlost nebo tmavost barvy a nabývá hodnot 0 (černá) až 100 (bílá). Barevný odstín vyjadřují souřadnice a* (osa červená–zelená) a souřadnice b* (osa žlutá–modrá). K plnému popisu barvy se provádí dopočet hodnoty S, která určuje sytost barvy a spočítá se podle následujícího vztahu (1):

$$S = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

Difúzní odrazivost pigmentů v oblasti NIR byla změřena za pomoci spektrofotometru UV 3600 Plus (Shimadzu, Japonsko). Jako referenční materiál odrazivosti byl použit standard BaSO_4 . Práškové vzorky byly měřeny v oblasti vlnové délky 700–1 650 nm. Z naměřených odrazivostí vzorku byla solární odrazivost přepočtena podle normy ASTM G Standard 173–03 (rovnice 2).

$$R^* = \frac{\int_{700}^{1650} r(\lambda) \cdot i(\lambda) d\lambda}{\int_{700}^{1650} i(\lambda) d\lambda} \quad (2)$$

kde $r(\lambda)$ je experimentálně získaná odrazivost z experimentu a $i(\lambda)$ je standardní sluneční spektrum ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mm}^{-1}$) získané z ASTM Standard G 173-03.

3 Výsledky

3.1 Rentgenová difrakční analýza

Fázové složení připravených materiálů je zobrazeno v tab. 1. Z této tabulky je zřejmé, že kalcinační teplota 1 050 °C je nedostatečná pro zreagování výchozích surovin a tvorbu jednofázového produktu. Pro substituci $x = 0,1$ byly zjištěny 3 fáze, kterými jsou nezreagovaný SnO_2 , perovskitový směsný oxid SrSnO_3 a spinelový směsný oxid Sr_2SnO_4 . Větší množství substituívaných iontů při této teplotě poskytuje 4 fáze, kterými jsou SnO_2 , SrSnO_3 , Sr_2SnO_4 a dále ještě druhý perovskitový směsný oxid SrMnO_3 . Difraktogram při teplotě 1 200 °C a substituci $x = 0,1$ prokázal vznik jednofázového produktu, jehož linie byly přiřazeny SrSnO_3 (JPDF 01-081-2514). Stejná fáze byla potvrzena i při vyšších teplotách kalcinace, 1 300 °C i 1 400 °C. Vzhledem k tomu, že na difraktogramech nebyly zaznamenány žádné další linie, lze vyvodit závěr, že za daných teplot dochází k zabudování iontů Mn^{4+} do struktury SrSnO_3 a vzniku pevného roztoku $\text{SrSn}_{0,9}\text{Mn}_{0,1}\text{O}_3$. Výsledky při vyšším rozsahu substituce ($x \geq 0,2$) však prokázaly, že ani teplota 1 400 °C není dostatečná pro tvorbu jednofázových produktů. I při této teplotě byly nalezeny dvě fáze, které odpovídaly dvěma perovskitovým strukturám SrSnO_3 (JPDF 01-081-2514) a SrMnO_3 (JPDF 00-024-1213).

3.2 Barevné vlastnosti pigmentů

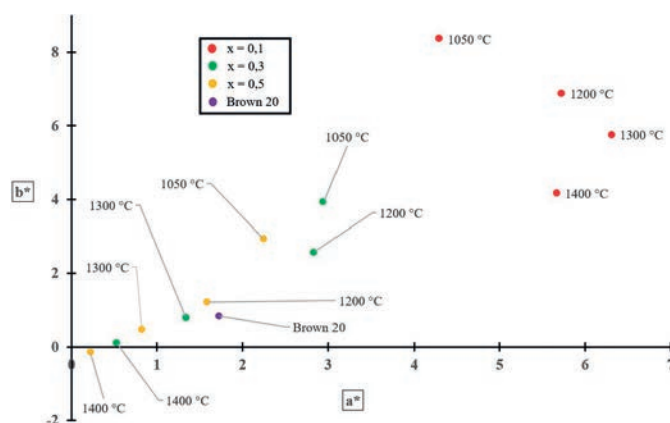
Barevné souřadnice a* a b* pigmentů $\text{SrSn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ jsou graficky znázorněny na obr. 1. Kromě grafického znázornění jsou další barevné charakteristiky uvedeny v tab. 2. Zavedení iontů Mn^{4+} do struktury SrSnO_3 má za následek změnu vybarvení a aplikačních schopností. Z původního bílého, málo kryvého SrSnO_3 vznikají v závislosti na množství substituívaných iontů a stupni zreagování šedo-zelené až hnědé pigmenty. Rostoucí rozsah substituce Mn^{4+} za Sn^{4+} způsobuje snížení barevné souřadnice a*, což vypovídá o snížení příspěvku červeného

Tab. 1: Fázové složení pigmentů $\text{SrSn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ připravených při různých teplotách

Substituce x	T [°C]	Detekované fáze
0,1	1050	SrSnO_3 , SnO_2 , Sr_2SnO_4
	1200	SrSnO_3
	1300	SrSnO_3
	1400	SrSnO_3
0,3	1050	SrSnO_3 , SnO_2 , Sr_2SnO_4 , SrMnO_3
	1200	SrSnO_3 , SrMnO_3
	1300	SrSnO_3 , SrMnO_3
	1400	SrSnO_3 , SrMnO_3
0,5	1050	SrSnO_3 , SnO_2 , Sr_2SnO_4 , SrMnO_3
	1200	SrSnO_3 , SrMnO_3
	1300	SrSnO_3 , SrMnO_3
	1400	SrSnO_3 , SrMnO_3

odstínu. Stejný trend byl zjištěn též u barevné souřadnice b^* , jejíž pokles vyjadřuje snižování příspěvku žlutého odstínu. Při teplotě kalcinace 1400 °C a substituci $x = 0,5$ příspěvek žlutého odstínu úplně vymizel a projevil se příspěvek modrého odstínu, což dokazuje posun souřadnice b^* do záporných hodnot ($b^* = -0,2$). Zvyšující se podíl vnesených iontů Mn^{4+} tedy posouvá souřadnice a^* a b^* do středu barevnostního kříže na obr. 1 a způsobuje tím pokles sytosti. Současně dochází také k tmavnutí vzorků, o čemž svědčí klesající charakter hodnot jasu L^* . Z obr. 1 je dále patrné, že všechny hnědé pigmenty s obsahem Mn^{4+} $x = 0,1$ mají hodnoty souřadnic a^* , b^* bez ohledu na kalcinační teplotu blízko sebe, ale ve vzdálenější pozici od ostatních pigmentů. To lze připsat jednofázovému složení vzorků $\text{SrSn}_{0,9}\text{Mn}_{0,1}\text{O}_3$ při teplotách 1200–1400 °C. V souvislosti s teplotou kalcinace popisují barevné souřadnice změnu výsledné barvy pigmentů v posloupnosti, která se pohybuje od zelenošedé (při teplotě 1050 °C) přes čokoládově hnědou (1200–1300 °C) do tmavě hnědé (1400 °C). Současně také dochází k poklesu sytosti S a snížení jasu. Nejvýraznější tmavnutí vzorků spojené s rostoucí teplotou kalcinace bylo zaznamenáno změnou hodnoty L^* při substituci $x = 0,1$, a to snížením z 36,68 na 29,02.

Připravené pigmenty byly z hlediska barevných vlastností porovnávány s komerčním pigmentem hnědé barvy s označením Brown 20 (Shephard Color Company, USA). Jedná se také o směsný oxidický pigment, ale odlišného složení. Z obr. 1 je patrná nejlepší podobnost některých připravených pigmentů s pigmentem Brown 20, jehož výslednou barvu charakterizují L^* , a^* , b^* souřadnice ($L^* = 26,9$, $a^* = 1,7$, $b^* = 0,8$). Nejméně okem rozlišitelné barevné rozdíly mezi nově připravenými pigmenty a komerčním pigmentem vyjadřují hodnoty $\Delta E^*_{\text{CIE}} \leq 1,5$. Takové barevné difference byly zaznamenány pro vzorky $x = 0,5$ (1300 °C) a $x = 0,3$ (1300 a 1400 °C). Největší barevné difference byly zjištěny u vzorku $x = 0,1$, neboť toto složení je spojeno se vznikem čokoládově hnědých odstínů, zatímco Brown 20 je pigmentem spíše tmavě hnědým až hnědočerným.

Obr. 1: Grafické znázornění barevných souřadnic a^* a b^* pro pigmenty $\text{SrSn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ kalcinované při různých teplotáchTab. 2: Barevné vlastnosti pigmentů $\text{SrSn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ po aplikaci do organického pojivového systému

Substituce x	T [°C]	L^*	S	ΔE^*_{CIE}	
Brown 20	-	26,9	1,92	-	
	0,1	1050	36,68	9,40	12,61
		1200	32,36	8,95	9,07
		1300	30,78	8,54	7,77
1400		29,02	7,02	5,58	
0,3	1050	30,32	4,90	4,76	
	1200	28,91	3,82	2,87	
	1300	27,57	1,55	0,78	
	1400	27,00	0,54	1,41	
0,5	1050	29,02	3,69	3,02	
	1200	28,40	2,00	1,55	
	1300	27,66	0,95	1,24	
	1400	27,66	0,27	1,95	

3.3 Distribuce velikostí částic

Velikost částic výrazně ovlivňuje barevné vlastnosti pigmentů, neboť určuje interakci mezi částicemi a dopadajícím zářením. Proto byly všechny připravené vzorky podrobeny analýze distribuce velikosti částic. Velmi důležitou hodnotou, která charakterizuje velikost částic pigmentů a určuje použitelnost pigmentů pro různé aplikace je nejen střední hodnota d_{50} , ale také d_{90} , viz tab. 3. Pro srovnání pigmentů $\text{SrSn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ s komerčním pigmentem byla analyzována také distribuce velikosti částic Brown 20. Z tab. 3 je tak patrné, že připravené pigmenty mají nižší hodnoty d_{50} při teplotách 1050, 1200 a 1300 °C než komerční pigment. Střední hodnoty velikosti částic připravených pigmentů se pohybují v rozmezí 1,2–3,2 μm . Nejvyšší hodnoty d_{50} byly získány při všech substitucích x a teplotě 1400 °C (2,5–3,2 μm). Horní decil velikosti částic d_{90} žádného pigmentu není vyšší než 15 μm , což je hranice aplikovatelnosti pigmentů do keramických glazur. Pro aplikace do organických pojivových systémů by bylo vhodné zúžit šířku distribuce velikosti částic a snížit hodnotu d_{50} pod 2 μm vhodným typem mletí. Rovněž z hlediska solární reflektivity by velikost částic pigmentů měla být stejná nebo nižší, než je vlnová délka dopadajícího záření, tedy pod 1,25 μm .

Tab. 3 – Distribuce velikosti částic pigmentů $\text{SrSn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$

Substituce x	T [°C]	d_{10} [μm]	d_{50} [μm]	d_{90} [μm]	
Standard Brown 20	-	1,04	2,72	8,76	
	0,1	1050	0,41	1,19	13,14
		1200	0,40	1,17	11,93
		1300	0,52	1,25	3,33
1400		0,77	2,88	5,15	
0,3	1050	0,43	1,38	13,44	
	1200	0,42	1,35	12,53	
	1300	0,59	1,53	4,19	
	1400	1,03	2,54	7,01	
0,5	1050	0,39	1,30	9,83	
	1200	0,43	1,45	12,50	
	1300	0,62	1,85	5,18	
	1400	1,19	3,15	8,12	

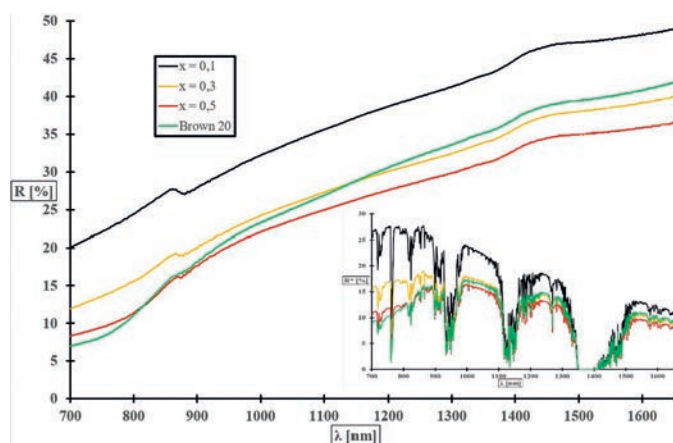
3.4 Odrazivost v blízké infračervené oblasti

Spektra reflektivity vzorků (1200 °C) a standardního komerčního pigmentu Brown 20 v blízké infračervené oblasti (700–1650 nm) jsou zobrazena na obr. 2. Skok zaznamenaný při vlnové délce cca 870 nm je způsoben výměnou detektoru. Ve výřezu obr. 2 je pak uveden záznam

Dokončení na další str.

solární odrazivosti pigmentů, který byl vyhodnocen na základě normy ASTM G Standard 173–03. Na spektrech solární odrazivosti je patrný silný absorpční pás v rozmezí vlnové délky 1350–1410 nm. Současně je možné pozorovat u všech vzorků, že solární odrazivost se snižuje od vlnové délky 1000 nm do 1650 nm, což však nesnižuje kvalitu pigmentů, neboť největší ohřev povrchů způsobuje absorpce záření v rozsahu vlnových délek 700–1100 nm. Nejvyšší odrazivost z pigmentů připravených při teplotě 1200 °C, včetně pigmentu Brown 20, vykazuje vzorek $x = 0,1$, což bylo také potvrzeno výpočtem celkových solárních odrazivostí (tab. 4). Hodnoty se pohybují v rozmezí 21–40 %. Z tabulky je patrné, že nevhodnější substituce x je 0,1. Toto množství poskytuje nejvyšší hodnoty solární odrazivosti při všech teplotách výpalu (31–40 %). Dále je patrné, že s rostoucí teplotou kalcinace dochází k významnému poklesu solární odrazivosti všech vzorků, což může souviset s morfologickými vlastnostmi pigmentů, zejména s distribucí velikostí částic. Při všech teplotách kalcinace se dále projevuje vliv zvýšeného množství manganu dodaného do systému, který má za následek snížení solární odrazivosti. To lze přisoudit fázovému složení vzorků. Fázová čistota pigmentu $\text{SrSn}_{0,9}\text{Mn}_{0,1}\text{O}_3$ způsobuje nejvyšší hodnoty solární reflektivity, převyšující významně též kvalitu pigmentu Brown 20. Přesto lze konstatovat, že i většina připravených pigmentů vykazovala vysokou solární odrazivost v daném rozsahu záření, což z nich dělá zajímavé kandidáty na cool pigmenty.

Obr. 2: NIR odrazivosti a NIR solární odrazivosti v oblasti 700–1650 nm při teplotě kalcinace 1200 °C



4 Závěr

Závěrem lze říct, že reakci v pevné fázi podpořené mokrou mechanoaktivací v prostředí etanolu byly připraveny anorganické pigmenty, jejichž bezproblémové složení z hlediska vlivu na životní prostředí vystihuje obecný vzorec $\text{SrSn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ ($x = 0,1-0,5$). Pigmenty vykazují barevné odstíny od zelenošedého, přes čokoládově hnědý až po tmavě hnědý v závislosti na fázovém složení, a tedy i teplotě kalcinace. Jednofázový produkt byl potvrzen pouze v případě substituce $x = 0,1$. Již při kalcinační teplotě 1200 °C byl rentgenovou difrakční analýzou potvrzen vznik pevného roztoku $\text{SrSn}_{0,9}\text{Mn}_{0,1}\text{O}_3$. Střední hodnota velikosti částic vzorků se pohybuje v rozmezí 1,2–3,2 μm . Pigmenty byly testovány z hlediska jejich schopnosti odrážet sluneční záření,

PRVNÍ PEROVSKITOVÝ LUMINISČENČNÍ SOLÁRNÍ KONCENTRÁTOR BEZ OLOVA

První luminiscenční solární koncentrátor (LSCs) založený na bezolovnatých perovskitových nanokrystalech vyvinuli vědci z **Českého institutu výzkumu a pokročilých technologií Univerzity Palackého** (CATRIN) ve spolupráci s kolegy z **Univerzity Friedricha Alexandra** v německém Erlangenu, **VUT v Brně** a **VŠB – Technické univerzity Ostrava**. Unikátní řešení překonává

nevýhody dosavadních perovskitových zařízení pro získávání sluneční energie, jimiž je zejména přítomnost olova a nízká stabilita.

LSCs jsou zařízení schopná absorbovat sluneční záření a koncentrovat je na svých okrajích, kde následně dochází k jeho přeměně na elektrickou energii pomocí zabudovaného solárního článku. „Díky vysoce luminiscenčním a koloidně stabilním bezolovnatým perovskitovým nanokrystalům, které jsme vyvinuli v naší skupině Fotoelektronomie, jsme mohli zkonstruovat dostatečně transparentní solární koncentrátor, který svými parametry připomíná klasické okno,“ vysvětlil korespondenční autor studie Štěpán Kment. Článek

publikoval časopis **Americké chemické společnosti ACS Applied Energy Materials**.

Další velkou výhodou nového LSC je absence olova, které se u tohoto typu perovskitových nanokrystalů stále dominantně používá, ale zároveň přináší značné environmentální a zdravotní komplikace.

Výzkumný tým rovněž zúročil své zkušenosti s konstrukcí LSC z minulého roku. Autoři tehdy využili jiný druh luminiscenčních OD nanomateriálů, uhlíkových teček, k tvorbě tandemového LSC. Výsledky zveřejnil časopis *Nanoscale*.

» www.upol.cz

Tab. 4: Celkové NIR solární odrazivosti vzorků $\text{SrSn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ v rozsahu 700–1650 nm

Substituce x	T [°C]	0,1	0,3	0,5
R^* [%]	1050	39,7	29,9	31,0
	1200	31,4	22,9	19,8
	1300	32,8	14,8	12,6
	1400	31,0	8,7	5,8
	Brown 20		21,0	

zejména oblast blízkého infračerveného záření. Výzkum potvrdil, že většina připravených pigmentů vykazuje vyšší solární odrazivost než běžný pigment, komerční pigment Brown 20. Zejména pak jednofázový pevný roztok $\text{SrSn}_{0,9}\text{Mn}_{0,1}\text{O}_3$ čokoládově hnědé barvy vykazuje hodnotu R^* v rozsahu 700–1650 nm téměř 40 %. Připravené pigmenty lze doporučit k aplikačnímu využití jako cool pigmenty pro střešní materiály a fasádní barvy.

Poděkování: Tato práce vznikla za podpory IGA Univerzity Pardubice s označením projektu SGS_2021_006.

5 Literatura

- [1] Hosseini, S., Ghasemi, E.: Synthesis and characterization of hybrid $\text{MgAl-LDH}@SiO_2@CoAl_2O_4$ pigment with high NIR reflectance for sustainable energy saving applications. *Appl. Clay Sci.*, 2020, 193, s. 105674.
- [2] Schildhammer, D. et al.: Synthesis and optical properties of new highly NIR reflective inorganic pigments $\text{Re}_6\text{Mo}_2\text{O}_{15}$ (RE = Tb, Dy, Ho, Er). *Dyes Pigm.*, 2017, 140, s. 22–28.
- [3] Raj, A.K.V., Prabhakar Rao, P., Divya, S., Ajuthara, T. R.: Terbium doped Sr_2MO_4 [M=Sn and Zr] yellow pigments with high infrared reflectance for energy saving applications. *Powder Technol.*, 2017, 311, s. 52–58.
- [4] Malshe, V.C., Bendiganavale, A.K.: Infrared reflective inorganic pigments. *Recent. Pat. Chem. Eng.*, 2008, 1, s. 67–79.

Abstract

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF BROWN NIR PIGMENTS OF THE $\text{SrSn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ TYPE

Summary: This work is focused on preparation, characterization and evaluation of the optical properties of $\text{SrSn}_{1-x}\text{Mn}_x\text{O}_3$ perovskite pigments. The pigments were synthesised by solid state reaction with support of wet mechanoactivation of initial reagents in ethanol environment. All prepared samples were applied into the organic matrix. Depending on the calcining temperature and amount of manganese ions, the colour hues of prepared pigments are grey-green to dark brown. The samples were characterised in the terms of particle size distribution and phase composition. In general, values of d_{50} move in the range of 1,2–3,2 μm . Single-phase product was prepared only in the case of $\text{SrSn}_{0,9}\text{Mn}_{0,1}\text{O}_3$ by calcination at the temperature of 1200 °C and higher. The pigments provide high values of solar reflectivity, mostly $R^* \geq 20\%$, in the range of NIR 700–1650 nm. Furthermore, the solid solution of $\text{SrSn}_{0,9}\text{Mn}_{0,1}\text{O}_3$ (1200 °C) is able to reflect almost 40 % of solar radiation and can be recommended for outdoor application as a cool pigment.

Keywords: cool pigments, perovskite, optical properties, doped SrSnO_3 , solar reflectivity