

Wpływ dodatków na właściwości reologiczne i proces sedymentacji atramentów ceramicznych, przeznaczonych do druku cyfrowego

DR INŻ. AGNIESZKA ANTOSIK

SIEĆ BADAWCZA ŁUKASIEWICZ – INSTYTUT CERAMIKI I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH, ODDZIAŁ CERAMIKI I BETONÓW W WARSZAWIE

1. WPROWADZENIE

Współczesne wymagania dotyczące obniżenia kosztów wytwarzania wyrobów ceramicznych, ochrony środowiska, jak i podniesienia walorów estetycznych gotowych produktów, zmuszają do poszukiwania nowych rozwiązań technologicznych, pozwalających im sprostać. Problem ten dotyczy również zdobienia takich materiałów, dla których wciąż poszukuje się nowych, przyjaznych środowisku środków zdobniczych, jak również bardziej wydajnych i precyzyjnych metod ich nanoszenia.

Odpowiedzią na takie oczekiwania jest pojawienie się w ostatnich latach dekoracji wyrobów ceramicznych nanoszonych metodą druku cyfrowego [1, 2]. Główną zaletą druku cyfrowego w porównaniu do tradycyjnych sposobów zdobienia, jest większa precyzja i powtarzalność odwzorowania kształtu (wysoka rozdzielczość otrzymanych obrazów), jak również znacznie mniejsze zużycie środków zdobniczych wykorzystywanych do dekoracji oraz krótszy czas drukowania [3]. W porównaniu do stosowanego dotąd sitodruku, w druku cyfrowym występuje ograniczenie ilości stosowanych związków organicznych, co związane jest z wyeliminowaniem konieczności czyszczenia sit po procesie drukowania. Skutkiem tego jest ograniczenie ilości ścieków organicznych, a co za tym idzie, również pozytywny wpływ na ochronę środowiska. Za pomocą druku cyfrowego odwzorować można dowolny obraz, co przekłada się na znaczne korzyści w szerokim zakresie zastosowań przemysłowych. Dodatkową zaletą jest możliwość szybkiego wprowadzania nowych wzorów i produktów [4]. Wszystko to sprawia, że w ostatnich latach obserwuje się rosnący nacisk producentów płytek ceramicznych na wdrażanie w ich zakładach technologii druku cyfrowego na bazie produktów krajowych. To z kolei wiąże się z koniecznością opracowania środków zdobniczych, przeznaczonych dla tej techniki dekoracji, tj. atramentów ceramicznych.

Zagadnienia dotyczące ustalania składu zawiesin ceramicznych do druku cyfrowego omawiane są w zagranicznych ośrodkach badawczych już od kilku lat, co wynika z dużego zapotrzebowania przemysłu ceramicznego (głównie przemysłu zajmującego się produkcją płytek ceramicznych) na te materiały. Okazuje się, że konwencjonalne środki dekoracyjne, takie jak pigmenty oraz powstające na ich bazie farby ceramiczne, które przez wiele wieków niezmiennie

dr inż. Agnieszka Antosik



Absolwentka Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej. Od 2018 r. pracownik Sieci Badawczej ŁUKASIEWICZ – Instytutu Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Oddział Ceramiki i Betonów w Warszawie.

Na co dzień prowadzi badania związane z opracowywaniem materiałów ceramicznych oraz środków zdobniczych do zastosowań przemysłowych. Szczególne miejsce wśród jej zainteresowań naukowych zajmują środki zdobnicze, przeznaczone do druku cyfrowego.

e-mail: a.antosik@icimb.pl

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących wpływu wybranych dodatków organicznych na właściwości reologiczne i proces sedymentacji zawiesin ceramicznych, przeznaczonych do druku cyfrowego. Jako bazę zastosowano czarny pigment o składzie pierwiastkowym Co-Ni-Fe-Cr, zawieszony w oleju napędowym, przy czym zawartość pigmentu wynosiła 30% wag. W ramach badań przetestowano dwa komercyjnie dostępne dodatki o właściwościach stabilizujących i zwilżających powierzchnię pigmentu w zawiesinie. Za każdym razem ilość dodatku w stosunku do pigmentu wynosiła od 0 do 5% wag. Wyniki przeprowadzonych badań wykazały, że zastosowanie odpowiednich dodatków organicznych wpływa korzystnie na dyspergowanie cząstek pigmentu w zawiesinie oraz zmianę właściwości reologicznych płynu, co ma bezpośredni wpływ na poprawę stabilności zawiesin ceramicznych w czasie. Najlepsze rezultaty otrzymano dla atramentów z dodatkiem 2 i 5% wag. środka BYKJET 9142 oraz 5% wag. środka ANTI-TERRA-U 100.

SUMMARY

Role of additives on rheological behaviour and stabilization process of ceramic inks for digital printing application

The paper presents results concerning influence of selected organic additives on the rheological properties and sedimentation process of ceramic suspensions dedicated to ink jet printing decoration of ceramic tiles. As a solid phase the black Co-Ni-Fe-Cr pigment suspended in the diesel oil was used. The pigment content was 30 wt%. In research 2 commercially available additives with wetting and dispersing properties of oilborne fluid were tested. In all cases the content of additive was from 0 to 5 wt% in respect to solid phase.

It was shown that application of appropriate organic additives lead to the dispersion of pigment particles in the suspension and the change in rheological properties of the fluid, and in so doing improving of stability of ceramic suspension over time. The best results were obtained for suspensions with 2 and 5 wt% of BYKJET 9142 and 5 wt% of ANTI-TERRA-U 100.

SŁOWA KLUCZOWE

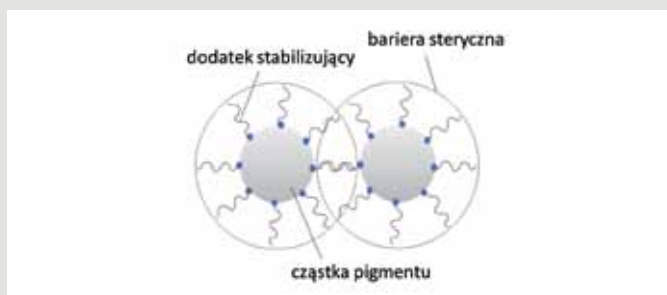
atrament ceramiczny, stabilizacja steryczna, właściwości reologiczne, surfaktant, pigment ceramiczny

KEYWORDS

ceramic ink, steric stabilization, rheological behaviour, surfactant, ceramic pigment

skutecznie spełniały swoją funkcję, nie nadają się do dekoracji ceramiki techniką druku cyfrowego [5]. Konieczność opracowania nowych metod i materiałów zdobniczych wynika z pojawienia się nowych wymagań wobec właściwości zawiesin ceramicznych stosowanych w tej technice zdobienia [6]. Atramenty ceramiczne powinny odznaczać się odpowiednią lepkością – w zakresie 4–40 mPas i gęstością wynoszącą od 1,1 do 1,5 g/cm³, co umożliwi swobodny przepływ cieczy w kanałach głowicy drukującej [7–9]. Dzięki odpowiedniej konsystencji jesteśmy w stanie otrzymać krople o określonych rozmiarach i wyraźne punkty na powierzchni płytki. Dodatkowo, cząstki fazy stałej w zawieszynie powinny mieć odpowiedni potencjał elektrokinetyczny (potencjał $\zeta \geq |30|$ mV), umożliwiający stabilizację cząstek w zawieszynie, ale przede wszystkim odpowiednie uziarnienie (korzystnym jest, aby uziarnienie było poniżej 1 μm) [9, 10]. Dużym wyzwaniem jest również zwiększenie stabilności zawiesin ceramicznych w czasie [11–13].

Cząstki pigmentu, początkowo występujące w postaci pojedynczych krystalitów lub subkrystalitów, po wprowadzeniu do medium ciekłego, ze względu na oddziaływania międzycząsteczkowe, wykazują silne wzajemne powinowactwo [14]. Im cząstki są mniejsze, tym siła oddziaływań międzycząsteczkowych jest większa i wykazują one większą tendencję do aglomeracji, a w konsekwencji sedymentacji. Wpływa to znacznie na zmianę właściwości użytkowych atramentów w czasie oraz znacznie skraca ich „żywność”. Z danych literaturowych wynika, że zastosowanie odpowiednich dodatków organicznych może przyczynić się do ograniczenia wpływu przyciągających sił van der Waalsa, a tym samym do deaglomeracji cząstek pigmentu, co prowadzi do poprawy stabilności zawieszyny [15–18]. Dzieje się tak za sprawą adsorpcji cząsteczek związków organicznych na powierzchni cząstek ceramicznych i tworzeniu się tzw. warstwy sterycznej, uniemożliwiającej łączenie się cząstek pigmentu w aglomeraty (rys. 1).



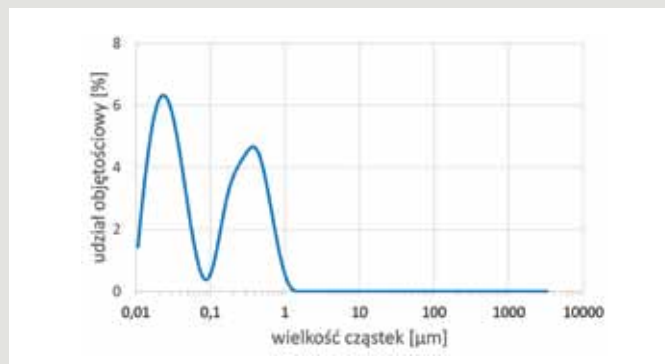
Rys. 1. Schemat tworzenia się warstwy sterycznej.

Z powyższych względów w pracy przeanalizowano wpływ wybranych dodatków o właściwościach stabilizujących i zwilżających powierzchnię pigmentu ceramicznego na właściwości reologiczne oraz proces sedymentacji atramentów ceramicznych przeznaczonych do druku cyfrowego.

2. MATERIAŁY

Do badań zastosowano czarny pigment o składzie pierwiastkowym Co-Ni-Fe-Cr, dostarczony przez Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych Oddział w Warszawie. Gęstość proszku wynosiła 4,30 g/cm³. Pigment wstępnie zmielono w młynie perleńkowym MiniCer firmy Netzsch. Po procesie mielenia charakteryzował się on bimodalnym rozkładem wielkości cząstek, gdzie $D_v(99) = 0,882 \mu\text{m}$ (rys. 2).

Gęstość proszku wyznaczono metodą piknometryczną za pomocą aparatu PZPM 3030 firmy Zehntner, natomiast rozkład



Rys. 2. Rozkład uziarnienia badanego pigmentu.

wielkości cząstek zmierzono za pomocą aparatu Mastersizer 3000 firmy Malvern Instruments. Stężenie pigmentu we wszystkich przypadkach wynosiło 30% wag.

Fazę ciekłą stanowił olej napędowy, wykazujący właściwości reologiczne typowe dla cieczy newtonowskich i charakteryzujący się lepkością 0,75 Pa·s w temperaturze 25°C.

W ramach badań przetestowano dwa komercyjnie dostępne dodatki organiczne przeznaczone do stabilizacji cząstek pigmentu w atramentach ceramicznych, w celu przeciwdziałania ich sedymentacji w czasie. W obu przypadkach proces stabilizacji odbywa się poprzez stabilizację steryczną prowadzącą do deflokulacji cząstek pigmentu w zawieszynie. Udział dodatku w każdym przypadku wynosił od 0 do 5% wag. w stosunku do fazy stałej. W tabeli 1 przedstawiono charakterystykę analizowanych dodatków.

Tab. 1. Charakterystyka stosowanych dodatków organicznych.

Nazwa handlowa	Skład	Postać	Gęstość [g/cm ³]	Lepkość [Pa·s]	Kąt zwilżania [°]	pH	Producent
BYKJET 9142	polimer zawierający grupy hydrofilowe	oleista biała ciecz	1,01	0,36	18	4,7	BYK
ANTI-TERRA-U 100	sól nienasyconych poliaminowych amidów i niskocząsteczkowych kwasowych poliestrów	oleista żółta ciecz	1,01	3,22	30	6,2	BYK

3. METODYKA BADAŃ

Wszystkie atramenty ceramiczne przygotowano w młynie planetarno-kulowym PULVERISETTE 5 firmy Fritsch przez mieszanie wszystkich składników w odpowiedniej ilości przez 1 h z szybkością 300 obr./min. Następnie, tak przygotowane zawieszyny poddano badaniom reologicznym, kąta zwilżania, pH oraz badaniom sedymentacji. Badania reologiczne wykonano w reometrze rotacyjnym Kinexus Pro firmy Malvern Instruments w układzie pomiarowym stożek-płytki. Na ich podstawie wyznaczono krzywe lepkości i krzywe płynięcia dla wszystkich przygotowanych atramentów ceramicznych. W celu wyznaczenia tiksotropowych właściwości zawiesin pomiary prowadzono najpierw wraz ze wzrastającą, a następnie z malejącą szybkością ścinania. Badania prowadzono w zakresie szybkości ścinania 0–70 s⁻¹. Pomiaru kąta zwilżania dokonano przez sfotografowanie powiększonego obrazu kropli atramentu, umieszczonej na wypalanej płytce ściennej pokrytej angobą. Następnie na uzyskanych fotografiach poprowadzono styczną do powierzchni kropli w punkcie zetknięcia się faz. Proces sedymentacji zawiesin badano przez

obserwację zachowania się atramentu umieszczonego w cylindrze z podziałką w czasie. Obserwacje zapisywano po 30, 60, 120 i 180 minutach, a następnie po 1 i 7 dniach. Pomiary pH atramentów wykonano przy użyciu pH-metru CP-501 firmy ELMETRON (Polska) oraz elektrody zespolonej ERH-11S firmy Hydrometr (Polska), przeznaczonej do pomiaru pH zawiesin.

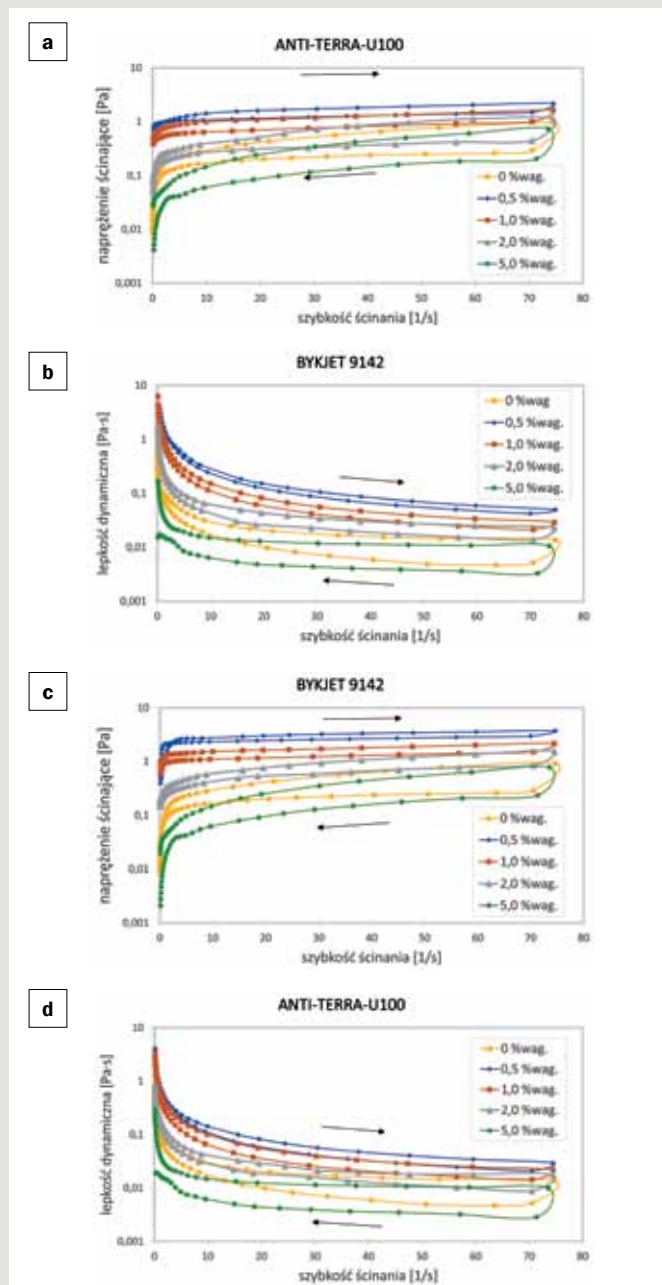
4. WYNIKI I Dyskusja Wyników

4.1 Wpływ ilości i rodzaju dodatków na zmianę właściwości reologicznych atramentów ceramicznych oraz zwilżalności powierzchni ceramicznych

Na rysunku 3 przedstawiono otrzymane krzywe lepkości i krzywe płynięcia przygotowanych zawiesin, odpowiednio bez i z dodatkiem wybranego środka stabilizującego w ilości 0% wag., 0,5% wag., 1,0% wag., 2,0% wag., i 5,0% wag. w stosunku do fazy stałej.

Przeprowadzone badania wykazały wpływ składu atramentów na ich właściwości reologiczne, o czym świadczą charakterystyki otrzymanych krzywych lepkości i krzywych płynięcia [19]. Wszystkie otrzymane atramenty ceramiczne posiadały krzywe lepkości charakterystyczne dla płynów rozrzedzanych ścinaniem, tzn. ich lepkość malała wraz ze wzrostem szybkości ścinania. Analizując wyniki pod kątem wpływu ilości dodatku o właściwościach dyspergujących i zwilżających powierzchnię pigmentu na właściwości reologiczne atramentów z ich udziałem zaobserwowano pewną prawidłowość. Zastosowanie dodatków w ilości od 0,5% wag. do 2,0% wag. przyczyniło się do ogólnego wzrostu lepkości atramentów. Jednak wraz ze wzrostem ilości stosowanego dodatku lepkość atramentu malała, prowadząc do wartości lepkości porównywalnej z lepkością atramentu referencyjnego (bez dodatków), gdy ilość dodatku wynosiła 5,0% wag. Na podstawie otrzymanych wyników badań można przypuszczać, że zastosowanie niewielkiej ilości dodatków prowadzi do wzrostu lepkości spowodowanego adsorpcją cząsteczek polimeru przez grupy hydrofilowe na powierzchni pigmentu i wytworzeniem warstwy sterycznej, umożliwiając deaglomerację cząstek fazy stałej, co potwierdziły przeprowadzone badania sedymentacji (tab. 2). Deaglomeracja cząstek pigmentu wpływa na zwiększenie oddziaływań międzycząsteczkowych (oddziaływania ceramika-ceramika, polimer-ceramika, polimer-polimer) oraz zwiększeniem oporów przepływu, skutkujących wzrostem lepkości atramentu. Dodatkowo, spadek lepkości atramentu wraz ze wzrostem ilości zastosowanego dodatku potwierdza właściwości zwilżające powierzchnię pigmentu badanych dodatków, które uwidaczniają się przy odpowiednim stężeniu tego dodatku. Wraz ze wzrostem stężenia dodatku krzywe lepkości znacznie szybciej ulegały wypłaszczeniu. Przyłożenie już niewielkich sił ścinających przyczyniło się do znacznego obniżenia lepkości atramentu w porównaniu do jego lepkości początkowej.

Dodatkowo zaobserwowano, że naprężenie ścinające, a tym samym i lepkość badanych zawiesin, były zależne od czasu działania sił ścinających, które na ten płyn działały, co potwierdzają spadki naprężenia ścinającego i lepkości dynamicznej podczas prowadzenia badań – od wysokich do niskich wartości szybkości ścinania. Zjawisko takie, nazywane powszechnie tiksotropią, jest efektem niszczenia wewnętrznej struktury płynu z upływem czasu ścinania, co skutkuje zmniejszeniem tarcia wewnętrznego w płynie, a tym samym czasowym spadkiem lepkości płynu do momentu odbudowy jego struktury wewnętrznej i powrotu do pierwotnej konsystencji po zaprzestaniu działania siły ścinającej. Wynika to z opóźnionego przystosowania się struktury takiego płynu do warunków przepływu [20]. Na podstawie przeprowadzonych badań wnioskować można, że zastosowanie dodatków nie wpłynęło znacząco na poszerzenie się pętli histerezy



Rys. 3. Krzywe lepkości i krzywe płynięcia atramentów ceramicznych z różną zawartością dodatków BYKJET 9142 i ANTI-TERRA-U 100.

(obliczona różnica lepkości dynamicznej przy szybkości 20 s^{-1} wynosiła: 0,01 Pa·s dla atramentu bez dodatku oraz 0,02 Pa·s dla atramentu z dodatkami). Oznacza to, że zastosowanie dodatków nie wpływa znacząco na zmianę właściwości tiksotropowych badanych atramentów, a obserwowany efekt tiksotropii jest raczej wynikiem obecności cząsteczek oleju napędowego, mogących wpływać na tworzenie się struktury wewnątrz płynu.

Porównując wpływ dwóch różnych dodatków między sobą oraz przyglądając się bardziej szczegółowo otrzymanym wynikom badań można zaobserwować, że praktycznie we wszystkich przypadkach dodatek środka stabilizującego o symbolu ANTI-TERRA-U 100 znacznie słabiej wpływał na wzrost lepkości atramentów, niż dodatek o symbolu BYKJET 9142 (rys. 4a), co prawdopodobnie wynika z różnego charakteru dodatków (polimer i polielektrolit). Jedynie w przypadku zastosowania 5,0% wag. dodatku BYKJET 9142 wartość lepkości początkowej była ponad dziesięciokrotnie

niższa, niż dla ANTI-TERRA-U 100 czy atramentu referencyjnego. Oznacza to, że w przypadku danego dodatku właściwości upłynniające uwidaczniają się przy wyższych jego stężeniach, co również może wynikać z jego składu (polimer zawierający grupy hydrofilowe). Podobne efekty uzyskano porównując lepkość przy szybkości ścinania 20 s^{-1} , gdzie niższe wartości lepkości uzyskano dla dodatku ANTI-TERRA-U 100 (rys. 4b). Warto jednak podkreślić, że wraz ze wzrostem zawartości dodatków różnice w wartościach lepkości atramentów, zawierających taką samą ilość dodatków, malały. W obu przypadkach zastosowanie 2,0% i 5,0% wag. któregośkolwiek z dodatków poskutkowało znacznym obniżeniem lepkości, do poziomu porównywalnego z lepkością atramentu niezawierającego dodatków. Prawdopodobnie wynika to z charakteru stosowanych dodatków, które oprócz właściwości stabilizujących mają właściwości zwilżające powierzchnię pigmentu. Im zawartość dodatku była większa tym właściwości zwilżające powierzchnię bardziej się ujawniały.

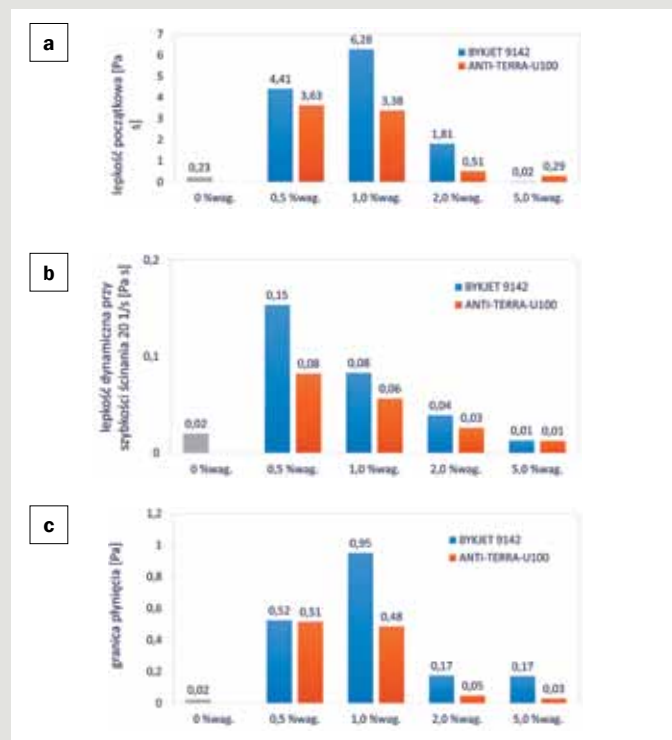
W ramach badań przeanalizowano również wpływ rodzaju i ilości dodatków na występowanie granicy płynięcia, określanej jako najmniejsza wartość naprężenia stycznego potrzebna do wywołania przepływu płynu (rys. 4c). W tym przypadku otrzymano charakterystykę podobną do wyników badań lepkości początkowej, gdzie dodatek środka dyspergującego przyczyniał się do ogólnego wzrostu wartości granicy płynięcia. Natomiast w przypadku ANTI-TERRA-U 100, dalsze zwiększenie ilości dodatku powodowało spadek wartości granicy płynięcia lub też – jak w przypadku BYKJET 9142 – wartość ta początkowo rosła (do zawartości 1,0% wag.), a następnie malała, co również można tłumaczyć ujawnianiem się właściwości zwilżających powierzchnię pigmentu po zastosowaniu odpowiedniej ilości dodatku ($\geq 2,0\%$ wag.).

Zbadano również wpływ rodzaju i zawartości dodatku na zwilżalność powierzchni przez atramenty ceramiczne z ich udziałem w celu potwierdzenia pewnych wniosków przedstawionych podczas analizy

wyników lepkości (rys. 5). Z przeprowadzonych badań wynika, że zastosowanie już niewielkiej ilości dodatku wpływa na zmniejszenie kąta zwilżania, przy czym o wiele niższe wartości kąta uzyskano z zastosowaniem ANTI-TERRA-U 100 będącego polielektrolitem. Świadczy to o dobrych właściwościach zwilżających powierzchnię podłoża ceramicznego przez atramenty ceramiczne z udziałem badanych dodatków. Im zawartość dodatku była większa tym kąt zwilżania był mniejszy. W przypadku zastosowania 5,0% wag. dodatku, niezależnie od jego rodzaju, atrament bardzo szybko wsiąkał w powierzchnię podłoża ceramicznego, co może wynikać z właściwości zwilżających powierzchnię, przekładając się na obniżenie lepkości otrzymanych atramentów ceramicznych wraz ze wzrostem ilości dodatku.



Rys. 5. Wyniki kąta zwilżania podłoża przez atramenty ceramiczne z różną zawartością BYKJET 9142 i ANTI-TERRA-U 100.



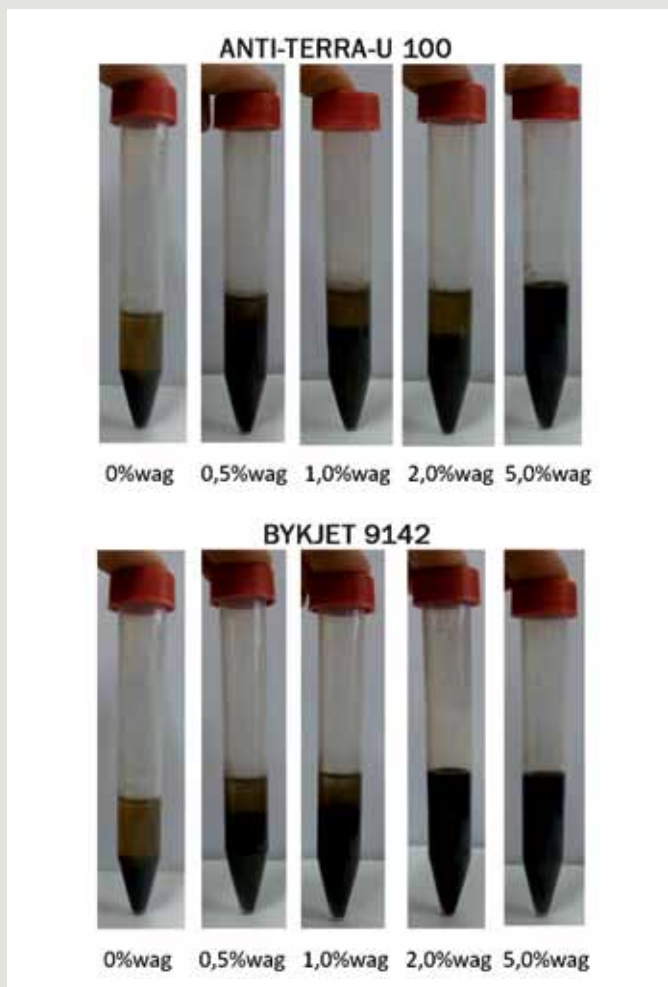
Rys. 4. Lepkość początkowa (a), lepkość przy szybkości ścinania 20 s^{-1} (b) oraz granica płynięcia (c) atramentu ceramicznego z różną zawartością dodatków BYKJET 9142 i ANTI-TERRA-U 100.

4.2 Wpływ dodatków na stabilność atramentów w czasie

W tabeli 2 przedstawiono wyniki badań stabilności atramentów w czasie w zależności od rodzaju i ilości zastosowanego dodatku. Wyniki badań pokazały, że każdy z testowanych dodatków wpłynął korzystnie na spowolnienie procesu sedimentacji w porównaniu do atramentu ich nie zawierającego. Jednak dopiero zastosowanie większych ilości dodatków (2,0% i 5,0% wag. w przypadku BYKJET 9142 oraz 5,0% wag. w przypadku ANTI-TERRA-U 100) przyczyniło się do znacznego spowolnienia procesu sedimentacji. W pozostałych przypadkach już po upływie 30 min można było zaobserwować pierwsze oznaki występowania rozdziału faz. Przeprowadzone dodatkowo badania pH analizowanych atramentów ceramicznych wykazały, że pH zawiesin praktycznie nie ulegało zmianie (pH między 6–7). Wnioskować stąd można, że proces stabilizacji cząstek pigmentu w tych przypadkach odbywał się głównie przez stabilizację steryczną, prowadzącą do deflokulacji cząstek pigmentu w atramencie. Tym niemniej jednak, była ona w pełni skuteczna w momencie zastosowania odpowiedniej ilości dodatków.

Tab. 2. Wyniki sedimentacji zawiesin ceramicznych z różnymi dodatkami.

Rodzaj dodatku	Zawartość dodatku [%wag.]	Wysokość słupa oleju nad zawiesiną [mm]					
		0,5 h	1 h	2 h	3 h	24 h	7 dni
Atrament bez dodatków	0	2	5	9	14	22	22
BYKJET 9142	0,5	1	1	1	1	7	11
	1,0	1	1	1	1	6	9
	2,0	-	-	-	-	-	-
	5,0	-	-	-	-	-	-
	ANTI-TERRA-U 100	0,5	1	1	1	1	6
	1,0	1	1	2	2	9	14
	2,0	-	0,5	0,5	3	11	12
	5,0	-	-	-	-	-	-



Rys. 6. Zdjęcia próbek atramentów z różnym rodzajem i zawartością dodatku 1 tydzień od ich przygotowania.

5. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Głównym celem przeprowadzonych badań było sprawdzenie wpływu komercyjnie dostępnych dodatków na proces sedymentacji i zmianę właściwości reologicznych zawiesin opartych na pigmentach nieorganicznych zdyspergowanych w oleju napędowym. Badania tego typu są niezwykle istotne z punktu widzenia projektowania i otrzymywania atramentów ceramicznych, które powinny charakteryzować się lepkością w zakresie 4–40 mPa·s oraz stabilnością zawiesiny przez długi okres czasu (nawet do 6 miesięcy). Z powyższych względów w ramach pracy przetestowano dwa komercyjnie dostępne dodatki o właściwościach stabilizujących i zwilżających powierzchnię pigmentów, przeznaczone do produkcji atramentów ceramicznych. Stężenie dodatku wynosiło od 0 do 5,0% wag. w stosunku do stężenia pigmentu.

Przeprowadzone badania wykazały wpływ składu zawiesin na ich właściwości reologiczne, o czym świadczą charakterystyki otrzymanych krzywych lepkości i krzywych płynięcia. W zależności od zastosowanego stężenia dodatku lepkość atramentu była wyższa (0,5%–2,0% wag. dodatku) lub porównywalna (5,0% wag. dodatku) z lepkością atramentu referencyjnego (bez dodatków). Niższe lepkości wykazywały atramenty z dodatkiem ANTI-TERRA-U 100, jednak wraz ze wzrostem stężenia dodatku, różnica w wartościach lepkości atramentów z dodatkiem ANTI-TERRA-U 100 w porównaniu do BYKJET 9142 malała, a w przypadku 5% wag. dodatku wartości te

były porównywalne. Dodatkowo przeprowadzone badania kąta zwilżania potwierdziły właściwości zwilżające stosowanych dodatków. Wraz ze wzrostem stężenia dodatku kąt zwilżania znacząco malał. Na podstawie badań sedymentacyjnych stwierdzono, że każdy z testowanych dodatków, niezależnie od jego stężenia w atramencie, wpłynął korzystnie na spowolnienie procesu sedymentacji w porównaniu do atramentu bez dodatków. Najlepsze rezultaty otrzymano dla atramentów z dodatkiem 2,0% i 5,0% wag. środka BYKJET 9142 oraz 5,0% wag. środka ANTI-TERRA-U 100.

Praca sfinansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, realizowana w ramach projektu pt. „Badania parametrów fizycznych zawiesin ceramicznych do druku cyfrowego”, przyznanego na podstawie dotacji statutowej na 2019 r.

LITERATURA

- [1] Song J.H., et al, *Formulation and multilayer jet printing of ceramic inks*, J. Am. Ceram. Soc. 82 (1999), s. 3374–3380
- [2] Thiers B., et al., *Ceramic tile and method for manufacturing ceramic tiles*, US Patent, 2018, 9874030 B2
- [3] Hutchings I., *Ink-jet printing for the decoration of ceramic tiles: technology and opportunities*, Actas de QualiCer, (2010), No. 1–16
- [4] Fornara D., et al, *Inks for inkjet printers*, US Patent, 2019, 10190006B2
- [5] Dondi M., et al, *Ceramic pigments for digital decoration inks: an overview*, Actas de QualiCer, (2012), s. 1–12
- [6] Pan Z., et al, *Recent development on preparation of ceramic inks in inkjet printing*, Ceramics International, 41(2015), s. 12515–12528
- [7] Magdassi S., *The Chemistry of Ink Jet Inks*, World Scientific Pub., (2010)
- [8] Bauer F., et al, *UV curing of nanoparticle reinforced acrylates*, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B-Beam Interact. Mater. Atoms, 265 (2007), s.87–91
- [9] Dondi M. et al., *Ceramic Pigments for Digital Decoration Inks: an Overview*, Ceramic Forum International, 89 (2012), s. 8–9
- [10] Baldi G., *Ceramic colorants in the form of nanometric suspensions*, US Patent, 2008, 7316741 B2
- [11] Loria A.M. et al, *High temperature jet printing ink*, US Patent, 1995, 5443628
- [12] Garcia Sainz J., et al, *Individual inks and an ink set for use in the color ink jet printing of glazed ceramic tiles and surfaces*, US Patent, 2002, 6402823 B1
- [13] Gardini D., et al, *Nano-sized Ceramic Inks for Drop-on-demand Ink-jet Printing in Quadrichromy*, Journal of Nanoscience and Nanotechnology, 8 (2008), s. 1979–1988
- [14] McKeen LW., *Pigments, Fillers, and Extenders*, Fluorinated Coatings Finish Handbook, (2006), s. 59–76
- [15] Zhou Z., et al., *Chemical and physical control of the rheology of concentrated metal oxide suspensions*, Chem Eng Sci, 56 (2001), s. 2901–2920
- [16] Fujitani T., *Stability of pigment and resin dispersions in waterborne paint*, Prog. Org. Coatings, 29 (1996), s. 97–105
- [17] Gungor G. L., *Ink-jet printability of aqueous ceramic inks for digital decoration of ceramic tiles*, Dyes and Pigments, 127 (2016), s. 148–154
- [18] Nsib F., et al., *Selection of dispersants for the dispersion of carbon black in organic medium*, Prog. Org. Coatings, 55 (2006), s. 303–310
- [19] Bergstrom L., *Shear thinning and shear thickening of concentrated ceramic suspensions*, Colloids Surfaces A Physicochemical Eng Aspects, 133 (1998) s. 151–155
- [20] Dziubiński M. et al., *Podstawy teoretyczne i metody pomiarowe reologii*, Monografie Politechniki Łódzkiej (2014)