

## Assessment of the antimicrobial potential of waterborne camouflage paints based on their photoactivity

# Ocena potencjału przeciwdrobnoustrojowego wodorozcieńczalnych farb kamuflażowych na podstawie ich fotoaktywności



DOI: 10.15199/62.2026.4.9

Three camouflage paints, green, brown, and black, were modified with 2% by mass or 4% by mass Ag nanoparticles deposited on colloidal silica and glass flakes structurally bound to Ag<sup>+</sup> ions. The resulting free coatings were subjected to UV-Vis photochem. anal. The coatings' ability to singlet O photogeneration through the oxidn. of 1,5-dihydroxynaphthalene (DHN) was detd. The kinetics of the DHN oxidn. reaction and the efficiency of singlet O generation were detd. Depending on the paint compn., the type of modifier used, and its concn., the tested coatings exhibited an ability to oxidize DHN in the range of 73–85%. The obtained results confirm the functional nature of the developed coatings, indicating the possibility of effectively combining camouflage properties with antimicrobial potential in a single coating system.

**Keywords:** functional coatings, camouflage, photoactivity, singlet oxygen, antimicrobial potential, silver-based additives

Powłoki kamuflażowe stanowią szczególny przypadek organicznych powłok funkcjonalnych. Malowanie kamuflażowe, realizowane z wykorzystaniem zestawów farb o odpowiednio dobranych charakterystykach spektralnych, zapewnia wymagany poziom maskowania narzędzi, urządzeń oraz maszyn wykorzystywanych przez siły zbrojne, utrudniając ich rozpoznanie optyczne przy jednoczesnym zachowaniu funkcji ochronnej powlekanych powierzchni<sup>1)</sup>.



Mgr inż. Bartosz KOPYCIŃSKI (ORCID: 0000-0002-8317-0552) ukończył studia z zakresu inżynierii materiałowej na Wydziale Mechanicznym Technologicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Zawodowo jest związany z Centrum Farb i Tworzyw należącym do Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytutu Materiałów Polimerowych. Specjalność – recepturowanie i badanie wyrobów lakierowych oraz kompozytów polimerowych specjalnego przeznaczenia, ze szczególnym uwzględnieniem rozwiązań przyjaznych dla środowiska.

Opracowano wodorozcieńczalne farby kamuflażowe o barwie zielonej, brązowej i czarnej, charakteryzujące się wysokim potencjałem przeciwdrobnoustrojowym. W pracy przedstawiono wyniki analizy fotochemicznej wyrobów lakierowych modyfikowanych dodatkiem dwóch składników bioaktywnych na bazie srebra, wprowadzonych do receptury w udziale 2 i 4% mas. w przeliczeniu na masę suchej powłoki. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem spektroskopii UV-Vis, określając zdolność powłok do fotogeneracji tlenu singletowego przez utlenianie 1,5-dihydroksynaftalenu. W zależności od składu farby, rodzaju zastosowanego modyfikatora oraz jego udziału badane powłoki wykazywały zdolność do utlenienia użytego wskaźnika w zakresie 73–85%. Uzyskane wyniki potwierdzają funkcjonalny charakter opracowanych powłok, wskazując na możliwość skutecznego łączenia właściwości kamuflażowych z potencjałem przeciwdrobnoustrojowym w jednym systemie powłokowym.

**Słowa kluczowe:** powłoki funkcjonalne, kamuflaż, fotoaktywność, tlen singletowy, potencjał przeciwdrobnoustrojowy, dodatki na bazie srebra

Receptury farb o właściwościach kamuflujących powinny opierać się na wymaganiach oraz metodach badań określonych w przeznaczonych do tego normach, a także w obowiązujących przepisach krajowych<sup>2)</sup>. Zakres takich norm uzależniony jest przede wszystkim od obszaru geograficznego planowanego zastosowania powłok, co dotyczy nie tylko doboru odcieni odpowiadających naturalnie występującej florze, lecz również warunków klimatycznych



Dr inż. Ewa LANGER (ORCID: 0000-0002-8193-1987) w roku 2005 ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. W 2012 r. uzyskała stopień doktora nauk technicznych na tym samym wydziale. Jest Liderem Grupy Badawczej Farb i Tworzyw w Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytucie Materiałów Polimerowych. Specjalność – opracowywanie receptur wyrobów lakierowych o różnym przeznaczeniu, synteza organiczna.

\* Adres do korespondencji:

Centrum Farb i Tworzyw, Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Materiałów Polimerowych, ul. Chorzowska 50A, 44-100 Gliwice, e-mail: ewa.langer@impib.lukasiewicz.gov.pl

Table. Prepared compositions with symbols

Tabela. Przygotowane kompozycje wraz z oznaczeniem

Oznaczenie próbki	Udział AgSi, %	Udział IP, %
Z	-	-
Z_AgSi2	2	-
Z_AgSi4	4	-
Z_IP2	-	2
Z_IP4	-	4
B	-	-
B_AgSi2	2	-
B_AgSi4	4	-
B_IP2	-	2
B_IP4	-	4
C	-	-
C_AgSi2	2	-
C_AgSi4	4	-
C_IP2	-	2
C_IP4	-	4

charakterystycznych dla danego regionu. W konsekwencji zarówno wzory kamuflażu, jak i barwność stosowanych farb mogą istotnie różnić się pomiędzy poszczególnymi kontynentami<sup>3)</sup>.

Oprócz funkcji kamuflażowych od nowoczesnych powłok malarskich coraz częściej oczekuje się dodatkowych właściwości użytkowych, takich jak działanie przeciwdrobnoustrojowe. Zagadnienie to nabrało szczególnego znaczenia w kontekście zakażeń szpitalnych, a zwłaszcza sytuacji związanej z pandemią Covid-19<sup>4)</sup>. Uzyskanie tego rodzaju właściwości przez wyroby lakierowe jest możliwe poprzez ich modyfikację z użyciem dodatków wykazujących aktywność przeciwdrobnoustrojową. W tym celu stosowane są przede wszystkim metale i tlenki metali (w tym Ag, Au, Ti oraz Zn)<sup>5)</sup>, nanomateriały węglowe, takie jak grafen, nanorurki węglowe, fulereny i kropki kwantowe<sup>6)</sup>, a także modyfikatory pochodzenia biologicznego: roślinnego, obejmujące fragmenty roślin, ekstrakty i olejki eteryczne<sup>7)</sup>, oraz zwierzęcego, np. chitozan<sup>8)</sup>. Oddziaływanie tych składników na mikroorganizmy może przebiegać przez bezpośredni kontakt z powierzchnią, w wyniku uwalniania jonów (w przypadku składników metalicznych) lub poprzez generację reaktywnych form tlenu ROS (*reactive oxygen species*) podczas ekspozycji na światło<sup>9)</sup>.

Ocena fotoaktywności tego rodzaju powłok, obok klasycznych badań mikrobiologicznych, stanowi istotne narzędzie



Dr inż. Mariola BODZEK-KOCHEL (ORCID: 0000-0003-2115-8635) w roku 1998 ukończyła studia na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. W 2014 r. uzyskała stopień doktora nauk technicznych na tym samym wydziale, w dyscyplinie inżynieria chemiczna. Obecnie jest dyrektorem Centrum Farb i Tworzyw w Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytucje Materiałów Polimerowych. Specjalność – inżynieria materiałowa oraz inżynieria chemiczna.



Fig. 1. Paint discs prepared for testing; from left: Z, B, C

Rys. 1. Krążki farb przygotowane do badań; od lewej: Z, B, C

dzie w analizie ich potencjału przeciwdrobnoustrojowego. Tlen singletowy ( $^1O_2$ ) jest jedną z kluczowych reaktywnych form tlenu powstających w wyniku wzbudzenia fotochemicznych składników obecnych w wyrobach lakierowych. Jego udział w inicjowaniu procesów utleniania prowadzi do indukcji stresu oksydacyjnego, skutkującego nieselektywnym oddziaływaniem na podstawowe komponenty komórkowe mikroorganizmów, takie jak lipidy, białka i kwasy nukleinowe<sup>10)</sup>. Z tego względu generacja  $^1O_2$  pod wpływem promieniowania jest powszechnie uznawana za jeden z istotnych mechanizmów leżących u podstaw dezaktywacji drobnoustrojów na powierzchniach wykazujących aktywność podczas naświetlania<sup>11)</sup>.

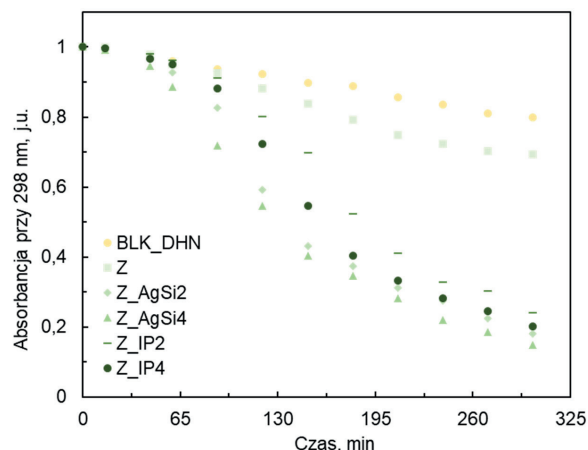


Fig. 2. DHN oxidation reaction curves for Z series samples

Rys. 2. Krzywe reakcji utleniania DHN dla próbek serii Z

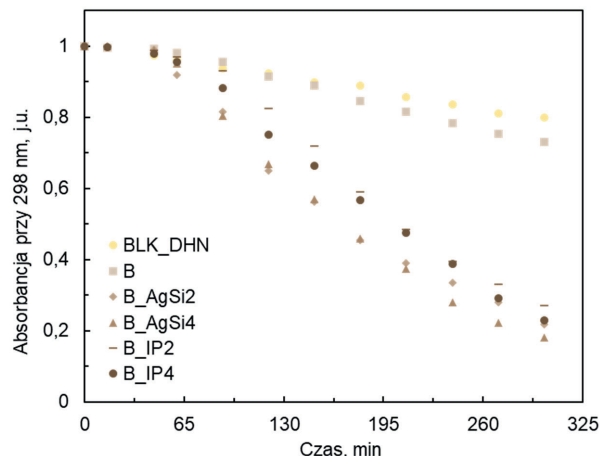


Fig. 3. DHN oxidation reaction curves for B series samples

Rys. 3. Krzywe reakcji utleniania DHN dla próbek serii B

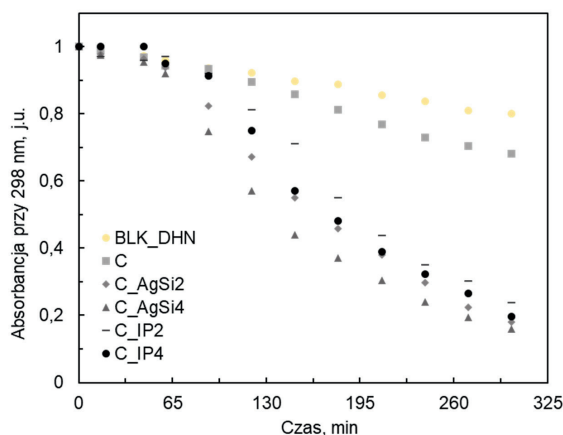


Fig. 4. DHN oxidation reaction curves for C series samples

Rys. 4. Krzywe reakcji utleniania DHN dla próbek serii C

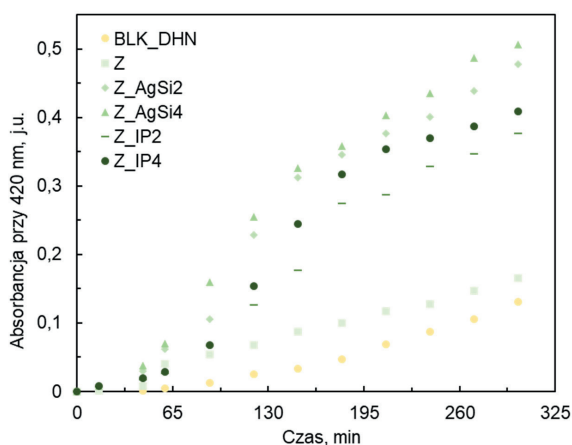


Fig. 5. Juglon formation reaction curves for Z series samples

Rys. 5. Krzywe reakcji tworzenia juglonu dla próbek serii Z

W literaturze przedmiotu można znaleźć liczne doniesienia dotyczące wyrobów lakierowych wykazujących zdolność do fotogeneracji  $^1\text{O}_2$ . Najczęściej są one omawiane w kontekście zastosowania bieli tytanowej ( $\text{TiO}_2$ ), będącej standardowym pigmentem stosowanym w branży farbiarskiej<sup>12</sup>. Przywołać można również badania, w których oceniano fotoaktywność hybrydowych dodatków do farb w postaci ultrasonochemicznie modyfikowanych układów Ag-TiO<sub>2</sub><sup>13</sup>. Należy jednocześnie zaznaczyć, że Ag, zwłaszcza w postaci nanometrycznej (AgNPs), może samodzielnie uczestniczyć w procesach fotoindukowanych, prowadzących do generacji  $^1\text{O}_2$ <sup>14</sup>. Innym interesującym przykładem są wyniki badań prowadzonych przez grupę badawczą Preuß<sup>15</sup>, dotyczące opracowania farb fasadowych zdolnych do generacji  $^1\text{O}_2$ , co pozwala na ograniczenie wzrostu biofilmu na powierzchniach ścian zewnętrznych bez konieczności stosowania klasycznych biocydów w recepturze. Efekt ten osiągnięto poprzez formułację wyrobów lakierowych z wykorzystaniem soli porfiryrowej TMPyP jako składnika fotoaktywnego. W badaniach powłok funkcjonalnych zdolność do fotochemicznej generacji  $^1\text{O}_2$  znajduje zatem zastosowanie jako pośredni, lecz

użyteczny wskaźnik potencjału przeciwdrobnoustrojowego, umożliwiający ocenę bioaktywności materiału w warunkach ekspozycji na światło.

W pracy przeprowadzono ocenę potencjału przeciwdrobnoustrojowego wodorozcieńczalnych farb kamuflażowych na podstawie ich fotoaktywności.

## Część doświadczalna

### Materiały

Badaniu poddano zestaw farb kamuflażowych o barwie zielonej (Z), brązowej (B) oraz czarnej (C) (rys. 1), otrzymanych metodą opisaną wcześniej przez autorów<sup>16</sup>, z modyfikacją receptury polegającą na wprowadzeniu 2 składników bioaktywnych. Jako dodatki zastosowano AgNPs osadzone na krzemionce koloidalnej (NanoSilverGuard POWDER 50K-HF, ITP-System), oznaczane dalej jako AgSi, oraz płatki szklane strukturalnie związane z jonami Ag<sup>+</sup> (Ionpure, Ishizuka Glass Co., Ltd.), oznaczane jako IP. Składniki bioaktywne wprowadzono do kompozycji w ilości 2 lub 4% mas. w przeliczeniu na masę suchej powłoki. Oznaczenia przygotowanych kompozycji przedstawiono w tabeli. Z otrzymanych powłok wycinano krążki o średnicy 10 mm, które następnie wykorzystywano do badań właściwości fotoaktywnych farb.

### Metodyka badań

Zdolność opracowanych wyrobów lakierowych do fotogeneracji  $^1\text{O}_2$  określono na podstawie obserwacji przebiegu procesu fotoutleniania 1,5-dihydroksynaftalenu (DHN). Próbkę wolnych powłok wprowadzano do roztworu DHN w acetonitrylu o stężeniu 0,063 mmol/dm<sup>3</sup>, a następnie naświetlano przez 5 h w fotoreaktorze własnej konstrukcji, pracującym w zakresie światła widzialnego (LED o strumieniu świetlnym 5000 lm, temperaturze barwowej 5500–6500 K oraz mocy 50 W). Badania uzupełniono o pomiar próby ślepej, polegający na naświetlaniu roztworu DHN w identycznych warunkach reakcyjnych, lecz bez obecności powłok. Zmiany stężenia DHN w badanym roztworze rejestrowano co 30 min z wykorzystaniem spektrofotometru UV-Vis DU 640 (Beckman). Na podstawie uzyskanych danych wyznaczono procentowy stopień utlenienia DHN, oznaczany jako DHN<sub>oxy</sub>. Analizę rozszerzono o monitorowanie powstawania 5-hydroksy-1,4-naftalenodionu (juglonu), stanowiącego produkt reakcji utleniania DHN. Zarejestrowane zmiany absorbancji obejmowały spadek absorbancji przy długości fali 298 nm, świadczący o postępie utleniania DHN, oraz wzrost absorbancji przy długości fali 420 nm, odpowiadający tworzeniu się juglonu.

### Wyniki badań i ich omówienie

#### Ocena fotoaktywności farb kamuflażowych

Postęp reakcji utleniania DHN oraz syntezy juglonu, indukowanych generacją  $^1\text{O}_2$  podczas naświetlania badanych wyrobów lakierowych, przedstawiono na rys. 2–7.

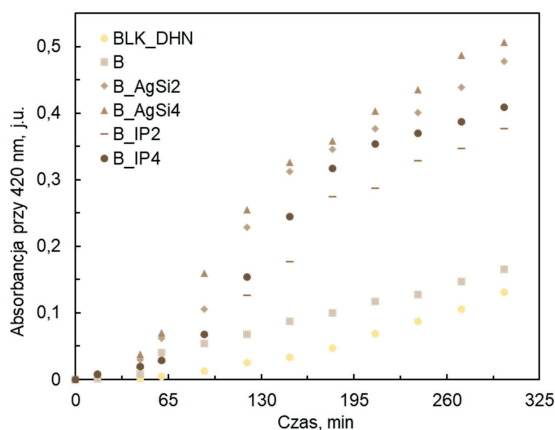


Fig. 6. Juglon formation reaction curves for B series samples

Rys. 6. Krzywe reakcji tworzenia juglonu dla próbek serii B

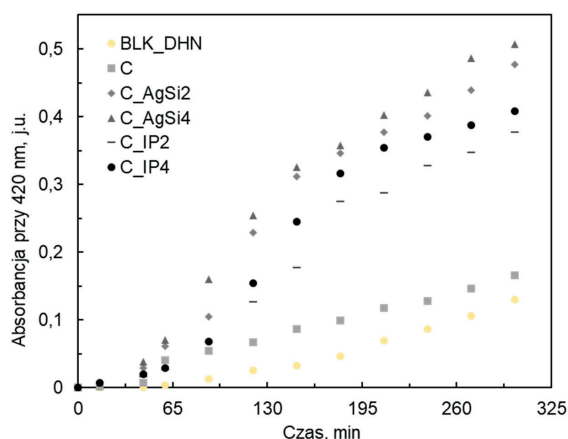


Fig. 7. Juglon formation reaction curves for C series samples

Rys. 7. Krzywe reakcji tworzenia juglonu dla próbek serii C

Na podstawie zaprezentowanych wyników potwierdzono skuteczność składników bioaktywnych AgSi oraz IP w procesie generacji  $^1\text{O}_2$ . Krzywe reakcji zarejestrowane dla próbek farb niemodyfikowanych (Z, B, C) charakteryzowały się przebiegiem zbliżonym do krzywej reakcji ślepej próby (BLK\_DHN), odnotowano w ich przypadku nieznacznie wyższy stopień utlenienia DHN w porównaniu z próbą referencyjną. Efekt ten można przypisać możliwej fotoaktywności pigmentów zastosowanych w formułacjach farb. Przebieg krzywych reakcji dla próbek modyfikowanych dodatkiem AgSi oraz IP był zbliżony we wszystkich

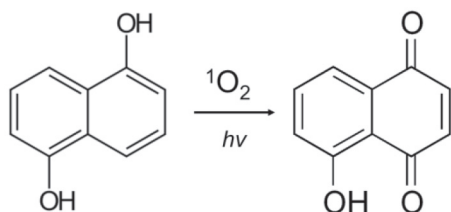


Fig. 8. Scheme of juglone formation in the process of DHN oxidation

Rys. 8. Schemat tworzenia juglonu w procesie utleniania DHN

analizowanych wariantach barwnych. Krzywe uzyskane dla próbek z serii Z i B cechowały się podobną kinetyką reakcji, w której proces utleniania DHN w pierwszej godzinie zachodził z niewielką intensywnością, po czym następowało wyraźne przyspieszenie reakcji. Pomimo że końcowy stopień generacji  $^1\text{O}_2$  utrzymywał się na zbliżonym poziomie dla wszystkich analizowanych kompozycji, w przypadku próbek z serii C zaobserwowano odmienny przebieg reakcji. Utlenianie DHN rozpoczynało się w tym przypadku znacznie szybciej niż dla serii Z i B, a następnie ulegało stabilizacji. Różnice te można wiązać z obecnością sadzy w recepturach farb z serii C, która jest znanym czynnikiem wspomagającym wydajność procesów fotokatalitycznych i może być stosowana jako dodatek wspomagający aktywność różnego rodzaju fotokatalizatorów<sup>17)</sup>.

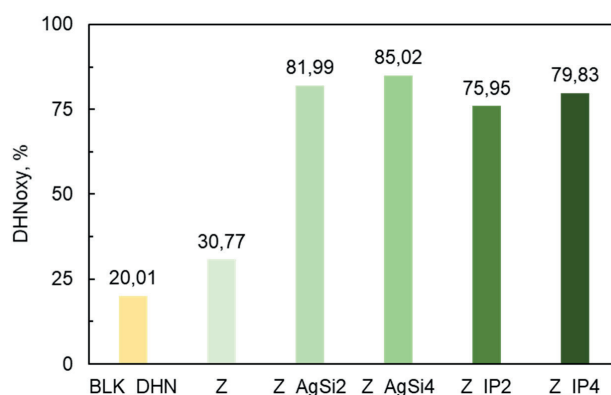


Fig. 9. DHN oxidation degree for C series samples

Rys. 9. Stopień utlenienia DHN dla próbek serii Z

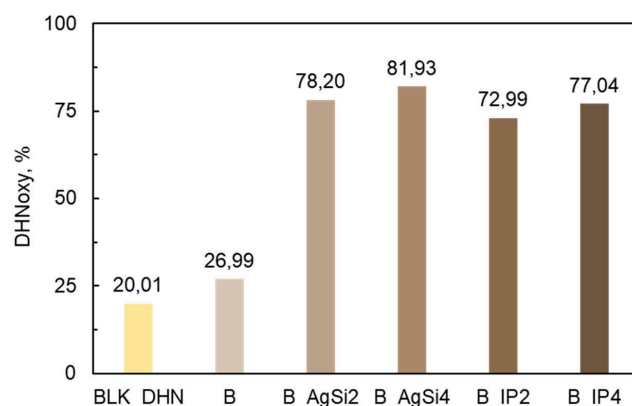


Fig. 10. DHN oxidation degree for B series samples

Rys. 10. Stopień utlenienia DHN dla próbek serii B

Niezależnie od analizy wartości liczbowych oraz przebiegu krzywych reakcji, istotnym wskaźnikiem postępu procesów było wizualne monitorowanie zmian barwy badanych roztworów. W trakcie pomiarów obserwowano stopniową zmianę zabarwienia roztworów od bezbarwnego, poprzez słomkowożółte, aż do pomarańczowożółtego, charakterystycznego dla juglonu. Obserwacje te jednoznacznie

potwierdziły jego powstawanie w wyniku utleniania DHN, zgodnie z reakcją chemiczną przedstawioną na rys. 8<sup>18</sup>).

Kluczowym parametrem pozwalającym na ocenę potencjału przeciwdrobnoustrojowego badanych próbek jest wydajność procesów fotochemicznych, wyrażona jako  $DHN_{oxy}$ . Zestawienie wyników przedstawiono na rys. 9–11. Na ich podstawie stwierdzono, że najwyższą wydajnością charakteryzowały się próbki zawierające 4% mas. AgSi, dla których wartość  $DHN_{oxy}$  wynosiła ok. 85% we wszystkich wariantach barwnych. Dla pozostałych próbek wartości  $DHN_{oxy}$  mieściły się w przedziale 73–82%. W porównaniu z farbami niemodyfikowanymi zaobserwowano wyraźny wzrost wartości  $DHN_{oxy}$ : z 31% do 76–85% dla serii Z, z 27% do 73–82% dla serii B oraz z 32% do 76–84% dla serii C.

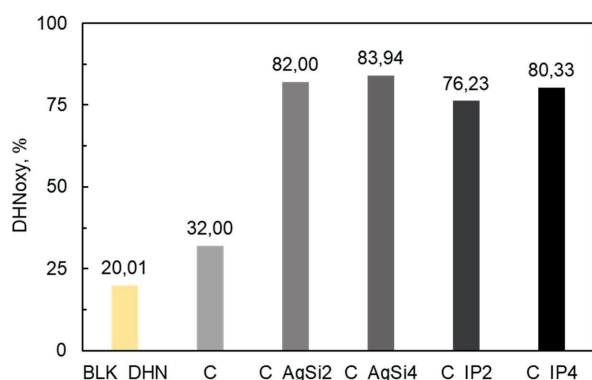


Fig. 11. DHN oxidation degree for C series samples

Rys. 11. Stopień utlenienia DHN dla próbek serii C

Ocena fotoaktywności farb kamuflażowych stanowi dopełnienie analiz mikrobiologicznych opisanych przez autorów we wcześniejszych pracach. W pierwszej z nich Kopyciński i współpr.<sup>16)</sup> opracowali lekkie pokrycia kamuflażowe o działaniu przeciwbakteryjnym, naniesione na 2 różne podłoża włókninowe typu *spunlace*. Właściwości przeciwbakteryjne uzyskano poprzez modyfikację receptur farb dodatkiem 2,5% mas. AgNPs osadzonych na krzemionce koloidalnej (AgNPs@SiO<sub>2</sub>). Aktywność przeciwbakteryjną (A) wobec bakterii Gram-dodatnich (gronkowca złocistego, *Staphylococcus aureus*) oraz Gram-ujemnych (pałeczki zapalenia płuc, *Klebsiella pneumoniae*) wyznaczono zgodnie z wymaganiami normy<sup>19)</sup>. Dla modyfikowanej włókniny poliestrowej wartości A dla barw Z, B i C wynosiły odpowiednio 4,02, 2,87 oraz 4,18 w przypadku *S. aureus* oraz 6,88, 4,46 i 6,89 w przypadku *K. pneumoniae*, natomiast dla włókniny celulozowo-poliestrowej uzyskano wartości odpowiednio 2,25, 2,21 i 5,43 oraz 6,91, 4,90 i 6,93. Zgodnie z przyjętą klasyfikacją próbkę uznaje się za wykazującą dobrą aktywność przeciwbakteryjną, gdy spełniony jest warunek  $2 < A < 3$ , oraz bardzo dobrą, gdy  $A \geq 3$ . W drugiej z przytoczonych prac Zaczek-Moczydłowska i współpr.<sup>20)</sup> przeprowadzili ocenę *in vitro* właściwości przeciwwirusowych farb kamuflażowych modyfikowanych AgNPs, AgNPs osadzonymi na krzemionce koloidalnej

(AgSiO<sub>2</sub>) oraz fosforanem srebrowo-sodowo-wodorowo-cyrkonowym (AgNaOPZr), stosowanymi w ilości 0,625, 1,25, 2,5 i 5% mas. Aktywność przeciwwirusową powłok oceniano zgodnie z normą<sup>21)</sup>. Autorzy potwierdzili wysoką skuteczność opracowanych wyrobów lakierowych wobec ludzkiego koronawirusa HCoV229E dla wszystkich zastosowanych dodatków bioaktywnych. Szczególnie wyraźne działanie zaobserwowano w przypadku próbek zawierających AgSiO<sub>2</sub>, które istotnie hamowały replikację wirusa, prowadząc do zmniejszenia jego miana o co najmniej 2 log dla wszystkich badanych stężeń.

Na uzyskane wyniki bezpośredni wpływ miał charakter chemiczny zastosowanych dodatków bioaktywnych, opartych na obecności Ag w postaci nanometrycznych cząstek i/lub jego jonów. Wiadomo, że metal ten wykazuje szerokie spektrum działania przeciwdrobnoustrojowego, co determinuje jego powszechne wykorzystanie w modyfikowanych systemach powłokowych<sup>22)</sup>. W kontekście dodatku IP szczególnie istotny jest fakt, że nośnikiem składnika bioaktywnego jest szkło o stosunkowo małej obojętności chemicznej, które w obecności wilgoci może stopniowo uwalniać jony Ag<sup>+</sup><sup>23)</sup>. Istotą aktywności przeciwdrobnoustrojowej zastosowanych modyfikatorów jest współwystępowanie 2 komplementarnych mechanizmów wpływających na bakterie i wirusy: (i) bezpośredniego kontaktu z komórkami drobnoustrojów oraz (ii) procesów fotoindukowanych powodujących generację <sup>1</sup>O<sub>2</sub>. W konsekwencji prowadzi to do zwielokrotnienia funkcjonalności zarówno modyfikatorów, jak i gotowych wyrobów lakierowych. Zestawienie uzyskanych wyników, obejmujących zdolność do generacji reaktywnych form tlenu oraz potwierdzone działanie przeciwbakteryjne i przeciwwirusowe farb kamuflażowych, stanowi spójne i rozstrzygające potwierdzenie funkcjonalności opracowanych rozwiązań powłokowych oraz ich wysokiej skuteczności przeciwdrobnoustrojowej.

## Podsumowanie

Projektowanie nowych wyrobów lakierowych stanowi obecnie istotne wyzwanie technologiczne, wynikające z rosnących oczekiwań dotyczących ich wielofunkcyjności. Od powłok nowej generacji wymaga się już nie tylko spełniania podstawowych funkcji ochronnych i użytkowych, lecz również integracji dodatkowych właściwości funkcjonalnych w ramach jednego systemu malarskiego. W odpowiedzi na te wymagania opracowano wodorozcieńczalne farby kamuflażowe, które oprócz zapewnienia skutecznego maskowania powlekaney powierzchni wykazują jednocześnie wysoki potencjał przeciwdrobnoustrojowy. Takie podejście wpisuje się w aktualne trendy rozwoju powłok funkcjonalnych, ukierunkowane na łączenie klasycznych funkcji z rozszerzoną bioaktywnością.

Analizy fotogeneracji <sup>1</sup>O<sub>2</sub>, przeprowadzone z wykorzystaniem spektroskopii UV-Vis i wyrażone poprzez stopień utlenienia DHN, potwierdziły wysoki potencjał

przeciwdrobnoustrojowy badanych farb. Najwyższą wartość utlenienia DHN odnotowano dla próbki Z\_AgSi4, dla której parametr  $DHN_{oxy}$  osiągnął poziom 85%. W przypadku pozostałych próbek wartości te każdorazowo przekraczały 70%. Tak wysoki stopień utlenienia DHN jednoznacznie świadczy o efektywnej generacji  $^1O_2$ , który jako reaktywna forma tlenu odgrywa kluczową rolę w procesach inaktywacji mikroorganizmów. Zdolność farb do fotogeneracji  $^1O_2$  pozostaje w ścisłym związku z obecnością w ich recepturach dodatków na bazie Ag, znanych z właściwości sprzyjających wzmacnianiu fotoaktywności materiałów. W konsekwencji obecność Ag należy uznać za jeden z istotnych czynników odpowiedzialnych zarówno za wysoki stopień utlenienia DHN, jak i za podwyższoną aktywność przeciwdrobnoustrojową badanych próbek.

Badania fotoaktywności farb kamuflażowych przedstawione w pracy stanowią istotne uzupełnienie analiz mikrobiologicznych przeprowadzonych i opublikowanych przez autorów we wcześniejszych pracach. Uzyskane wyniki wskazują, że przy zastosowaniu odpowiednio dobranej metodyki badawczej oraz technik spektroskopowych możliwe jest wiarygodne oszacowanie potencjalnego oddziaływania materiałów na drobnoustroje bez konieczności prowadzenia badań mikrobiologicznych. Takie podejście wpisuje się w nowoczesne, kompleksowe strategie badawcze, umożliwiające pełną charakterystykę profilu przeciwdrobnoustrojowego badanych materiałów. Dotyczy to w szczególności powłok funkcjonalnych, które poza ochroną różnego rodzaju powierzchni mogą również odgrywać istotną rolę w zwiększaniu poziomu bezpieczeństwa oraz ochrony zdrowia użytkowników w rzeczywistych warunkach aplikacyjnych.

*Autorzy pragną podziękować Pani Alicji Dudzie z Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytutu Metali Nieżelaznych za merytoryczne wsparcie oraz pomoc techniczną podczas prowadzenia pomiarów fotoaktywności w ramach niniejszych badań.*

*Rezultaty niniejszych badań są wynikiem realizacji projektu pn. „Opracowanie funkcjonalnych bioaktywnych ochron tekstylnych do zabezpieczenia medycznego Sił*

*Zbrojnych RP jako elementu przeciwdziałania zakażeniom SARS-CoV-2”, akronim: CoVTex, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach umowy nr DOB-SZAFIR/02/B/004/02/2021.*

Otrzymano 13-04-2026:

Zrecenzowano: 15-04-2026

Zaakceptowano: 15-04-2026

Opublikowano: 27-04-2026

#### LITERATURA

- [1] F. Xue, S. Xu, Y.-T. Luo, W. Jia, *Neurocomputing* 2016, **172**, 262.
- [2] NO-80-A200, *Farby specjalne do malowania maskującego. Wymagania i metody badań*.
- [3] M. Friškovec, H. Gabrijelcic, B. Simoncic, *J. Imaging Sci. Technol.* 2010, **54**, 2.
- [4] P. Straková, P. Bednář, J. Kotouček, J. Holoubek, A. Fořtová, P. Svoboda M. Štefánik, I. Huvarová, P. Šimečková, J. Mašek, D.A. Gvozdev, I.E. Mikhnovets, A.A. Chistov, T.D. Nikitin, M.S. Krasilnikov, A.V. Ustinov, V.A. Alferova, V.A. Korshun, D. Růžek, L. Eyer, *Virus Res.* 2023, **334**, 199158.
- [5] S. Maleki Dizaj, F. Lotfipour, M. Barzegar-Jalali, M. Hossein Zarrintan, K. Adibkia, *Mater. Sci. Eng. C* 2014, **44**, 278.
- [6] Q. Xin, H. Shah, A. Nawaz, W. Xie, M.Z. Akram, A. Batool, L. Tian, S. Ullah Jan, R. Boddula, B. Guo, Q. Liu, J. Ru Gong, *Adv. Mater. Res. NCNST* 2019, **31**, nr 45, 1804838.
- [7] F.J. Álvarez-Martínez, E. Barrajón-Catalán, M. Herranz-López, V. Micol, *Phytomedicine* 2021, **90**, 153626.
- [8] J. Li, S. Zhuang, *Eur. Polym. J.* 2020, **138**, 109984.
- [9] Y. Li, W. Zhang, J. Niu, Y. Chen, *ACS Nano* 2012, **6**, 6.
- [10] Y. Nosaka, A.Y. Nosaka, *Chem. Rev.* 2017, **117**, 17.
- [11] I. Pibiri, S. Buscemi, A. Palumbo Piccionello, A. Pace, *Chem. Photo. Chem.* 2018, **2**, 7.
- [12] M. Schutte-Smith, E. Erasmus, R. Mogale, N. Marogoa, A. Jayiya, H.G. Visser, *J. Coat. Technol. Res.* 2023, **20**, 789.
- [13] S.P. Deshmukh, V.B. Koli, A.G. Dhodamani, S.M. Patil, V.S. Ghodake, S.D. Delekar, *Chem. Select* 2021, **6**, 1.
- [14] W. Zhang, Y. Li, J. Niu, Y. Chen, *Langmuir* 2013, **29**, 15.
- [15] A. Preuß, T. Bornhütter, A. Färber, C. Schaller, B. Röder, *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.* 2016, **160**, 79.
- [16] B. Kopyciński, E. Langer, D. Kowalczyk, A. Baranowska-Korczyk, M. Bodzek-Kochel, M. Cieślak, *Appl. Surf. Sci.* 2025, **709**, 163856.
- [17] D. Liu, X. Zhao, L. Song, S. Zhang, *Ceram. Int.* 2018, **44**, 12.
- [18] Y. Akutsu, T. Fujiwara, R. Suzuki, Y. Nishigaya, T. Yamazaki, *Appl. Environ. Microbiol.* 2023, **89**, 12.
- [19] PN-EN ISO 20743:2021-12, *Tekstyli. Wyznaczanie aktywności antybakteryjnej wyrobów włókienniczych*.
- [20] M.A. Zaczek-Moczyłowska, B. Kopyciński, A. Hrynyszyn, M. Osadnik, A. Czech, K. Pęcak, A. Markowska, S. Ghavami, K. Matus, E. Langer, M.J. Łos, *Int. J. Mol. Sci.* 2025, **26**, nr 22, 11068.
- [21] ISO 21702:2019, *Measurement of antiviral activity on plastics and other nonporous surfaces*.
- [22] M. Harun-Ur-Rashid, T. Foyez, S.B. Naidu Krishna, S. Poda, A. Bin Imran, *RSC Adv.* 2025, **15**, 8480.
- [23] T. Mehrabi, A.S. Mesgar, Z. Mohammadi, *ACS Biomater. Sci. Eng.* 2020, **6**, 10.