

# **”Wpływ dodatku bioaktywnych mikro cząsteczek srebra na właściwości użytkowe tynków mineralnych”**

Wojciech Spisak<sup>1\*</sup>, Krystyna Czaja<sup>2</sup>, Joanna Barton<sup>2</sup>, Marek Petri<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centrum Badawczo Produkcyjne ALCOR w Opolu.

<sup>2</sup> Uniwersytet Opolski w Opolu.

<sup>3</sup> Akademia Górniczo Hutnicza w Krakowie.

\* e-mail: [spisak@alcor.pl](mailto:spisak@alcor.pl)

## **Streszczenie**

Aktywność mikroorganizmów, a przede wszystkim bakterii i grzybów w istotny sposób wpływa na swoje cechy i wartość użytkową materiałów budowlanych. Jest to rodzaj korozji biologicznej (stanowiącej szczególny przypadek korozji chemicznej), która powoduje obniżenie lub utratę właściwości użytkowych materiału. Oprócz korozji biologicznej, grzyby mogą również stwarzać zagrożenie dla zdrowia użytkowników zasiedlonych obiektów. Ich toksyczne oddziaływanie na zdrowie ludzi i zwierząt uważa się za znacznie groźniejsze w skutkach od biokorozji materiałów. Stosowane obecnie środki biobójcze w postaci biocydów i nanocząsteczek srebra również mogą stanowić zagrożenie. W prezentowanej pracy przedstawiono wyniki badań porównawczych zapraw wapienno-cementowych implantowanych powierzchniowo i w masie cząsteczkami srebra o wymiarach mikrometrów. Stwierdzono, że zastosowany dodatek mikrocząsteczek srebra nie wpływa w sposób istotny na właściwości fizyczne testowanych zapraw natomiast wyraźnie ogranicza rozwój grzybni, co potwierdza biobójczą aktywność tego pierwiastka także w proponowanych w tej pracy układach zapraw tynkarskich.

**Słowa kluczowe:** korozja biologiczna, zaprawy tynkarskie, mikro cząsteczki srebra.

## **The influence of addition the biologically active silver micro particles on usable proprieties of mineral mortars.**

The activity of microorganisms, especially bacteria and fungi, considerably affects the individual features and utility of building materials. It is a type of biological corrosion (a special instance of chemical corrosion) which causes the loss or decrease in the material's utility. Apart from biological corrosion, fungi may also pose a threat to the users of infected buildings. Their toxic influence on human and animal health is considered to have much more fatal consequences than the biocorrosion of materials. Biocidal agents in the form of biocides and silver nanoparticles, which are in common use these days, are also likely to pose a serious threat. This paper presents the results of comparative research on limestone cement mortar implanted on the surface and in the mass of silver particles measuring micrometres in size. It has been concluded that the applied addition of silver microparticles has no significant effect on the physical features of the tested mortar. However, it clearly hinders the development of mycelium, which confirms the biocidal activity of the element in the mortar solutions in question.

**Keywords:** biocorrosion, mortar, silver microparticles

## **1. Wprowadzenie.**

Aktywność mikroorganizmów, a przede wszystkim bakterii i grzybów w istotny sposób wpływa na swoje cechy i wartość użytkową materiałów (drewno, wyroby papierowe, tworzywa sztuczne, ceramiczne materiały budowlane, farby i lakiery) narażonych na kontakt z drobnoustrojami. Zjawisko wywołane rozwojem grzybów określa się mianem biodeterioracji pleśniowej. Jest to rodzaj korozji biologicznej (stanowiącej szczególny przypadek korozji chemicznej), która powoduje obniżenie lub utratę właściwości użytkowych materiału w wyniku sumowania się dwóch niekorzystnych procesów: mykotoksycznego skażenia środowiska oraz biodegradacji [1]. Biokorozja materiałów technicznych zachodzi wtedy, gdy zaistnieją warunki sprzyjające intensywnemu rozwojowi mikroorganizmów.

Grzyby, jako organizmy heterotroficzne, zasiedlające różnorodne środowiska, odgrywają wiodącą rolę w procesie rozkładu materii organicznej i globalnym obiegu pierwiastków. Dobrze rozwijają się tam, gdzie mają dostateczną ilość substancji odżywczych, optymalną wilgotność (ok. 70%), odpowiednią temperaturę i środowisko o pH = 5,6 - 6,5 [2]. Na rozwój określonych gatunków tych mikroorganizmów wpływa również charakter i właściwości podłoża (zawartość różnych minerałów, zasolenie) [3].

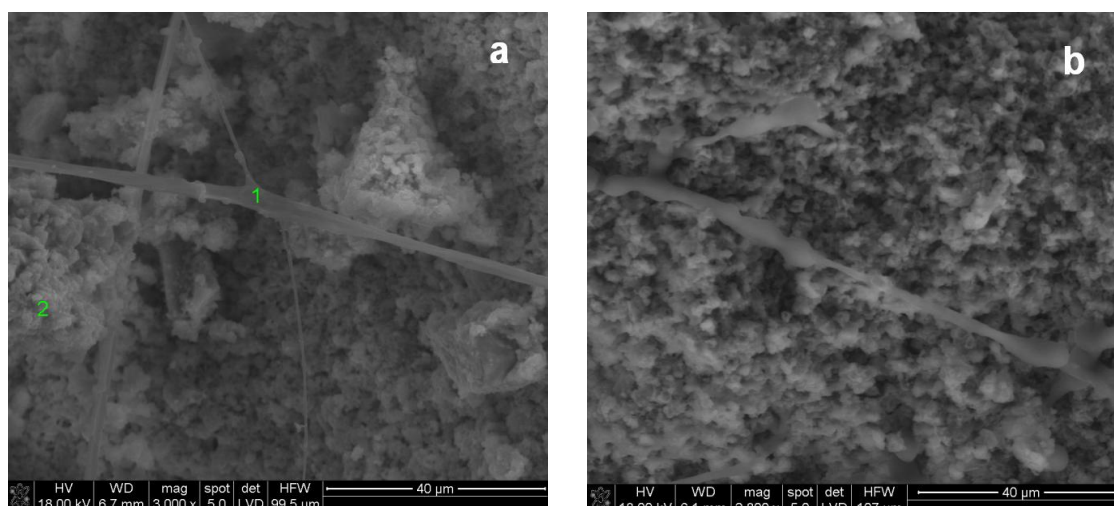
Inicjacji i rozwojowi korozji biologicznej towarzyszy tworzenie się tzw. biofilmu, czyli złożonej struktury o konsystencji hydrożelu przylegającego do powierzchni. Jego powstanie inicjują tylko niektóre bakterie wiążące się z powierzchnią materiałów siłami van der Waalsa. Powstający biofilm jest dogodnym siedliskiem dla mikroorganizmów gdyż charakteryzuje się chropowatą, niejednorodną mikrostrukturą, z licznymi ujściami porów. W porach zachodzi kondensacja pary wodnej, a po wyekspozowaniu na działanie czynników zewnętrznych pokrywa się osadem substancji nieorganicznych i organicznych. Ponadto śluz bakteryjny, wydzielany przez komórki bakterii inicjujących powstanie biofilmu jest nie tylko podłożem sprzyjającym rozwojowi bakterii, grzybów i glonów, ale tworzy również warstwę chroniącą zasiedlające go mikroorganizmy [4].

Mikroorganizmy występujące zarówno na powierzchni materiałów budowlanych jak i w ich wnętrzu (pory), mogą być przyczyną procesów ich niszczenia na skutek wydzielania enzymów i produktów metabolizmu [4]. W wyniku bytowania mikroorganizmów wytwarzają się błony biologiczne wpływające na zmianę porowatości z wytworzeniem mikropełnięć związanych ze zmianami dyfuzji pary wewnątrz materiału. Zjawiska te są powodowane przez zewnątrzkomórkowe substancje polimerowe (ang. *extracellular polymeric substances*; EPS) oraz związki zmniejszające napięcie powierzchniowe, wydzielane do środowiska przez mikroorganizmy [5]. Materiały pochodzenia organicznego ulegają rozkładowi w wyniku pobierania przez grzyby organicznych substancji pokarmowych [6]. Inną aktywnością cechującą się drobnoustroje zasiedlające typowo nieorganiczne materiały budowlane, bowiem wytwarzając kwaśne metabolity (kwas szczawiowy, glukonowy, cytrynowy) kompleksujące jony  $Ca^{2+}$  i  $Mg^{2+}$ , powodują wymywanie tych pierwiastków, a tym samym poważne osłabienie struktury materiału [7]. Problem ten dotyczy szczególnie zawilgoconych obiektów budowlanych, w których kształtuje się specyficzny mikroklimat sprzyjający rozwojowi destrukcyjnej mikroflory oraz szkodników biologicznych.

Grzyby, które najczęściej spotyka się w różnego typu obiektach budowlanych zaliczane są do rodzajów: *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Fusarium sp.*, *Candida sp.*, *Alternaria sp.* oraz *Cladosporium sp.* [8], w dwojaki sposób oddziałują na otoczenie. Oprócz korozji biologicznej materiałów budowlanych mogą również stwarzać zagrożenie dla zdrowia użytkowników zasiedlonych obiektów [6]. Toksyczne oddziaływanie grzybów na zdrowie ludzi i zwierząt uważa się za znacznie groźniejsze w skutkach od biokorozji materiałów [9,10]. Wiele gatunków wytwarza szkodliwe mykotoksyny (np. aflatoksyny), których już nawet jednorazowa dawka prowadzi do nieodwracalnych, przedrakowych i nowotworowych zmian w wątrobie czy efektu teratogenicznego u rozwijających się płodów. Do innych schorzeń będących konsekwencją przebywania w zagrzybionych pomieszczeniach należą: alergiczny nieżyt błony śluzowej nosa, astma oskrzelowa, zmiany skórne o charakterze grzybic, alergiczne zapalenie pęcherzyków płucnych oraz alergie pokarmowe [2]. Jednak szkodliwy wpływ na zdrowie ludzi mogą mieć także biocydy stosowane do impregnacji i odgrzybiania różnego typu materiałów [11]. Przedstawione kwestie powodują, że obiektom budowlanym, jak i materiałom dopuszczonym do ich ochrony, stawia się odpowiednie wymagania w zakresie higieniczno-sanitarnym oraz w sferze odporności na korozję biologiczną, które formułowane są w postaci aktów prawnych (Prawo budowlane, dyrektywa Rady Wspólnot Europejskich) [6].

Na rynku znajduje się wiele preparatów przeznaczonych do odgrzybiania różnego typu materiałów. Jednakże chemiczne metody zwalczania pleśni z wykorzystaniem biocydów nie są powszechnie akceptowane ze względu na stosunkowo niedługi okres ochrony, związany z mechanizmami odpornościowymi mikroorganizmów oraz stąd konieczność powtarzania zabiegu nanoszenia powłoki ochronnej [12]. Nie bez znaczenia pozostaje także toksyczność i niekorzystny wpływ tych środków na środowisko oraz ludzkie zdrowie [13]. Na podstawie badań oceny skuteczności zabiegów dezynfekcyjnych w zwalczaniu grzybów pleśniowych opisanych przez Janińską udowodniono, że zastosowanie biocydu do zwalczania grzybów pleśniowych na powierzchni materiałów budowlanych nie daje gwarancji jego długoterminowej skuteczności. Efekt ten można uzyskać jedynie w wyniku wielokrotnego powtarzania zabiegu dezynfekcyjnego [14].

Badania nad procesami korozji i poprawy trwałości materiałów budowlanych (w tym materiałów betonowych i tynków) są istotne z punktu widzenia szeroko pojętej ochrony środowiska i zrównoważonego budownictwa. Przykładowe obrazy mikroskopowe [rys.1], wykonane za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego, z badań mikrostruktury i składu tynków i pobiału w pomieszczeniu korpusu dawnego Pałacu Biskupów Krakowskich w Kielcach wskazują na postępujący proces biokorozji tych materiałów. Deterioracja w odniesieniu do materiałów budowlanych postępuje co prawda w większości przypadków stopniowo oraz z niewielką szybkością, jednakże jej skutki prowadzić mogą do poważnych katastrof budowlanych [4].



*Rys. 1. Obraz mikroskopowy (SEM) śladów agresji biologicznej a) tynk wapienny z warstwy powierzchniowej, b) pobiał wapienny.*

*Fig.1. Microscopic observation (SEM) the trace of biological corrosion a) surface of calcareous mortar, b) white wash*

Od wielu lat do zwalczania bądź zahamowania wzrostu mikroorganizmów wykorzystuje się metale ciężkie w postaci soli bądź związków organicznych. Jednakże, ze względu na udowodnioną toksyczność, jaką związki te wykazują w stosunku do organizmów ludzi czy zwierząt, dąży się do całkowitego wycofywania ich z użycia [15]. Poszukiwania środków bójących skierowane są obecnie na dodatki metali o dużym stopniu rozdrobnienia [16, 17]. Zaletą tzw. układów „nano” jest bardzo rozwinięta powierzchnia właściwa (aktywność biologiczna zapewniona nawet przy małych stężeniach dodatków) oraz możliwość uzyskania homogenicznych układów [18].

Powszechnie znana z literatury jest aktywność biobójcza cząstek srebra [19]. Dyskusyjnym pozostaje jednak to, czy większą skuteczność wykazuje srebro na zerowym stopniu utlenienia czy w postaci jonowej. Badania opisane w [2] pokazują, że jony cząstek

srebra, stosowane zwłaszcza w postaci nanocząstek, wykazują lepsze działanie inhibitujące wzrost mikroorganizmów. Mechanizm hamujący aktywność mikroorganizmów pod wpływem działania cząstek Ag nie został całkowicie poznany [21, 22], ale jak podaje literatura w przypadku nanocząstek srebra prawdopodobnie jest to wynikiem procesów związanych z uszkodzeniem błony komórkowej [21].

Rozwój nanotechnologii wymógł jednak konieczność badań toksykologicznych w zakresie szkodliwości nanocząstek dla środowiska oraz zdrowia człowieka. Najwięcej obaw związanych z wymiarem „nano” wynika z braku w organizmie człowieka barier ograniczających przemieszczanie się cząstek o wymiarze zwłaszcza poniżej 10 nm. Nanocząstki mogą swobodnie przenikać przez błony komórkowe (głównie mitochondriów [23, 24]) i migrować w organizmie do różnych narządów, w nich ulegać depozycji i wywoływać szkodliwe skutki zdrowotne. Swobodnej migracji sprzyja również fakt, że są one słabo wychwytywane przez układ immunologiczny [25]. Oznacza to, że istnieje realne zagrożenie związane z niekontrolowanym obiegiem nanocząstek w środowisku naturalnym oraz wnikaniem do organizmu ludzkiego.

Mając powyższe uwagi na względzie, zaproponowano i wstępnie przebadano rozwiązanie, w którym właściwości bójcze sprawowałyby cząsteczki metalicznego srebra o wymiarach mikrometrów. Ich oddziaływanie na ograniczenie rozwoju mikroorganizmów sprawdzono na typowej zaprawie wapienno-cementowej, predysponowanej jako najczęściej stosowane wykończenie zewnętrzne budynków. Zaprawa ta, implantowana cząsteczkami srebra, w proponowanym rozwiązaniu stanowiłaby barierę zabezpieczającą konstrukcję i wewnętrzną część budynku przed agresją biologiczną. W opinii autorów niniejszego opracowania, dotychczas stosowane zabezpieczenia w postaci farb elewacyjnych zawierających biocydy lub nanocząsteczki srebra nie są w pełni satysfakcjonujące.

W opisywanym eksperymencie wytworzono próbki typowej zaprawy wapienno-cementowej implantowanej (powierzchniowo lub w masie) cząsteczkami srebra o wymiarach mikrometrycznych. Badano wpływ tych operacji technologicznych na wybrane właściwości fizyczne zapraw, oraz przede wszystkim na ich odporność na agresję biologiczną.

## 2. Przygotowanie próbek.

Próbki do badań wykonane zostały w formie prostopadłościanów 160x40x40, zgodnie z metodyką opisaną w normie PN-85/B-04500 „Zaprawy budowlane. Badania cech fizycznych i wytrzymałościowych”. Skład badanych zapraw podano w Tabeli 1. Próbki poddano testom po 90 dniach od ich uformowania.

*Tabela 1. Receptury otrzymywania badanych zapraw.*

*Table 1. Recipe of receiving of tested mortars*

Surowce	Zaprawa bazowa	Zaprawa implantowana Ag.
Piasek kwarcowy < 1 mm	4000 g	4000 g
Wapno hydratyzowane	600 g	600 g
Cement portlandzki CEM I 32,5	200 g	200 g
Woda	do konsystencji 170 mm	Do konsystencji 170 mm
*GAg10		7% suchej mieszanki

\*GAg10 – grunt srebrzący, zawierający żywicę syntetyczną z 0,32% wag. srebra.

Powierzchnie wybranych próbek badanych zapraw, malowano 1- lub 2- krotnie (po 72 h) gruntem srebrzącym GAg10 i suszono. W Tabeli 2 podano oznaczenia próbek i szczegółowy ich opis.

*Tabela 2. Oznakowanie próbek.*

*Table 2. Marking of samples*

Oznakowanie	Opis próbek
K	Zaprawa bazowa, nie malowana.
K1x	Zapr. Baz., 1- krotnie malowana, zużycie GAg10 – 222 g/m <sup>2</sup>
K2x	Zapr. Baz., 2- krotnie malowana, zużycie GAg10 – 115 g/m <sup>2</sup> (w drugiej warstwie)
ZAgK	Zaprawa z GAg10 w masie, nie malowana.
ZAgK1x	Zaprawa z GAg10, 1- krotnie malowana, zużycie GAg10 – 191 g/m <sup>2</sup>
ZAgK2x	Zaprawa z GAg10, 2-krotnie malowana, zużycie GAg10 – 90 g/m <sup>2</sup> (w drugiej warstwie)

### 3. Oznaczenia wybranych właściwości fizycznych badanych zapraw.

Badania porównawcze stwardniałych próbek zapraw, opisanych w Tabeli 1 i Tabeli 2, prowadzono zgodnie z metodyką zawartą w PN-85/B-04500 „Zaprawy budowlane. Badania cech fizycznych i wytrzymałościowych”. Ograniczono się do następujących oznaczeń:

- wytrzymałość na zginanie i ściskanie po 90 dniach dojrzewania
- gęstość w stanie wysuszonym
- nasiąkliwość zaprawy suchej
- podciąganie kapilarne
- współczynnik rozmiękania przy zginaniu  $K_z$ ,

Wyniki badań zestawiono w tabelach 3 do 5.

*Tabela 3. Właściwości fizyczne badanych zapraw.*

*Table 3. Physical properties of studied mortars*

Oznakowa nie	Gęstość objętościowa $\rho_s$ , [kg/m <sup>3</sup> ]	Nasiąkliwość, [%] masy.	Wytrzymałość na ściskanie $R_s$ , [MPa]	Wytrzymałość na zginanie $R_z$ , [MPa]
K	1782	15,8	0,82 ± 0,06	0,58 ± 0,04
K1x	1736	15,5	0,79 ± 0,06	0,62 ± 0,02
K2x	1729	15,9	0,77 ± 0,03	0,63 ± 0,03
ZAgK	1780	14,6	0,84 ± 0,02	0,65 ± 0,05
ZAgK1x	1762	13,9	0,82 ± 0,04	0,62 ± 0,02
ZAgK2x	1720	14,2	0,74 ± 0,03	0,61 ± 0,03

*Tabela 4. Podciąganie kapilarne.*

*Table 4. Capillary pulling up*

Oznakowanie	Przyrost masy próbek [%]			
	po 1h	po 3h	po 6h	po 24 h
K	6,9	11,2	14,6	15,6
K1x	6,5	9,9	12,8	15,3
K2x	6,6	10,1	12,7	15,4
ZAgK	4,1	6,2	8,2	13,2
ZAgK1x	2,1	4,2	9,1	11,2
ZAgK2x	4,4	7,4	9,7	14,5

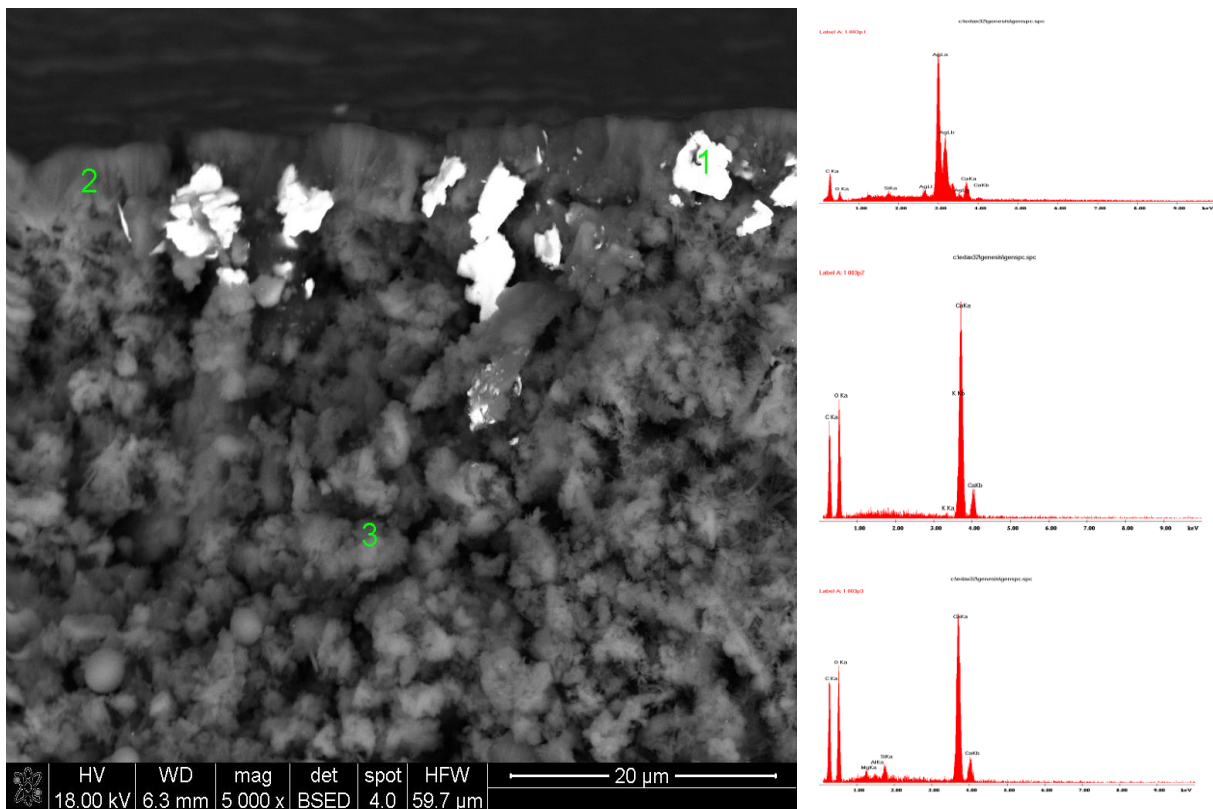
*Tabela 5. Współczynnik rozmiękania przy zginaniu  $K_z$ .*  
*Table 5. The coefficient of softening in bending  $K_z$ .*

Oznakowanie	$R_{zs}$ , próbki suche, [MPa]	$R_{zm}$ , próbki mokre, [MPa]	$K_z=R_{zm}/R_{zs}$
K	$0,58 \pm 0,04$	$0,24 \pm 0,01$	0,41
K1x	$0,62 \pm 0,02$	$0,28 \pm 0,01$	0,45
K2x	$0,63 \pm 0,03$	$0,27 \pm 0,02$	0,43
ZAgK	$0,65 \pm 0,05$	$0,36 \pm 0,02$	0,56
ZAgK1x	$0,62 \pm 0,02$	$0,32 \pm 0,02$	0,52
ZAgK2x	$0,61 \pm 0,03$	$0,32 \pm 0,01$	0,53

#### **4. Analiza wpływu dodatku gruntu srebrzącego GAg10 zawierającego żywicę syntetyczną na zmianę mikrostruktury próbek.**

Badania mikrostruktury wybranych próbek przeprowadzono na nisko próżniowym mikroskopie skaningowym (SEM), wyposażonym w mikroanalizator rentgenowski ISIS. Przełomy badanych próbek nie były napyłane materiałem przewodzącym. W związku z tym aglomeraty cząstek metalicznego srebra (przewodzące) „świeciły” i prezentują się na poszczególnych mikrofotografiach jako białe plamy, co ułatwia ich identyfikację na powierzchni ceramicznej (nieprzewodzącej) matrycy.

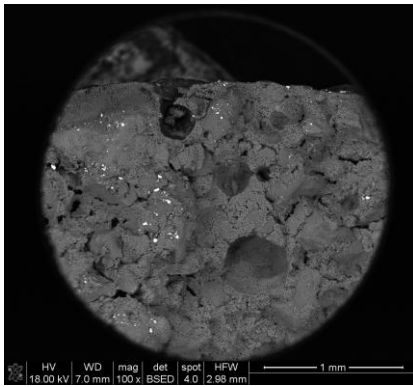
Poniżej prezentujemy wyniki badań prowadzonych na przełomach próbek.



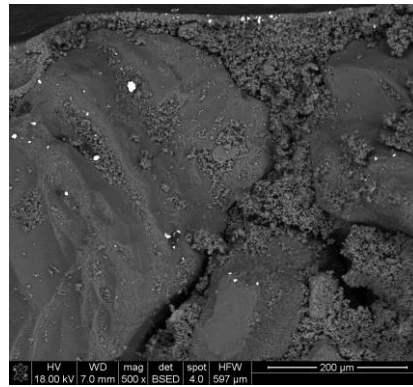
Rys.2. Mikrostruktura (SEM) zaprawy oznaczonej jako K1x, a więc zaprawa kontrolna malowana powierzchniowo syntetyczną żywicą zawierającą cząsteczki metalicznego srebra.  
 Fig. 2. Microstructure (SEM) of K1x mortar sample.

Dla zaprawy kontrolnej jednokrotnie powierzchniowo pomalowanej syntetyczną żywicą zawierającą cząstki metalicznego srebra (K1x) wykonano rentgenowską analizę pierwiastkową ISIS w punktach oznaczonych na mikrofotografii SEM (Rys. 2) cyframi 1, 2, 3. W jej wyniku możemy stwierdzić, że w badanej zaprawie ziarna piasku spojone są produktami hydratacji, a następnie karbonatyzacji cementu portlandzkiego i wapna hydratyzowanego, a więc głównie węglanu wapniowego (pkt. 2) z domieszkami glinokrzemianów (pkt.3). Implantowane (powierzchniowo w tym przypadku) cząsteczki metalicznego srebra widoczne są jako białe plamy, co potwierdzają wyniki mikroanalizy wykonanej w pkt.1.

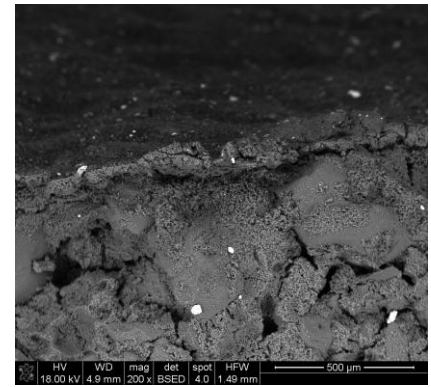
Na prezentowanych poniżej mikrofotografiach SEM, obserwujemy przełomy próbek zapraw implantowanych w masie żywicą syntetyczną zawierającą cząsteczki metalicznego srebra, na których widoczne są białe punkty pochodzące od Ag (Rys. 3). W próbkach dodatkowo malowanych gruntem GAg 10 (Rys. 4 i Rys. 5), oprócz cząstek srebra występujących w całej objętości zaprawy, obserwujemy dodatkowo ich występowanie na powierzchni.



Rys. 3. Próbką ZAgK  
Fig.3. ZAgK sample



Rys. 4. Próbką ZAgK1x  
Fig. 4. ZAgK1x sample



Rys. 5. Próbką ZAgK2x  
Fig. 5. ZAgK2x sample

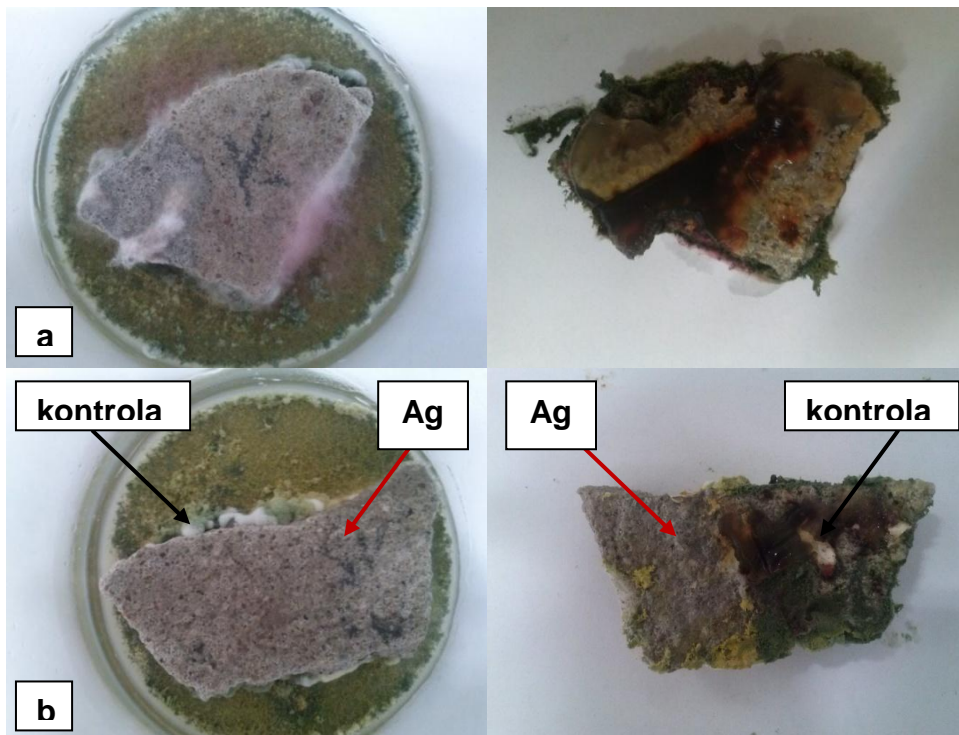
## 5. Badania porównawcze odporności testowanych zapraw na agresję biologiczną.

Doświadczenie, sprawdzające aktywność fungistatyczną zaprawy implantowanej gruntem srebrzącym wobec grzyba *Trichoderma koningii*, przeprowadzono w 250-ml, septycznych pojemnikach szklanych z użyciem standardowej pożywki glukozowo–ziemniaczanej. Eksperymenty zakładano w sterylnym podłożu ( $20 \text{ cm}^3$ ) zestalonym agarem, które szczepiono poprzez dyspersję powierzchniową  $5,5 \text{ cm}^3$  inokulum będącego zawiesiną zarodników testowanego grzyba w płynnej pożywce. Stężenie zarodników w inokulum wynosiło  $10^5 \text{ cfu/cm}^3$ . Następnie, na powierzchni tak przygotowanych podłoży umieszczano badane materiały i zamykano pojemniki w celu ograniczenia kontaminacji mikrobiologicznej badanych układów. Każdy eksperyment prowadzono przez trzy tygodnie. Po tym czasie, bazując na obserwacji makroskopowej - wizualnej ocenie wzrostu grzybni, w odniesieniu do odpowiedniej próby kontrolnej (zaprawy bazowej), określano podatność badanego materiału na zasiedlanie przez *Trichoderma koningii*, a równocześnie oceniano wrażliwość testowanego szczepu na obecność analizowanego dodatku.

Badania przeprowadzono w dwóch układach eksperymentalnych, z których każdy zawierał bazowe próby tynków (kontrola) oraz próby zawierająca dodatek srebra (Ag). Układy te różniły się kształtem badanych tynków (nieregularny lub krążki) oraz ich pochodzeniem i wiekiem tynków (stary tynk ok. 20-letni był jednokrotnie malowany z jednej strony gruntem srebronośnym o stężeniu wagowym srebra 0,32%, natomiast krążki - to nowa zaprawa tynkarska, gdzie do cieczy zarobowej dodano grunt srebronośny tak, że stężenie wagowe srebra w całości wynosiło 0,02%).

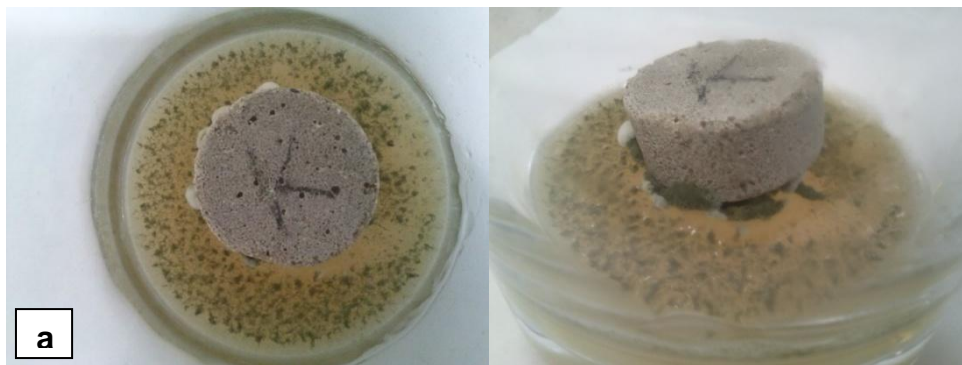
Wyniki eksperymentów potwierdziły, iż w przypadku stosowania dodatku Ag, rozwój grzybni zostaje znacząco ograniczony. Wizualna ocena wzrostu grzybni po upływie 3 tygodni, dokonana dla obu układów eksperymentalnych (Rys. 6, Rys. 7), potwierdza istotny efekt fungistatyczny. Jest on bardziej wyraźny dla krążków tynków (Rys. 7), niż dla próbek tynków o nieregularnych kształtach, pochodzących ze starego budownictwa. W tym przypadku dodatkowo zaobserwowano, że prócz właściwej grzybni *Trichoderma koningii*, w podłożu rozwinęły się również inne grzyby strzępkowe, tworząc grzybnię o odmiennym, niż *Trichodermy koningii*, kolorze strzępki i strukturze.





Rys. 6. Obraz makroskopowy trzytygodniowych hodowli grzyba *Trichoderma koningii* towarzyszących a) zaprawie bazowej b) próbkom tynków zawierających dodatek Ag na połowie eksponowanej powierzchni.

**Fig. 6.** Macroscopic picture 3 weeks culture the fungus *Trichoderma koningii* accompanying a) mortar base b) plaster samples containing Ag addition to half the exposed surface.





Rys. 7. Obraz makroskopowy trzytygodniowych hodowli grzyba *Trichoderma koningii* towarzyszących a) zaprawie bazowej b) próbkom tynków zawierających dodatek gruntu srebronośnego

Fig. 7. Macroscopic picture 3 weeks culture the fungus *Trichoderma koningii* accompanying a) mortar base b) samples containing additive ground plaster with silver

## 6. Podsumowanie wyników badań.

Malowanie powierzchni próbek zapraw srebronośnym gruntem GAg10, jak i wprowadzenie go jako składnika zestawu surowcowego przy otrzymywaniu badanych zapraw, nie wpłynęło w sposób istotny na ich własności mechaniczne. Zaobserwowano natomiast różnice (korzystne w porównaniu do zaprawy bazowej) na zmianę niektórych ich właściwości związanych z wtórnym kontaktem z wodą, a mianowicie:

- nasiąkliwość zapraw zawierających w swojej objętości grunt GAg10 uległa nieznacznemu zmniejszeniu.
- dodatek gruntu GAg10 do badanych zapraw wapienno cementowych, spowodował istotne obniżenie mierzonych wartości podciągania kapilarnego, zwłaszcza w pierwszych 6 h testu.
- współczynnik rozmiękania przy zginaniu ( $K_z$ ), w przypadku próbek wytworzonych z dodatkiem GAg10 wykazywały wyższe wartości. Malowanie powierzchni próbek nie miało istotnego wpływu.

Przeprowadzono badania aktywności fungistatycznej zaprawy implantowanej gruntem srebrzącym wobec wybranego grzyba *Trichoderma koningii*. Rezultaty hodowli grzyba w przypadku próbek tynków z naniesionym srebrem odnoszono do odpowiedniej kontroli wykonanej dla zaprawy bazowej. Badania przeprowadzone z użyciem zapraw tynkowych implantowanych srebrem wykazały, iż obecność Ag wywiera wyraźny wpływ na ograniczenie rozwoju grzybni, co potwierdza, zgodną z danymi literaturowymi, biobójczą aktywność tego pierwiastka także w proponowanych w tej pracy układach zapraw tynkarskich.

## Podziękowania

Praca badawcza współfinansowana przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, w ramach projektu "Opracowanie i wdrożenie na rynek biobójczego preparatu gruntującego" nr POIG.01.04.00-16-007/11-00 realizowanego w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka 2007-2013.

Joanna Barton jest stypendystką projektu „Stypendia doktoranckie - inwestycja w kadrę naukową województwa opolskiego” współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

## Literatura

1. Nabrdalik M., *Mikologia Lekarska* 14(3), (2007), 195-200.
2. Wołejko E., Matejczyk M., *Civil and Environmental Engineering Reports/ Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, 2, (2011), 191-195.
3. Nuhoglu Y., Oguz E., Uslu H., Ozbek A., Ipekoglu B., Ocak I., Hasenekoglu I. *Sci. Total Environ.*, 364, (2006), 272-283.
4. Nocuń-Wczelik W.: „Oddziaływanie mikroorganizmów na zaczyn cementowy – korozja- mechanizmy samo naprawcze”; X Ogólnopolska Konferencja „Korozja 2011”, Ryto 2011, Ochrona przed Korozją, LIV, (6/2011), 316-318.
5. Grossi C. M., Brimblecombe P. *Rev. Mat. Constr.*, 58, (2008), 143-160.
6. Janińska B., *Foundations of Civil and Environmental Engineering*, 3, Wyd. Politechniki Poznańskiej, (2002), 47—64.
7. Żakowska Z.: „Mikroorganizmy w procesie biodeterioracji i biodegradacji materiałów technicznych” w *Materiały IV Międzynarodowej Konferencji Naukowej. nt. „Rozkład i korozja mikrobiologiczna materiałów technicznych*, Łódź, (2006), 12-15.
8. Guiamet P. S., Rosato V., Gómez de Saravia S., García A. M., Moreno D. A. *J. Cult. Herit.*, 13, (2012), 339-344.
9. Andersson M.A., Nikulin M., Koljalg U., Andersson M.C., Rainey F., Reijula K., Hintikka E.L., Salkinoja-Salonen M., *Appl. Environ. Microb.*, (1997), 387-393.
10. Matthew c. Fisher, Daniel A. Henk, Cheryl J Briggs, John S. Brownstein, Lawrence C. Madoff, Sarah L. McCraw, Sarah J. Gurr, *Nature* 484, (2012), 186-194.
11. Ważny J. *Mat. X Konf. „KONTRA’96” Trwałość budowli i ochrona przed korozją*, Zakopane, 1996, 267-273.
12. Russel A.D., Chopra I., *Understanding Antibacterial Action and Resistance*. Horwood Ltd, Chichester (1990).
13. Tiano P. *Sci. Techn. Cult. Herit.*, 7, (1998), 19-38.
14. Janińska B., *Materiały budowlane*, 364, (2002), 56-59.
15. Ślusarczyk A., Kuczyńska H., *Polimery*, 49, (2004), 587.
16. Sharma V.K., Yngard R.A., Lin Y., *Adv. Colloid Interfac.* 145, (2009), 83.
17. Roth P.J., Theato P., *Chem. Mater.*, 20, (2008), 1614.
18. Sionkowski G., Kaczmarek H., *Polimery*, 55, (2010), 545.
19. Cioffi N., Torsi L., Sitaranto N., Ditaranto N., Tantillo G., Ghibelli L., Sabbatini L., Zamboni P.G., D’Alessio M., Bleve-Zacheo T., Traversa E., *Appl. Phys.*, 85, (2004), 2417-2419.
20. Jeon H-J., Yi S-Ch., Oh S-G., *Biomaterials*, 24, (2003), 4921.
21. Egger S., Lehmann R.P., Height M.J., Loessner M.J., Schuppler M., *Appl. Environ. Microb.*, 75, (2009), 2973-2976.
22. Fatexia S., Neves M.C., Almaeida A., Oliveira J., Trindade T., *Colloid Surface B*, 74, (2009), 304-308.
23. Hoet P., Bruske-Hohlfeld I., Salata O., *J. Nanobiotechno.* 2, (2004), 12-37.
24. Huang M., Knor E., Lim L., *Pharm. Res.*, 21, (2004), 344-353.
25. Zatorski W., Zapór L., Jankowska E., *Kompozyty*, 10, (2010), 3-10.