

# Wykorzystanie aktywnych form srebra w dezynfekcji

ZYGMUNT PEJSAK, KAZIMIERZ TARASIUK

Instytut Nauk Weterynaryjnych, Uniwersyteckie Centrum Medycyny Weterynaryjnej UJ-UR,  
Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków

Otrzymano 26.08.2020

Zaakceptowano 17.11.2020

Pejsak Z., Tarasiuk K.

## Silver nanoparticles in disinfection

### Summary

Infectious diseases, now especially African swine fever (ASF), represent a major challenge for swine production in Central and Eastern Europe. In the absence of other methods, biosecurity plays the most important role in control of infectious diseases in swine population. Among biosecurity methods, disinfection proved to be one of the most effective and economically viable tools.

Nanotechnology is an important, rapidly evolving multidisciplinary field. Achievements of nanotechnology are being used in many areas of science, such as biology, chemistry, physics, etc. Nanoproducts have been widely adopted for practical use in everyday life. For example, silver nanoparticles (AgNPs), thanks to their intrinsic antipathogenic properties and their ability to inactivate bacteria, viruses and fungi either photothermally or by photo catalysis (induced reactive oxygen generation), can offer methods alternative to classical disinfection protocols. It has been proved, both under laboratory conditions and in field veterinary practice, that AgNPs are very useful and efficient as a disinfectant of farm facilities.

**Keywords:** biosecurity, nanotechnology, nanoparticles, silver disinfection

Bioasekuracja, w tym prawidłowo przeprowadzona dezynfekcja, staje się podstawową strategią w zwalczaniu chorób zakaźnych i inwazyjnych zwierząt użytkowych. Powyższe związane jest m.in. z coraz lepszym zrozumieniem tego zagadnienia oraz postępowaniem technicznym i technologicznym w projektowaniu obiektów inwentarskich i szybko postępującymi, korzystnymi zmianami w zarządzaniu produkcją zwierzęcą. Istotny udział w omawianym zakresie ma rosnąca oporność bakterii na dostępne chemioterapeutyki. Coraz szybsze narastanie lekooporności związane jest m.in. z nadużywaniem antybiotyków, ich nieracjonalnym wykorzystywaniem oraz faktem, że prawie wszystkie szczepy bakterii zdolne są do tworzenia biofilmu. Wykazano, że lekooporność bakterii wchodzących w skład biofilmu narasta szybciej niż ma to miejsce w przypadku komórek wolno żyjących (2, 20).

Z wielu powodów, w tym ekonomicznych, zauważalne jest coraz mniejsze zainteresowanie firm farmaceutycznych poszukiwaniem i wprowadzaniem na rynek nowych antybiotyków. Jednocześnie potencjał badawczy firm kierowany jest na nowe obszary badań naukowych, których celem jest wypełnienie luki po wycofywanych stopniowo antybiotykach. Chemioterapeutyki, w tym antybiotyki, coraz powszechniej zastępowane są przez peptydy przeciwbak-

teryjne, probiotyki, prebiotyki, enzymy, zakwaszacze czy inhibitory wirulencji szczepów patogennych (6). W dobie globalnej konkurencyjności niebagatelny jest fakt, że koszty ochrony zdrowia oparte na bioasekuracji, w tym dezynfekcji, są znacznie niższe niż chemioterapia czy nawet profilaktyka swoista.

Mający miejsce w okresie ostatnich 20 lat dynamiczny rozwój nanotechnologii skierował uwagę naukowców na nowe możliwości wykorzystania m.in. w dezynfekcji, znanego w tym aspekcie od tysiącleci, srebra (21). Przedmiotem niniejszego opracowania jest przedstawienie skuteczności mikrobiologicznej aktywnych form srebra jako składnika czynnego w produktach do dezynfekcji.

Należące do metali ciężkich srebro jest pierwiastkiem śladowym niezbędnym dla prawidłowego funkcjonowania organizmu ludzi i zwierząt. Szczególną cechą tego metalu są właściwości bakterio-, wiruso- i grzybobójcze (3, 12, 13, 18). Nie znając mechanizmów ani spektrum działania tego pierwiastka w lecznictwie, srebro (związki srebra) wykorzystywane jest od tysiącleci. Już w starożytności znano bójcze właściwości tego pierwiastka. Hipokrates określał srebro jako materiał mający właściwości uzdrawiające i przeciwochorobowe. Egipcjanie wiedzieli, że rany goją się lepiej i szybciej pod wpływem srebra. Zdając

sobie sprawę z właściwości srebra, wodę czy wino pito ze srebrnych naczyń. Srebrne monety wrzucano do pojemników z wodą czy z mlekiem, co przedłużało trwałość tych płynów (20). Już w XIX w. sole srebra i jego koloidy były powszechnie stosowane w leczeniu powikłań mających miejsce w przypadku oparzeń, owrzodzeń, w przypadkach posocznicy i w wielu innych stanach chorobowych związanych z zakażeniami bakteryjnymi. Związki srebra stosowano powszechnie w leczeniu ran podczas I wojny światowej. Odkrycie antybiotyków spowodowało wycofanie się z powszechnego stosowania związków srebra w terapii ran. Z kolei rozwój nanotechnologii i narastająca lekooporność bakterii na chemioterapeutyki stworzyła pole do ponownego zainteresowania się unikalnymi właściwościami srebra. Udowodniono ponad wszelką wątpliwość, że nanocząstki (NPs – nanoparticles) srebra działają bakterio-bójczo i bakteriostatycznie, hamują wzrost grzybów i pierwotniaków (3, 12, 13, 18), posiadają także właściwości przeciwwirusowe (3, 12, 13, 18). Wymienione cechy wskazują, że można przypisać nanocząstkom właściwości odkażające.

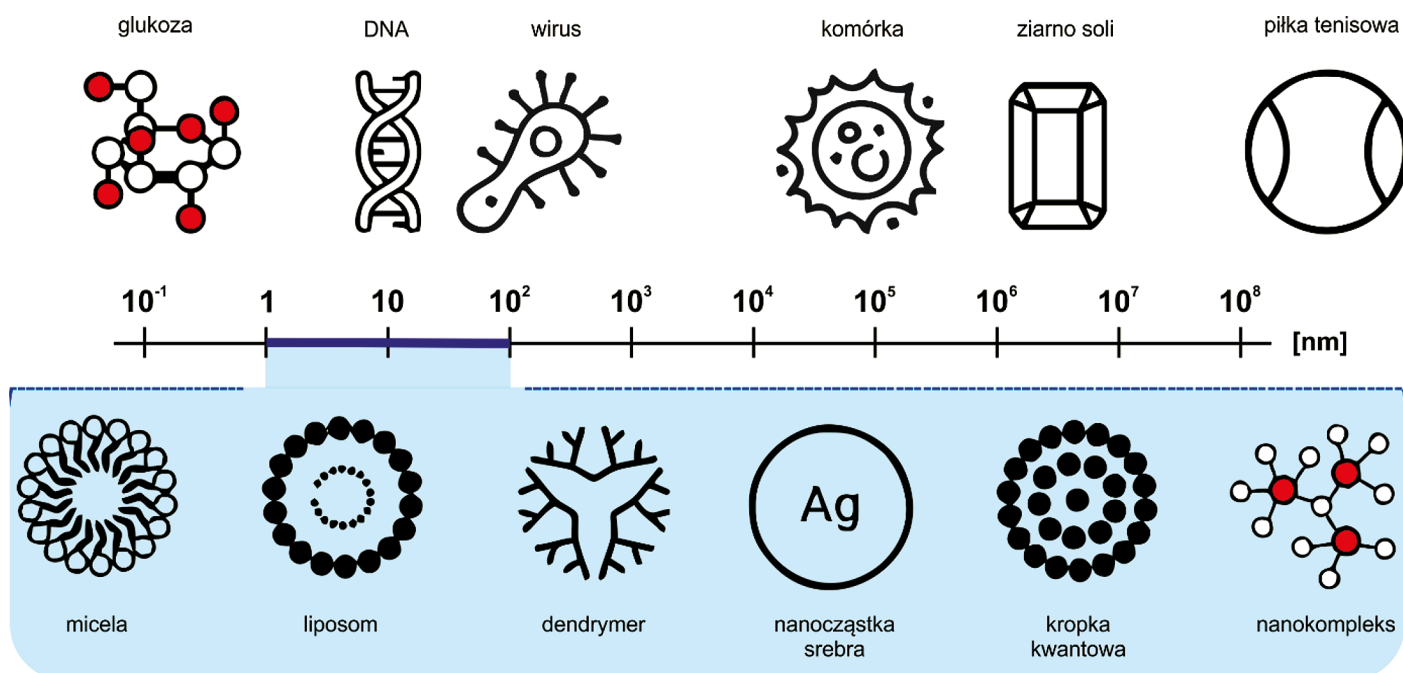
W okresie ostatnich kilkunastu lat nanocząstki srebra (aktywne formy srebra) zostały powszechnie wprowadzone do różnych dziedzin naszego życia. Wykorzystywanie nanocząstek srebra oraz różnych innych metali stało się tak częste, że niektórzy naukowcy, przede wszystkim z obszaru toksykologii środowiskowej, zwracają uwagę, iż gwałtownie upowszechniające się stosowanie nanocząstek, w tym m.in. nanocząstek srebra, może w określonych sytuacjach niekorzystnie oddziaływać na środowisko (1). Między innymi z tego powodu przy projektowaniu środków do dezynfekcji zawierających aktywne formy srebra istotne jest dobranie odpowiedniego stężenia tego pierwiastka

zapewniającego skuteczność biobójczą produktu przy jednoczesnym ograniczeniu toksyczności metalicznego srebra (11, 21).

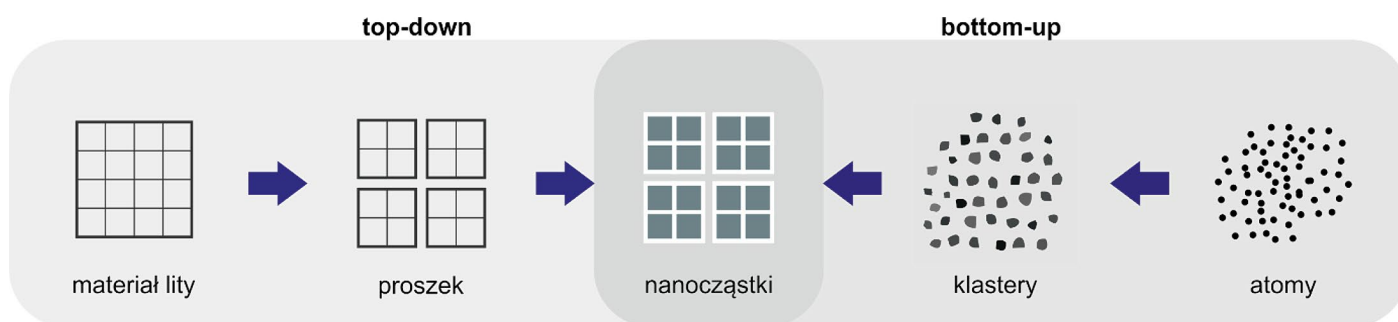
### Nanotechnologia jako nauka przyszłości

Jak już wspomniano, zastosowanie srebra w postaci nanocząstek stało się możliwe dzięki nanotechnologii. Nanotechnologia jest stosunkowo młodą dziedziną nauki; początki tej dyscypliny naukowej datują się na lata sześćdziesiąte XX w. W 1958 r. amerykański fizyk teoretyk Richard Feynman opublikował pracę pt. „There’s a plenty of room at the bottom”, w której sugerował, że nie ma takiego prawa fizycznego, które mówiłoby o tym, że nie jest możliwe operowanie pojedynczymi atomami, a jedynym ograniczeniem jest brak technik, które byłyby wystarczająco precyzyjne, aby to zrobić (8). Korzystając z wyników badań wielu znanych ośrodków naukowych, w tym między innymi dzięki pracy Feynmana, około 20 lat później w Szwajcarii zbudowano pierwszy skaningowy mikroskop tunelowy, który umożliwił badanie materiałów i operacje na nich z dokładnością do pojedynczych atomów. Wydarzenie to było przełomem w rozwoju nanotechnologii (20).

Nanotechnologia jest nauką na pograniczu chemii, fizyki i inżynierii materiałowej oraz wielu innych gałęzi nauki. Swoje istnienie zawdzięcza rozwojowi dziedziny pochodnej – mikroelektronice. Nanotechnologia umożliwia kontrolowane tworzenie i stosowanie różnych struktur i materiałów o rozmiarach nanometrycznych, czyli zbliżonych do rozmiarów pojedynczych atomów i cząsteczek. Warto przypomnieć, że *nano* to przedrostek oznaczający mnożnik  $0,000\ 000\ 001 = 10^{-9}$ , czyli miliardową część. Oznacza to, że 1 metr = 1 000 000 000 nanometrów (nm).



Ryc. 1. Skala nanometryczna (<http://smartnanotechnologies.com.pl/#nanotechnology>)



Ryc. 2. Schemat otrzymywania nanocząstek

W przypadku nanocząstki przynajmniej jeden jej wymiar musi mieć mniej niż 100 nm. By wyobrazić sobie, co oznacza 1 nm warto wiedzieć, że ludzki włos ma średnicę ok. 80 000 nm, przeciętna kartka papieru ma 100 000 nm grubości, natomiast ziarno soli to rząd  $10^6$ - $10^7$  nm (ryc. 1).

Nanocząstki charakteryzują się wysokim stosunkiem powierzchni do objętości, rosnącym w miarę zmniejszania się ich rozmiaru. Im są mniejsze, tym mają większą aktywność (16). Aktualnie dysponujemy szeregiem technik umożliwiających syntezę NPs o ściśle określonych właściwościach fizykochemicznych i znanym potencjale biologicznym. Synteza NPs może być przeprowadzona na drodze chemicznej, fizycznej, fizykochemicznej lub biologicznej (biogenicznej) (10). Najtańsze w procesie produkcyjnym metody syntezy biologicznej wykorzystują różnego rodzaju ekstrakty roślinne jako reduktory jonów srebra (18). Sam proces ich tworzenia może zachodzić na dwa sposoby. Metoda top-down polega na rozdrabnianiu materiału tak długo, aż pojedyncze cząstki będą miały rozmiar w skali nano, zaś metoda bottom-up – na budowaniu nanostruktur, wychodząc od pojedynczych atomów (ryc. 2). Głównym narzędziem tych procesów są metody dyspergujące (13). Pojedyncze nanocząstki wykorzystuje się do budowania tak zwanych nanostruktur. Według definicji proponowanej przez Komisję Europejską terminem „nanostruktury” określa się takie struktury, które przynajmniej w jednym wymiarze zewnętrznym mają rozmiar od 1 do 100 nanometrów. Z kolei nanomateriał to struktura, w skład której wchodzi przynajmniej 50% struktur lub cząstek o takich rozmiarach (13).

Z technologicznego punktu widzenia granice te są umowne, bowiem istotą natury nanomateriałów jest fakt, iż poniżej pewnych granicznych rozmiarów dominujące znaczenie mają efekty kwantowe, a zachowania tak małych obiektów nie da się wytłumaczyć za pomocą praw mechaniki klasycznej. W efekcie właściwości takich materiałów znacząco różnią się od właściwości tych samych materiałów w skali makroskopowej.

Unikalne właściwości: spektroskopowe, magnetyczne, strukturalne czy biologiczne są powodem nowych zastosowań tych materiałów. Szczególne znaczenie ma możliwość przenikania nanocząstek przez większość barier, także tych biologicznych, zjawisko to stoi

u podstawy aktywności nanocząstek w zwalczaniu mikroorganizmów. Drugą ważną praktyczną właściwością nanocząstek jest rozwinięcie powierzchni właściwej. Powierzchnia właściwa jest parametrem, który wyraża wielkość powierzchni przypadającej na jednostkę jej ilości. Dla nanomateriałów parametr ten jest bardzo wysoki, np. powierzchnia właściwa nanocząstek krzemu zawartych w objętości zbliżonej do kropli deszczu jest porównywalna do powierzchni dużego boiska piłkarskiego. Jest to szczególnie ważne w kontekście rozważania aktywności mikrobiologicznej nanocząstek, gdzie niezbędny jest mechanizm kontaktowy (13, 20).

Niewątpliwie o wzroście zainteresowania nanocząstkami zadecydowało istotne obniżenie ceny preparatów. Wystarczy bardzo niewielka ilość nanomateriału, aby osiągnąć zamierzony efekt. W praktyce zastosowanie mają nanocząstki takich metali, jak: tlenku złota, tlenku cynku, tlenku tytanu, tlenku magnezu, tlenku miedzi i wielu innych. Z pewnością najszerze zainteresowanie nauki i praktyki wzbudzają nanocząstki srebra (AgNPs) (11, 15). W przypadku srebra nanocząstki z wielu wyżej wymienionych powodów powszechnie zastąpiły srebro jonowe. W omawianym przypadku ważne znaczenie ma fakt, że AgNPs są zdecydowanie bardziej bezpieczne od srebra jonowego, a ich potencjał antybakteryjny może być wyraźnie wzmacniany różnymi sposobami, w tym poprzez połączenie z określonymi antybiotykami (5, 6).

### Możliwości zastosowania nanocząstek srebra

Srebro, zazwyczaj w postaci właśnie AgNPs, znajduje zastosowanie w produkcji materiałów budowlanych i farb. Nanocząstki srebra wykorzystuje się w powlekaniu płytek ceramicznych (glazury). Farby z takim dodatkiem wykorzystywane są do pokrywania powierzchni aparatury medycznej oraz powierzchni pomieszczeń w ośrodkach zdrowia, laboratoriach czy coraz częściej w budynkach inwentarskich. Wiele materiałów, z których wykonywane są sprzęty stosowane w chirurgii czy stomatologii, wzbogacone są właśnie o dodatek tego metalu szlachetnego. Związki srebra wykorzystuje się również do impregnacji materiałów medycznych, dezynfekcji respiratorów, inhalatorów, aparatury do spirometrii czy produkcji materiałów opatrunkowych (20). Co najważniejsze w medycy-



nie, struktury w skali nano umożliwiły modyfikację struktury farmaceutyków w obiekty submikroskopowe. Coraz większą uwagę poświęca się zastosowaniu AgNPs w opracowywaniu nowej generacji narzędzi do diagnostyki i leczenia nowotworów. Nanosrebro wykorzystuje się także w terapii oparzeń, urazów skóry czy w leczeniu grzybic i zakażeń bakteryjnych np. jako nośnik w dostarczaniu antybiotyków do miejsca infekcji bakteryjnej. Srebro jest obecnie często stosowane w kosmologii oraz w dezynfekcji, w tym dezynfekcji systemów wodnych i produkcji filtrów do wody. Można stwierdzić, że z powodu swoich właściwości AgNPs stały się najbardziej skomercjalizowanymi nanocząstkami metali (13).

### **Mechanizm bakteriobójczego działania nanocząstek srebra**

Uważa się, że działanie AgNPs ma charakter plejotropowy – wielokierunkowy. Wykazano, że im mniejsze są nanocząstki, tym większa jest skuteczność bójcza AgNPs wobec bakterii; znaczenie ma również kształt nanocząstek.

Wiadomo już, że AgNPs trwale łączą się ze ścianami komórkowymi bakterii, reagując z odsłoniętymi peptydoglikanami, przez co blokują możliwość oddychania komórkowego i znacząco osłabiają funkcjonowanie całej komórki. Tego typu peptydoglikany nie występują w komórkach ssaków, a więc srebro nie stanowi dla nich zagrożenia. Ponadto, nanocząstki srebra stopniowo uwalniają jony srebra, które wnikają do wnętrza komórek, gdzie działają jako katalizator utleniania materiału genetycznego.

Nanocząstki prowadzą do denaturacji kluczowych białek enzymatycznych bakterii, co skutkuje wzrostem wewnątrzkomórkowego stężenia reaktywnych form tlenu i przyczynia się do śmierci mikroorganizmu na skutek stresu oksydacyjnego. Nanocząstki srebra wiążąc się z DNA mogą przyczyniać się do zahamowania replikacji mikroorganizmów. Poprzez defosforylację reszt tyrozynowych mogą prowadzić do zaburzeń w procesie rekombinacji i replikacji materiału genetycznego (20).

Różne mechanizmy działania AgNPs zapewniają nie tylko wysoką skuteczność, ale także w stopniu istotnym uniemożliwiają wytworzenie oporności w stosunku do srebra (jak to ma miejsce w przypadku antybiotyków). Wykazano aktywność bakteriobójczą nanocząstek srebra w stosunku do około 650 rodzajów bakterii. Są jednak drobnoustroje bakteryjne cechujące się opornością na działanie AgNPs. Oporność niektórych bakterii może być związana z akumulacją nanocząstek na powierzchni przestrzeni międzykomórkowych.

### **Zastosowanie nanocząstek srebra w dezynfekcji**

Ze względu na swoje właściwości, srebro już tysiące lat temu było wykorzystywane w zwalczaniu zakażeń

mimo, że nie znano mechanizmów jego działania. W XIX w. opierając się na wynikach badań biologów, związki srebra z sulfadiazyną czy azotanem srebra ( $\text{AgNO}_3$ ) zaczęto wykorzystywać jako środek odkażający (dezynfekcyjny) przede wszystkim w szpitalach.

Zastosowanie nanocząstek w dezynfekcji uzasadniają wyniki stosunkowo nowych badań laboratoryjnych wskazujące, iż w reakcji z grupą tiolową (-SH) nanocząstki srebra łączą się z białkiem mikroorganizmu, co prowadzi do jego inaktywacji. Proces ten uznawany jest za jeden z głównych mechanizmów inaktywacji mikroorganizmów. Należy zdawać sobie sprawę z faktu, że nanocząstki srebra stopniowo uwalniają jony srebra, które wnikają do wnętrza komórki bakteryjnej, taki mechanizm działania zapewnia nie tylko wysoką skuteczność, ale także w stopniu zasadniczym uniemożliwia lub co najmniej utrudnia wytworzenie oporności bakterii w stosunku do srebra.

Można stwierdzić, że w związku z ubikwitarным występowaniem wielu warunkowo i bezwzględnie chorobotwórczych mikroorganizmów, a w konsekwencji nieprzerwanym narażeniem ludzi i zwierząt na ich oddziaływanie, nanosrebro, ze względu na skuteczność działania, bezpieczeństwo i coraz bardziej przystępną cenę, odgrywa coraz ważniejszą rolę w antyseptyce i dezynfekcji (17). Nanocząstki srebra zaczynają spełniać ważną rolę w różnych aspektach bioasekuracji, której elementem jest dezynfekcja okresowa (dezynfekcja pomieszczeń bez obecności zwierząt) i bieżąca (dezynfekcja pomieszczeń, w których przebywają zwierzęta) prowadzona np. poprzez zamglawianie (7). W omawianym kontekście warto wspomnieć, że od kilku lat dostępne są, opracowane po raz pierwszy w USA, farby malarskie zawierające nanocząstki srebra (w stężeniu 30 ppm). Takie stężenie srebra nie pozwala na rozwijanie się drobnoustrojów na powierzchniach malowanych tymi farbami. Nanocząsteczki srebra wprowadzane są do farb do malowania powierzchni inwentarskich nie tylko w aspekcie zwalczania mikroorganizmów, ale także stawonogów, w tym przede wszystkim much.

W Polsce dostępnych jest coraz więcej preparatów dezynfekcyjnych, w których substancją czynną są nanocząstki srebra. Niewątpliwą zaletą takich preparatów jest wspomniane już utrudnione wytworzenie oporności szczepów chorobotwórczych wobec substancji czynnej (srebra) (14).

Przykładem preparatu dezynfekcyjnego zawierającego w swoim składzie jako substancję czynną aktywne formy srebra jest opracowany i produkowany w naszym kraju preparat dezynfekcyjny Silveco+ (2000 ppm Ag) (prod. Smart Nanotechnologies S.A.). Preparat ten wykorzystywany jest już w wielu ośrodkach hodowli świń i drobiu. Analiza porównawcza właściwości biobójczych produktów do dezynfekcji dostępnych powszechnie na rynku, wykazała, że Silveco+ wykazuje największą skuteczność, w wa-

runkach *in vitro*, wobec szczepów *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella enterica* subsp. *enterica* serowar Typhimurium, *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae*. Produkt ten jako jeden z 3 na 10 badanych preparatów wykazał skuteczność wobec wszystkich badanych szczepów w stężeniu zalecanym przez producenta (4). Badania wykonane ostatnio m.in. przez Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu wykazały, że ujawnia on nie tylko skuteczność bakteriobójczą, ale – co niezwykle ważne – skuteczność wirusobójczą (badania nieopublikowane, dostępne u autora). Nanocząstki srebra są narzędziem, które może być w różnych aspektach wykorzystywane w zwalczaniu zakażeń wirusem SARS-Cov-2 (19). Warto zwrócić uwagę, że Polsce podjęto pierwsze próby wykorzystywania AgNPs do dezynfekcji pomieszczeń w szpitalach, w których leczone są osoby dotknięte COVID-19.

### Piśmiennictwo

1. Auffan M., Rose J., Bottero J., Lowry G., Jolivet J., Wiesner M.: Towards a definition of inorganic nanoparticles from environmental, health and safety perspective. *Nature Nanotechnology* 2009, 4, 634-665.
2. Balcazar J. L., Subritas J., Borrego C. M.: The role of biofilms as environmental reservoirs of antibiotic resistance. *Front. Microbiol.*, doi: 10.3389/fmicb.2015.01216.
3. Brady M. J., Lisay C. M., Yukovetskiy A. V., Sawan S. P.: Persistent silver disinfectant for the environmental control of pathogenic bacteria. *Am. J. Infect. Control* 2003, 4, 208-214.
4. Chmiel M. J., Szczerba A.: Analiza porównawcza właściwości przeciwbakteryjnych preparatów stosowanych do dezynfekcji w pomieszczeniach inwentarskich. *Woda-Środowisko-Obszary Wiejskie* 2017, 17, 37-49.
5. Chojniak J., Libera M., Król E., Paza G.: A nonspecific synergetic effect of biogenic silver nanoparticles and biosurfactant towards environmental bacteria and fungi. *Ecotoxicology* 2018, 27, 352-359.
6. Czaplewski L., Bax R., Clokie M., Dawson M.: Alternatives to antibiotics – a pipe portfolio review. *Lancet. Infect. Dis.* 2016, 16, 239, 251.
7. Deshmukh S., Patil S., Mullaui S., Delekar S. D.: Silver nanoparticles as an effective disinfectant: A review. *Mater. Sci. Eng. Mater. Biol. Apply.* 2019, 97, 954-965.
8. Feynman R. P.: There's Plenty of Room at the Bottom, *Engineering and Science magazine* 1960, 5, 22-26.
9. Hong S., Choi D. W., Kim H. N., Park C. G.: Protein-Based Nanoparticles as Drug Delivery System. *Pharmaceutics* 2020, 12, 604-610.
10. Irvani S., Korbekandi H., Mirmohamadi S. V., Zolfaghari B.: Synthesis of silver nanoparticles: chemical, physical, and biological methods. *Res. Pharm. Sci.* 2014, 9, 385-406.
11. Kalińska A., Jaworski S., Wierzbicki M., Gołębiowski M.: Silver and Copper Nanoparticles – An Alternative in Future Mastitis Treatment and Prevention. *International Journal of Molecular Sciences* 2019, doi: 10.3390/ijms20071672.
12. Maillard J. Y., Harteman P.: Silver as an antimicrobial: facts and gaps in knowledge. *Crit. Rev. Microbiol.* 2013, 39, 373-383.
13. Pulit J., Banach M., Kowalski Z.: Właściwości nanocząsteczek miedzi, platyny, srebra, złota i palladu. *Chemia* 2011, 10, 198-209.
14. Rai M., Yadav A., Gade A.: Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials, *Biotechnology Advances* 2009, 27, 76-83.
15. Rupareliaa J. P., Chatterjee A. K., Dutttaguptab S. P., Mukherjia S.: Strain specificity in antimicrobial activity of silver and copper nanoparticles. 2008, doi: 10.1016/j.actbio.2007.11.006.
16. Sanchez-Lopez E., Gomes D., Esteruales G.: Metal-Based Nanoparticles as Antimicrobial Agents: An Overview 2020, 10, 292-310.
17. Silvestry-Rodriguez N.: Silver as a disinfectant. *Rev. Envir. Contam. Toxicol.* 2007, 191, 23-45.
18. Speruda H., Kędziora A., Bugla-Plawińska G.: Antybakteryjne działanie nanocząsteczek srebra syntetyzowanych metodą zielonej chemii. *Med. Dośw. Mikrobiol.* 2017, 69, 281-289.
19. Weiss C., Carriere H., Fusco I.: Toward nanotechnology-enabled approaches against the COVID-19. *Am. Chemical Soc. Public Health Emergency Collect.* 2020, doi: 10.1021/acsnano.0c03697.
20. Wolska K. J., Markowska K., Wypij M., Glińska P., Dahn H.: Nanocząsteczki srebra synteza i biologiczna aktywność. *Kosmos* 2017, 66, 125-138.
21. Wzorek Z., Konopka M.: Nanosrebro – nowy środek bakteriobójczy. *Czasopismo Techniczne* 2007, 1, 175-181.

Adres autora: prof. dr hab. Zygmunt Pejsak, Instytut Nauk Weterynaryjnych, Uniwersyteckie Centrum Medycyny Weterynaryjnej UJ-UR, Al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków; e-mail: z@pejsak.pl