

Wykorzystanie nanomateriałów do dezynfekcji powierzchni i powietrza

dr inż. Amelia Staszowska
Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki
Politechnika Lubelska



Dezynfekcja



- **Czystość mikrobiologiczna powierzchni i powietrza** jest kluczowym warunkiem poprawnego przebiegu procesu leczenia i rekonwalescencji po przebytych zabiegach operacyjnych.
- Nadal jednak zakażenia wewnątrzszpitalne dotyczą ok. 10% hospitalizowanych pacjentów pomimo stosowanych zabiegów dezynfekcji i sterylizacji.
- 30% powierzchni dezynfekowanych ręcznie w szpitalach nie spełnia wymagań pod względem czystości mikrobiologicznej.



- Powietrze w pomieszczeniach jest środkiem transportu dla mikroorganizmów, które następnie opadają na różne powierzchnie.
- **Ograniczenie występowania mikroorganizmów chorobotwórczych na powierzchniach często dotykanych przez pacjentów i personel medyczny zmniejsza narażenie zawodowe wśród kadry medycznej i niemedycznej a także osób odwiedzających.**

Dezynfekcja

- **dezynfekcja** - zabieg z użyciem czynników fizycznych lub chemicznych, po którym **zmniejszona** zostanie liczba mikroorganizmów, w tym chorobotwórczych poprzez zniszczenie ich form żywych i przetrwalnikowych
- dezynfekcja termiczna
- dezynfekcja chemiczne
- dezynfekcja fizyczna

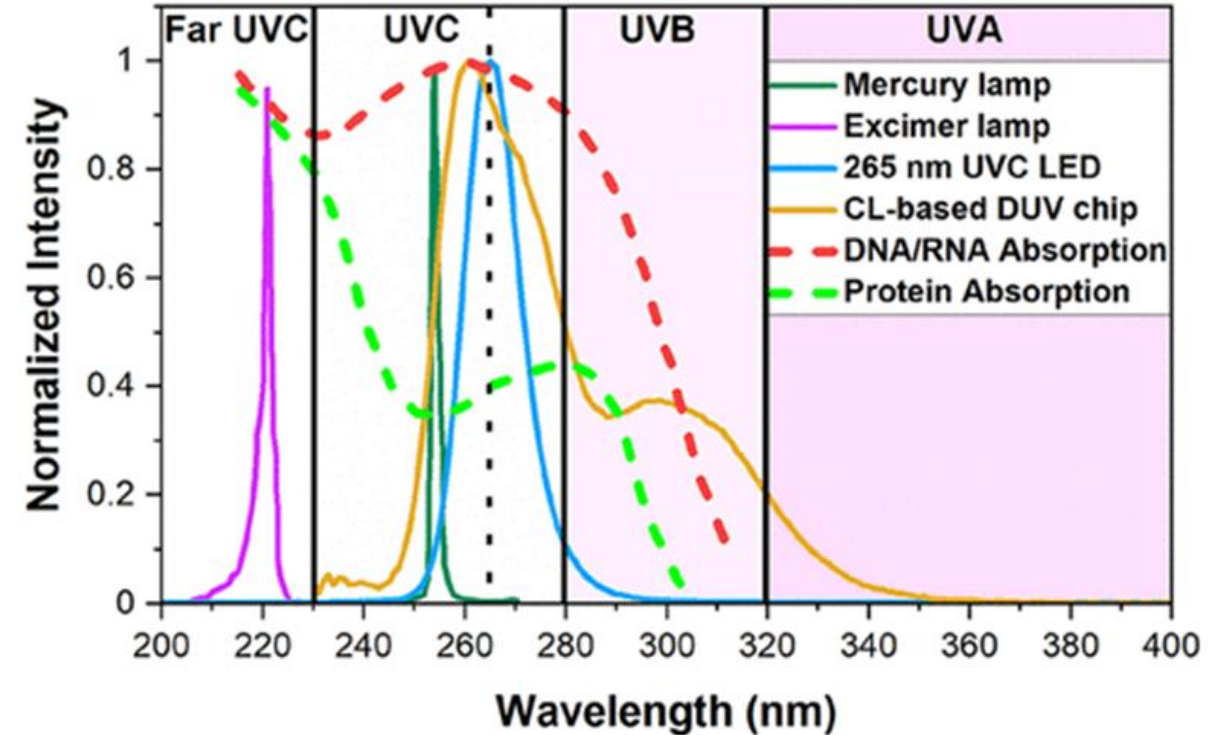
- **sterylizacja** - zabieg **usuwający** lub **niszczący** wszystkie mikroorganizmy

- skuteczność dezynfekcji – funkcja czasu i stężenia/ natężenia dezynfektanta



Dezynfekcja – promieniowanie UVC

- Biobójcze właściwości promieniowania ultrafioletowego (UVGI) są wykorzystywane do dezaktywacji wirusów, bakterii i grzybów.
- UVC, uszkadza strukturę kwasów nukleinowych i białek na poziomie molekularnym, przez co stają się one niezdolne do replikacji.
- Drobnoustroje mają zróżnicowaną wrażliwość na UVGI.
- **Najbardziej podatne na działanie promieniowania UVC są bakterie i wirusy, mniej drożdże, a najmniej pleśnie.**
- **Do dezynfekcji powierzchni stosuje się lampy bezpośredniego działania. Natomiast jednoczesną dezynfekcję powietrza i powierzchni zapewniają lampy dwufunkcyjne.**



Dezynfekcja - zamgławianie

- W czasach pandemii koronawirusa zyskała zainteresowania inna technika dezynfekcji tj. zamgławianie, które polega na uwalnianiu do powietrza drobnej mgiełki środka dezynfekującego (**nadtlenek wodoru**), która osadza się na wszystkich powierzchniach, eliminując patogeny.
- **Zamgławianie jest szczególnie przydatne w miejscach, do których trudno dotrzeć konwencjonalnymi metodami czyszczenia, takich jak sufity, ściany i powierzchnie urządzeń.**



Dezynfekcja chemiczna

- Najczęściej wykorzystuje się w tym celu preparaty oparte na **roztworach alkoholi (etanol, izopropanol), czwartorzędowe sole amoniowe, aldehydy (np. glutarowy, formaldehyd), środki utleniające, takie jak podchloryn sodu, nadtlenek wodoru, jod, fenole, związki metali (jodopowidon), biguanidy (chlorheksydyna i jej pochodne).**
- Produkty do dezynfekcji powinny wykazywać się wysoką skutecznością biobójczą (bakterio-, drożdżako-, wirusobójczą) przy jednoczesnym jak najmniejszym oddziaływaniu drażniącym lub uciążliwości zapachowej.
- W handlu dostępne są w postaci płynów, sprayów, żeli, gazików i chusteczek dezynfekujących.



Dezynfekcja „tradycyjna”

- Ma wady, do których należy zaliczyć w przypadku środków w formie płynnej - niszczenie dezynfekowanych powierzchni a w przypadku ludzi zmiany skórne, podrażnienie oczu, dróg oddechowych.
- **Użycie promieniowania UVC o długości fali 254nm jest wysoce szkodliwe dla organizmów żywych, zatem nie może być stosowane bezpośrednio w obecności ludzi.**
- Żywotność żarnika lampy również jest ograniczona i konieczna jest jego okresowa wymiana.
- Pośrednio zmniejszenie stężenia drobnoustrojów w powietrzu można uzyskać stosując odpowiednie systemy oczyszczania powietrza wykorzystujące filtry HEPA i filtry elektrostatyczne o udowodnionej wysokiej skuteczności do usuwania cząstek o wymiarach nawet poniżej $0,3\mu\text{m}$.
- W literaturze branżowej można również znaleźć doniesienia o możliwości **dezynfekcji powietrza z użyciem filtrów fotokatalitycznych i plazmowych**, jednakże ich skuteczność w tym zakresie jest dyskusyjna. Nie bez znaczenia jest również generowanie ubocznych produktów reakcji rodnikowych np. formaldehydu.
- **Stąd też istnieje konieczność poszukiwania innych alternatywnych metod dezynfekcji, które byłyby równie skuteczne co konwencjonalne i jednocześnie pozwalały na bezpieczne ich użytkowanie.**

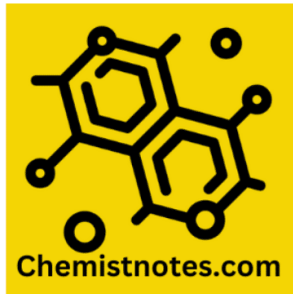
Nanomateriały



- Według Centrum Monitorowania Unii Europejskiej ds. Nanomateriałów **nanomateriały** definiuje się jako substancje chemiczne lub materiały o **wielkości cząstek od 1 do 100 nanometrów (nm)** w co najmniej jednym wymiarze.
- Z uwagi na **zwiększone pole powierzchni właściwej** nanomateriały mogą mieć inne właściwości w porównaniu z tym samym materiałem bez cech w nanoskali.
- Nanomateriałem według Komisji Europejskiej może być **naturalny, powstały przypadkowo lub wytworzony materiał** zawierający cząstki w stanie swobodnym lub w formie agregatu bądź aglomeratu, w którym co najmniej 50% cząstek w liczbowym rozkładzie wielkości ma co najmniej **jeden wymiar w zakresie 1–100 nm**.
- W drodze odstępstwa za nanomateriały należy uznać fulereny, płatki grafenowe oraz jednościenne nanorurki węglowe o co najmniej jednym wymiarze poniżej 1 nm.



Properties of Nanomaterials



Properties of
Nanomaterial

Mechanical properties

Thermal properties

Melting point

Electrical properties

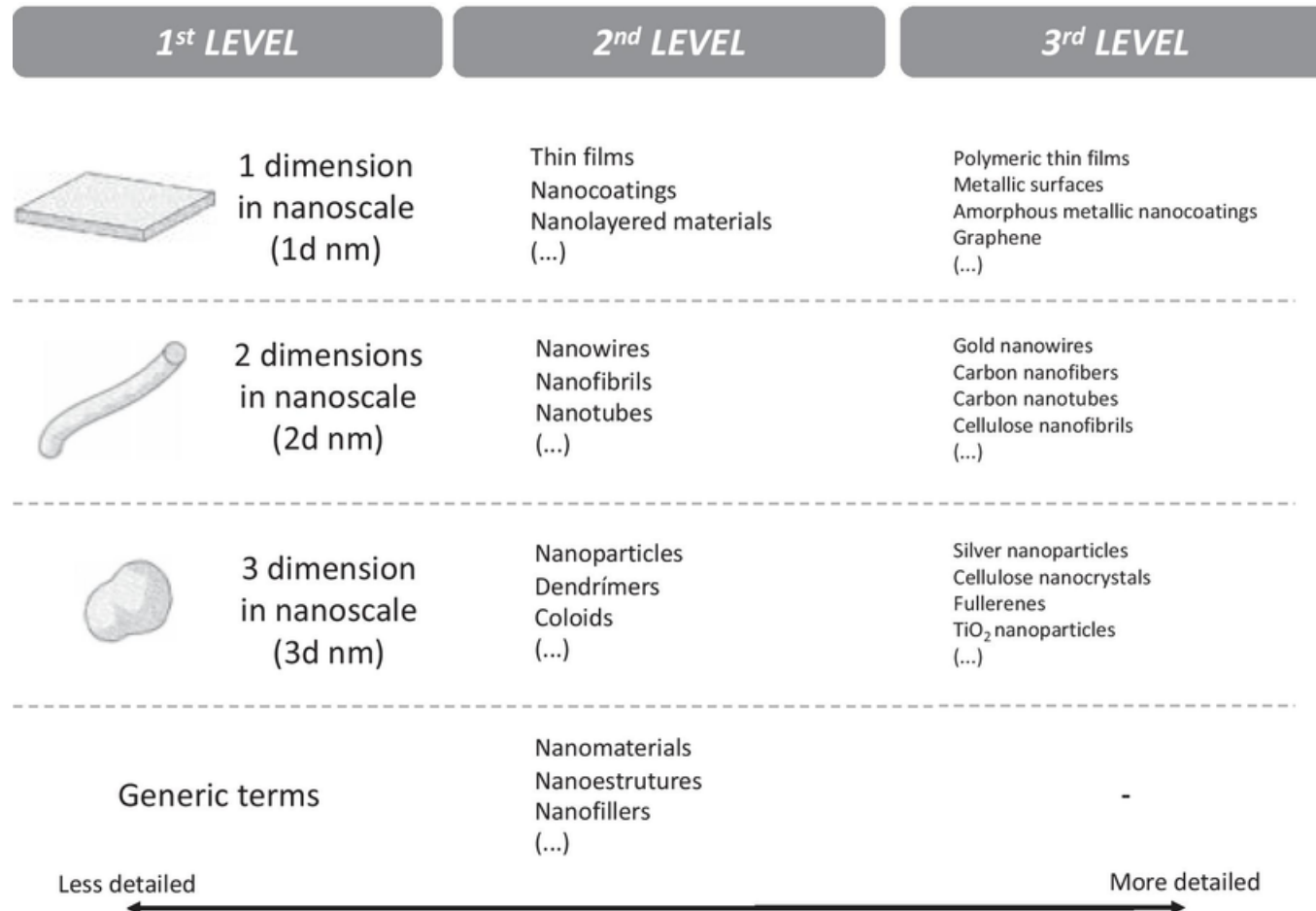
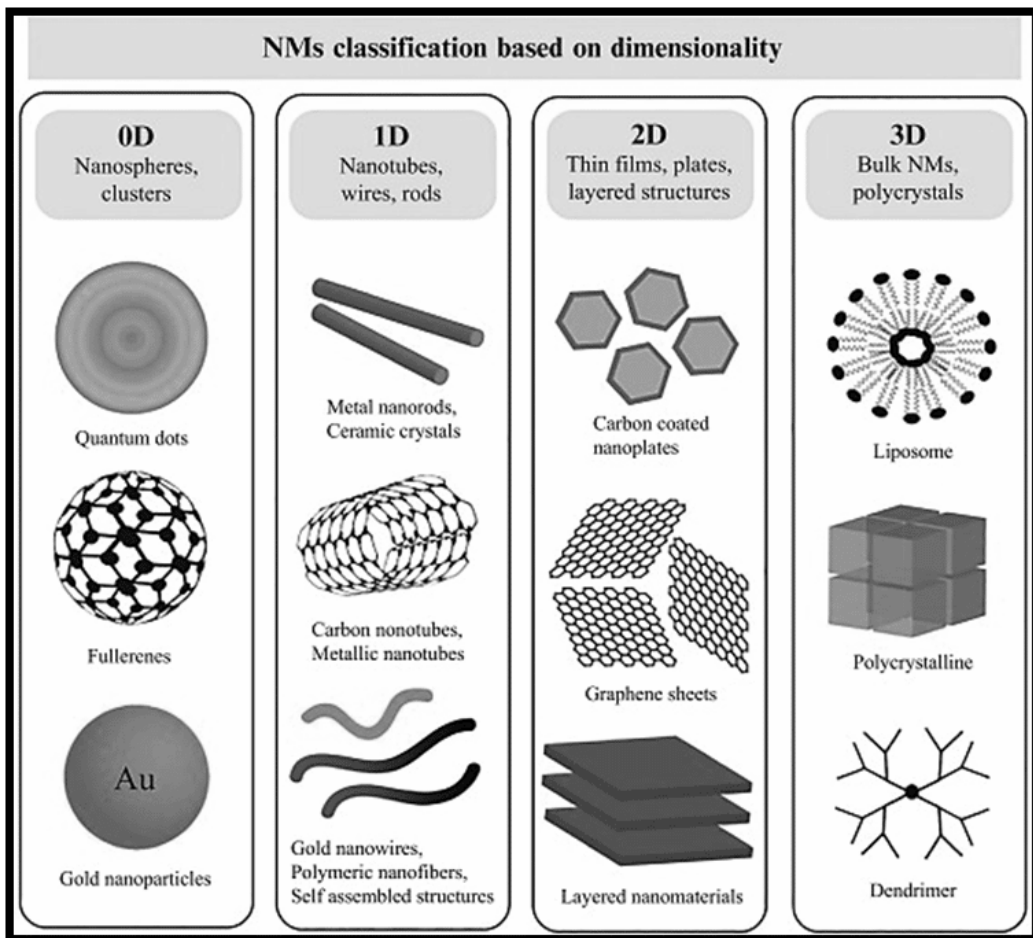
Magnetic properties

Catalytic properties

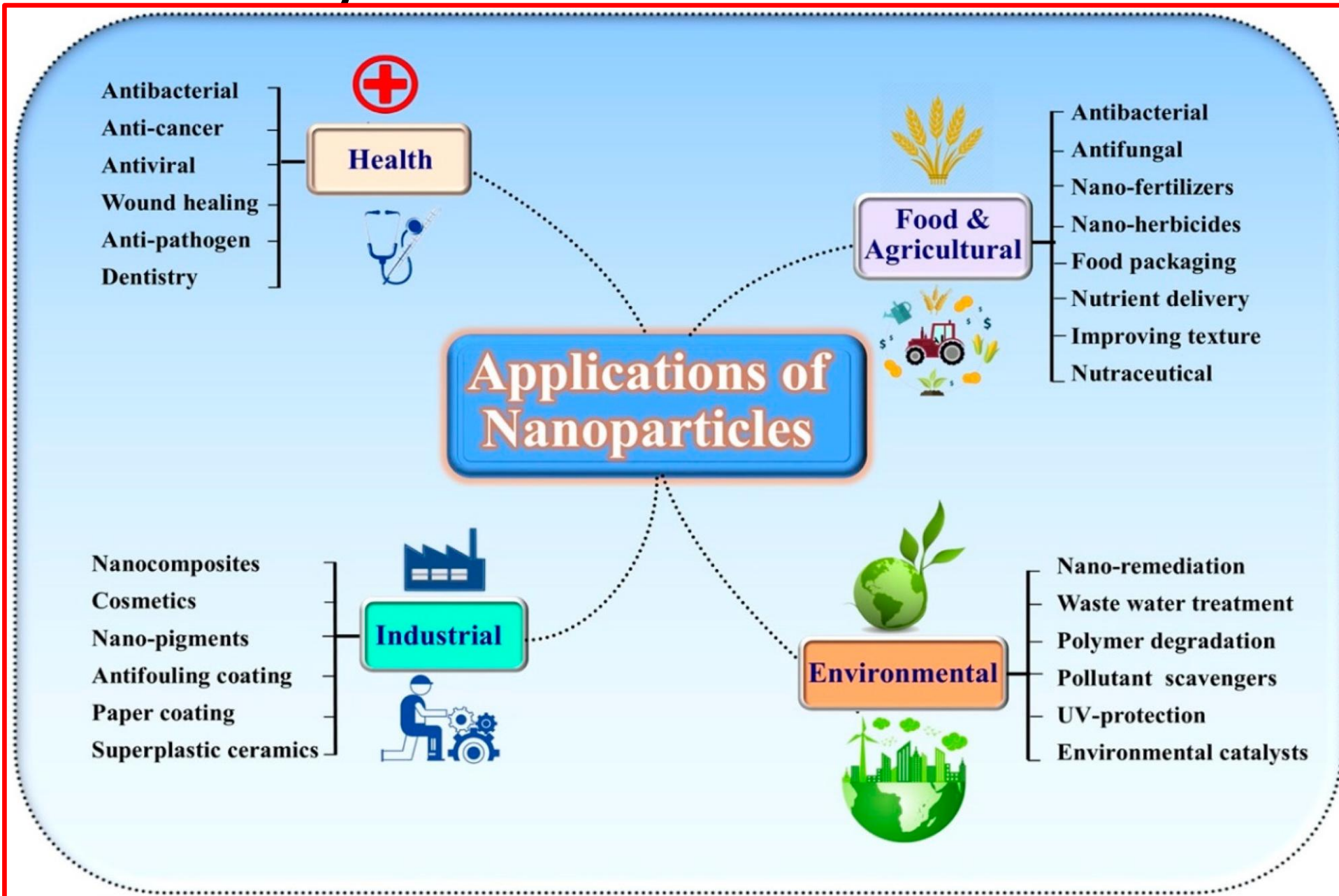
Diffusivity

Optical properties

Nanomateriały

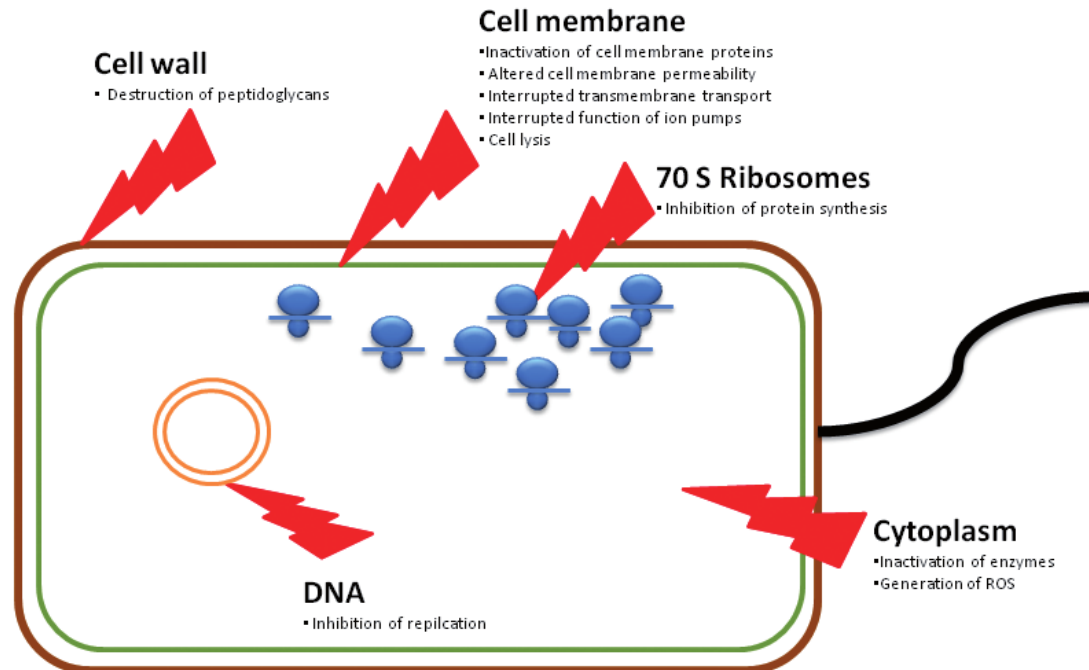


Nanomateriały - zastosowanie



Nanomateriały

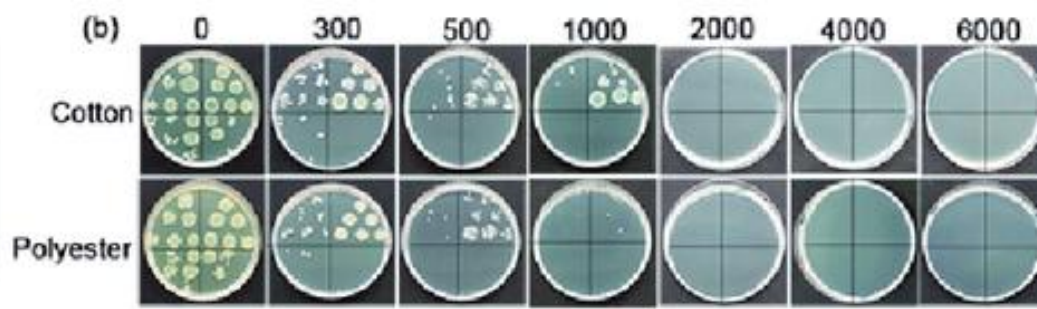
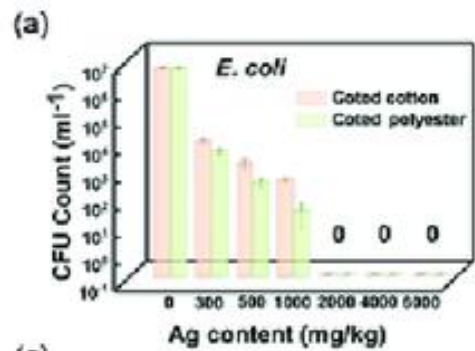
- Najczęściej do inaktywacji patogenów wykorzystuje się cztery grupy nanomateriałów: metale i ich tlenki, nanomateriały węglowe, siarkowe i azotowe.
- **Nanocząstki metali** hamują rozwój bakterii i wirusów za pomocą złożonego i nie do końca poznanego mechanizmu, który polega na mechanicznym uszkodzeniu struktur komórkowych, destabilizacji błony komórkowej i zwiększeniu jej przepuszczalności oraz powstawaniu reaktywnych form tlenu co jest szczególnie ważne w zwalczaniu wirusów.



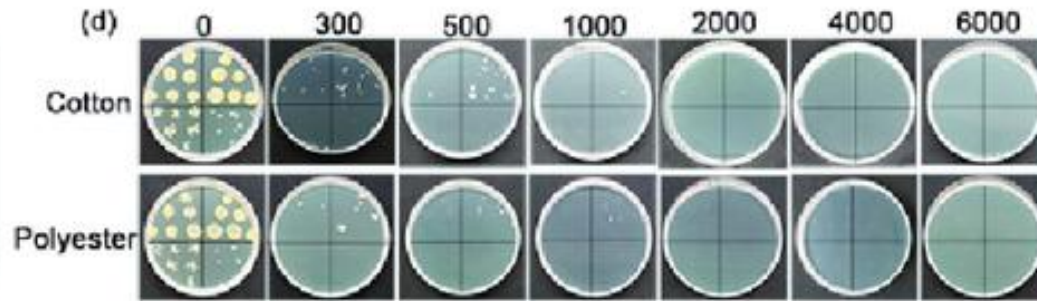
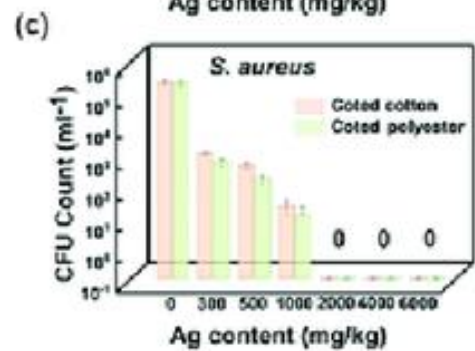
Nanomateriały



- Do najlepiej przebadanych nanocząstek metali należy **srebro**.
- Jego działanie biobójcze zostało szeroko udokumentowane w przypadku bakterii *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Bacillus cereus*, *Listeria innocua*, *Salmonella choleraesuis*.
- **Nanosrebro** można stosować jako składnik płynów do dezynfekcji (na rynku polskim pod terminem srebro koloidalne), środków do zamgławiania, ale także powłok samodezynfekujących na powierzchniach klamek, uchwytów, ram, blatów.
- Znane są również wyroby tekstylne z tym nanomateriałem stosowane do produkcji środków ochrony osobistej jak maseczki czy fartuchy.
- Nanosrebro może również ograniczać transmisję bioarozoli jako składnik materiałów do filtracji powietrza.
- Oprócz srebra, obiecujące wyniki w zakresie sterylizacji wykazują Cu (CuO, Cu₂O), Al (Al₂O₃), Bi (Bi₂O₃), Ce (CeO₂), Fe (Fe₂O₃), Mg (MgO), Ti (TiO₂) i Zn (ZnO) oraz ich mieszaniny.

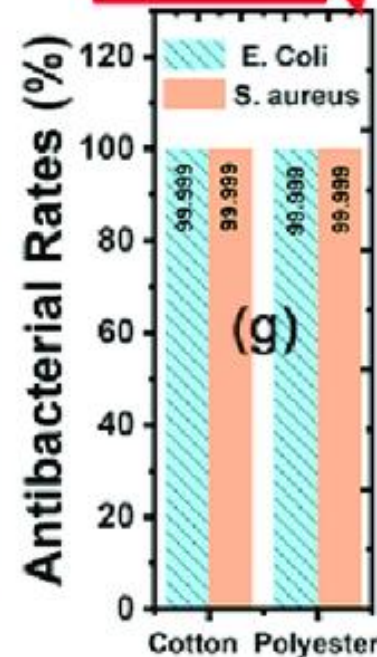
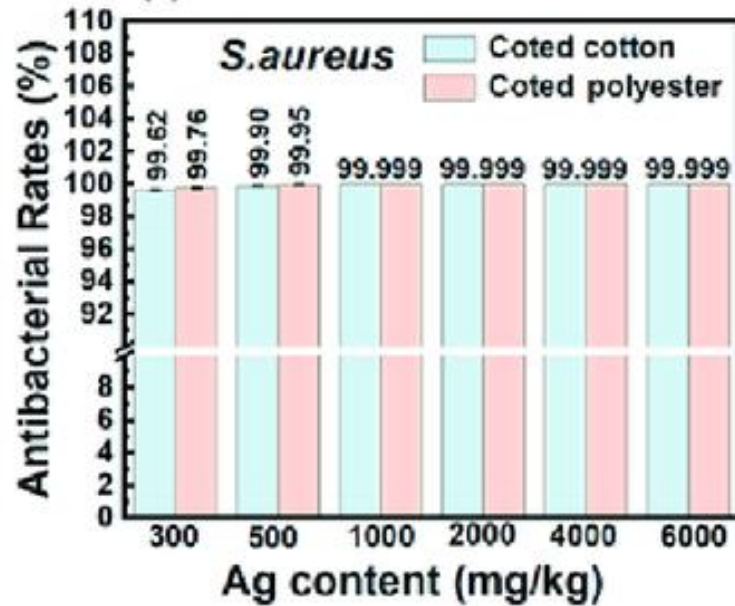
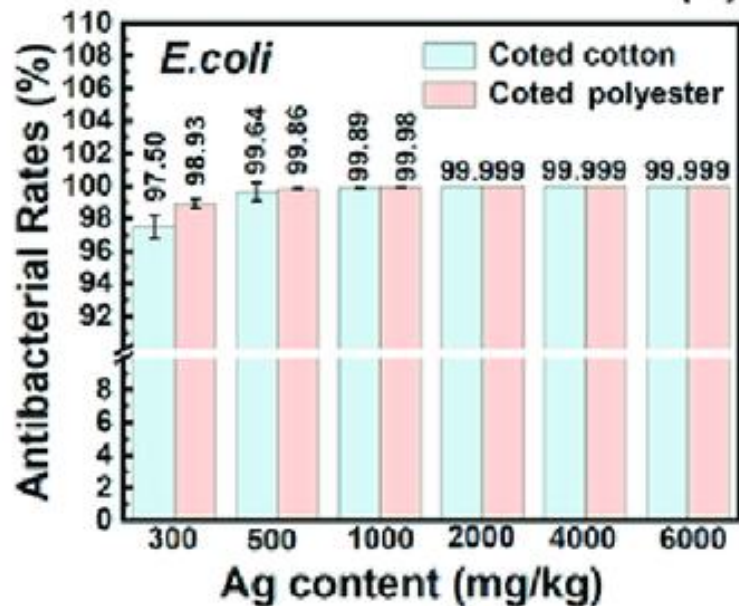


Fabrics worn 8000 times



(e)

(f)



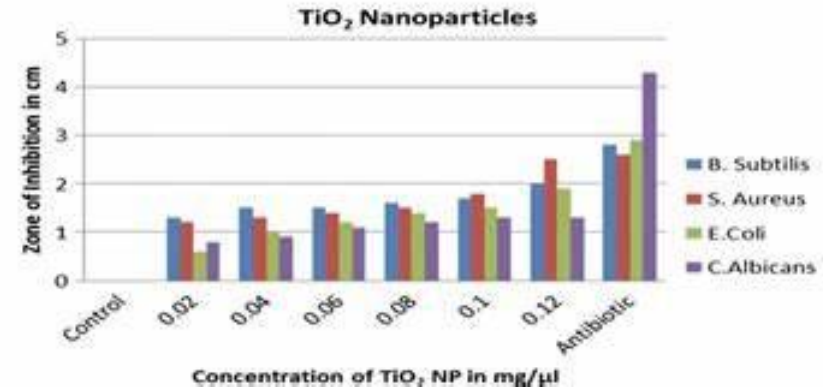
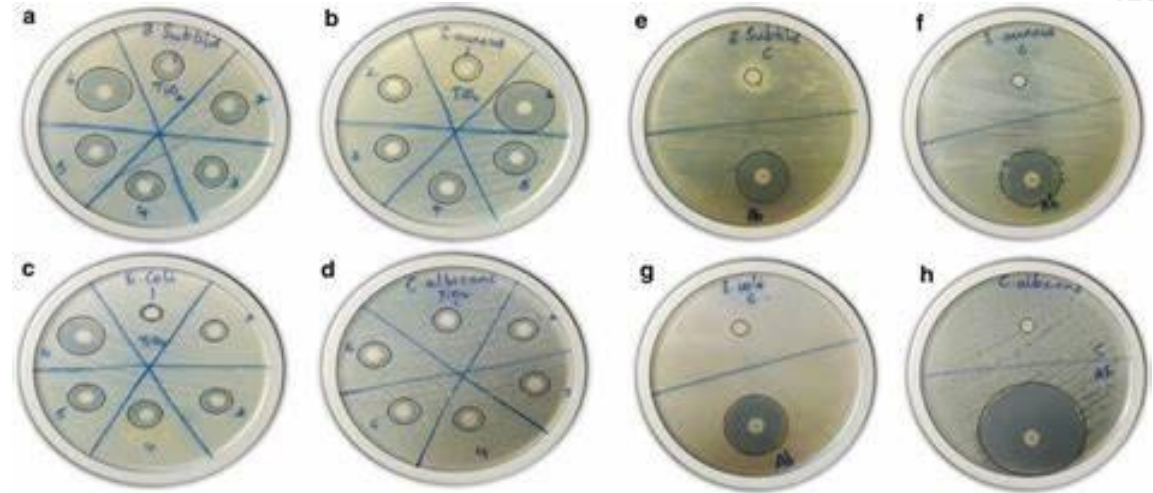
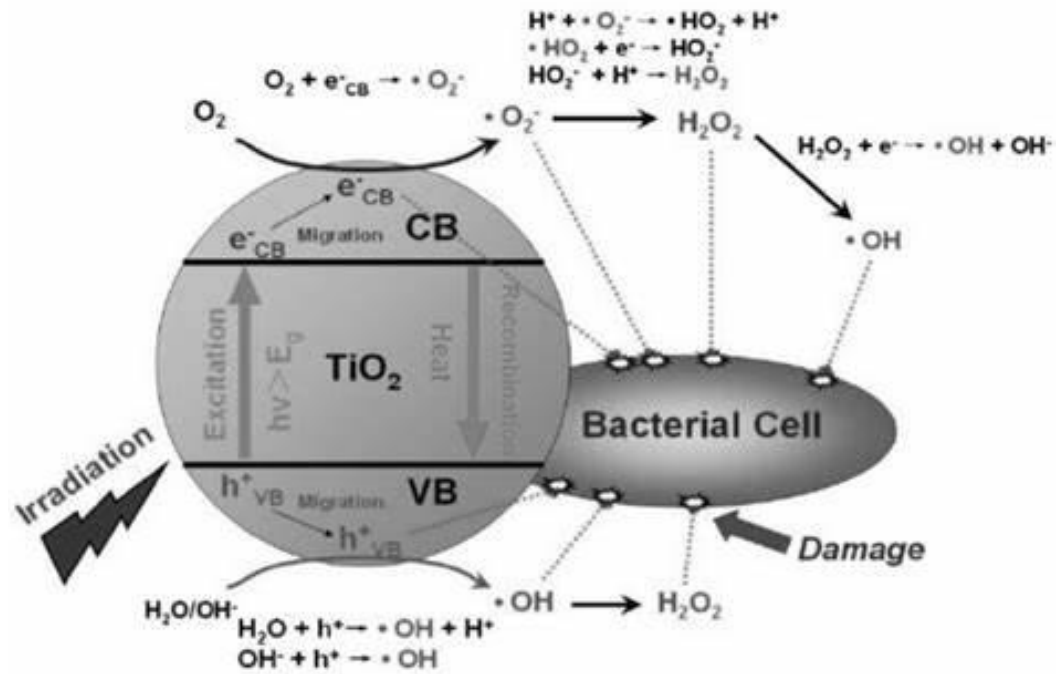
Nanomateriały



- **Nanostruktury dwutlenku tytanu (TiO_2)** wykorzystuje się m.in. do **fotokatalitycznej dezynfekcji**.
- TiO_2 tworzy aktywne powłoki antywirusowe przeciwko wirusom otoczkowym i bezotoczkowym m.in. ludzkiemu norowirusowi, wirusowi grypy A (A/PR8/H1N1) i wirusowi opryszczki pospolitej.
- Wymaga ona jednak użycia zewnętrznego promieniowania UVA, które jest konieczne do aktywacji fotokatalizatora a w pomieszczeniach nie ma swojego naturalnego źródła. Aby pokonać to ograniczenie stosuje się mechanizm domieszkowania TiO_2 innymi metalami (glin), co w konsekwencji rozszerza zakres pasma promieniowania aktywnego do światła widzialnego i znacznie wydłuża czas życia nośników ładunku wzbudzonych światłem (bizmut). Natomiast metale przejściowe jak wanad, żelazo, chrom, niob i nikiel mogą poprawić aktywność fotokatalityczną TiO_2 poprzez zwężenie przerwy energetycznej.
- Oprócz pierwiastków metalicznych, domieszkowane mogą być również niektóre pierwiastki niemetaliczne (azot, bor, węgiel, siarka).
- Podobne do TiO_2 właściwości w zakresie dezynfekcji i sterylizacji wykazują **nanomateriały oparte na cynku, miedzi i złocie**.



Nanomateriały



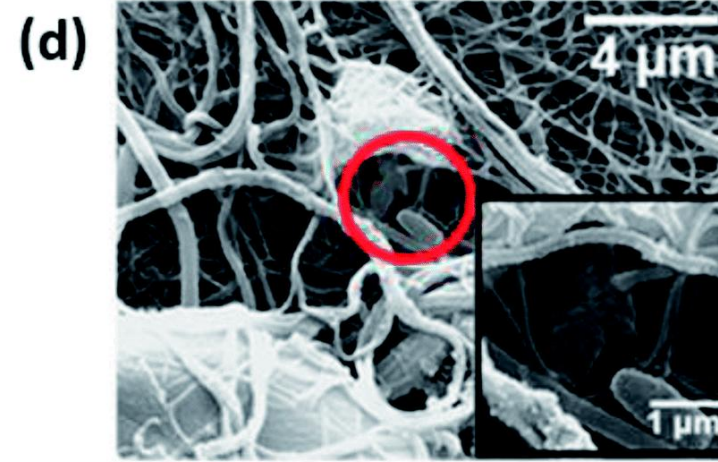
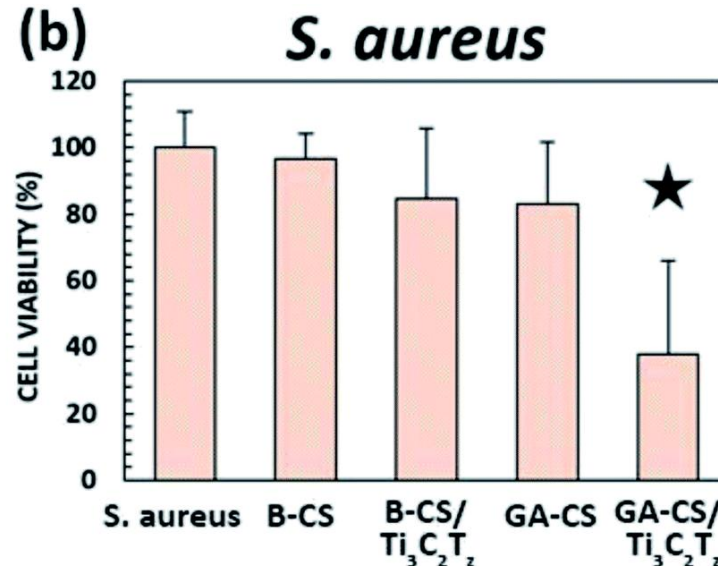
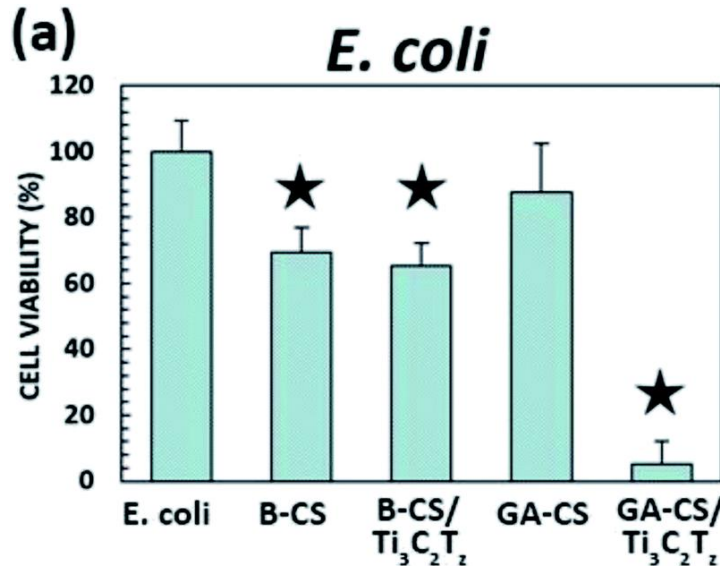
Nanomateriały



- **Nanopowłoki antybakteryjne** mogą poprawiać skuteczność procesów filtracji, adsorpcji, fotokatalizy i dezynfekcji.
- **Nanowłókna** ze względu na dużą powierzchnię właściwą mają zdolność do wychwytywania bardzo małych cząstek w strumieniu powietrza.
- **Mogą zatem być wykorzystane do filtracji powietrza z pyłów zawieszonych i bioarozoli.**



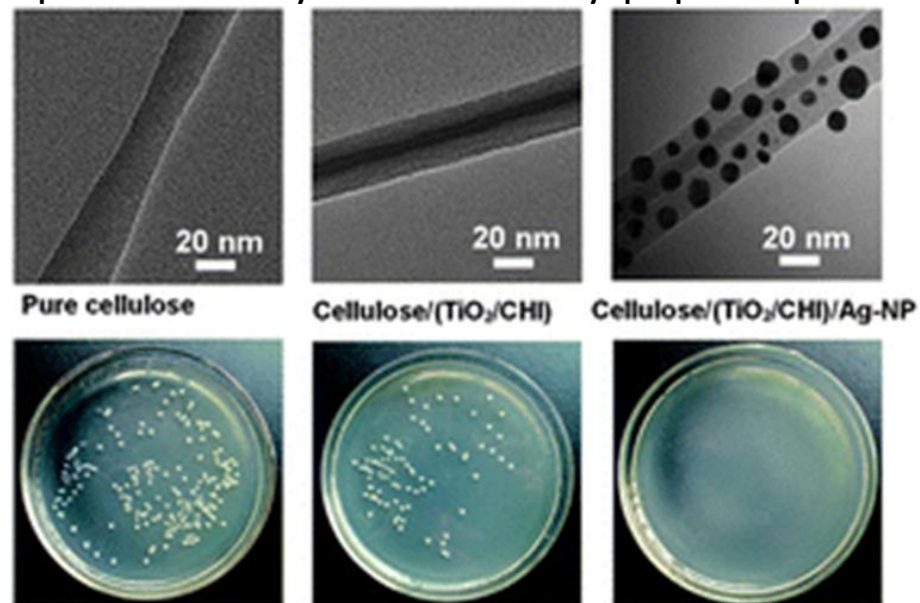
Nanomateriały



- Elektropzędzone nanowłókna z polichlorku winylu, octanu celulozy i poliakrylonitrylu z dodatkiem środków przeciwestrojowych np. jonów srebra i nanosrebra pozwalają skutecznie usunąć *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* i *Pseudomonas aeruginosa*.

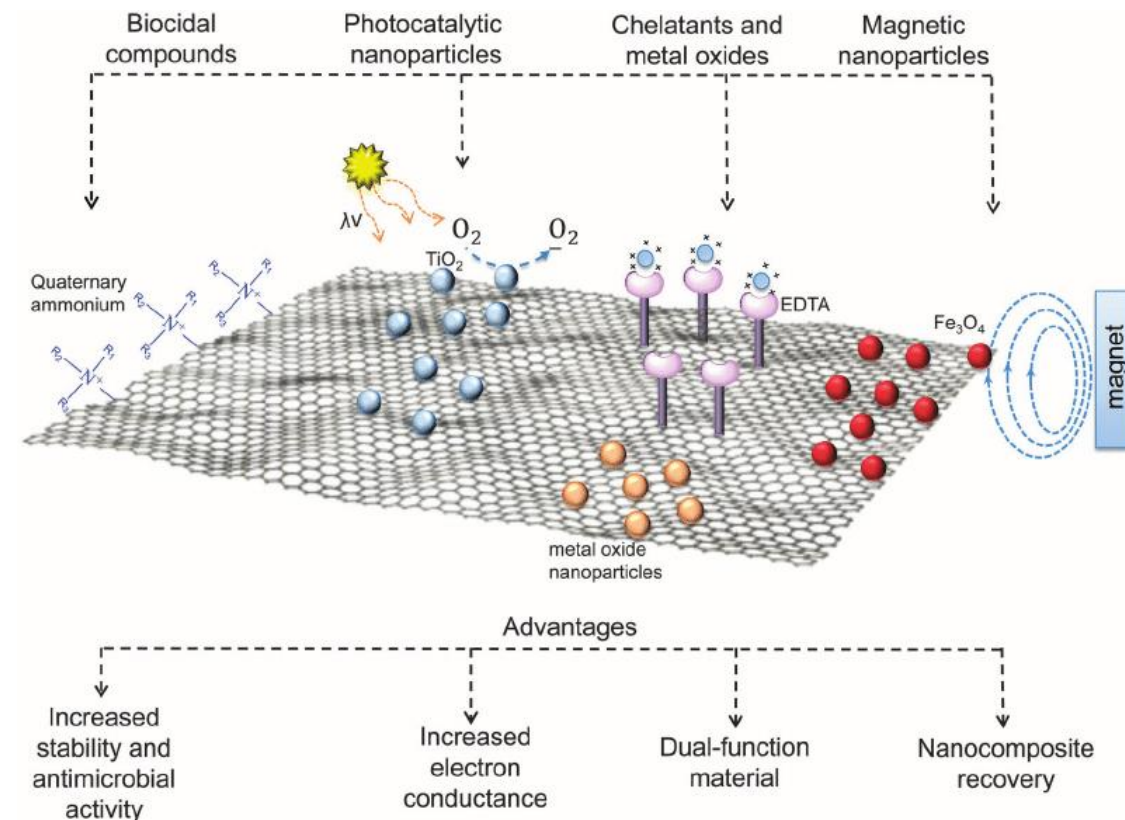
Nanomateriały węglowe

- **Funcjonalizowane nanomateriały węglowe (nanorurki, fulereny, grafen i jego pochodne - tlenek grafenu, węglowe kropki kwantowe)** wykazują potwierdzone właściwości biobójcze w stosunku do bakterii wielolekoopornych.
- **Natomiast antybakteryjne i fotokatalityczne izoporowate membrany wielokrotnego użytku do filtracji powietrza na bazie nanorurek ZnO** mają zdolność działania bakteriobójcze zarówno w stosunku do bakterii Gram-dodatnich (*Staphylococcus aureus*), jak i Gram-ujemnych (*Salmonella enteritidis*).
- Filtry membranowe można łatwo czyścić i ponownie używać wiele razy poprzez proste czyszczenie natryskowe mieszanką wody i etanolu.



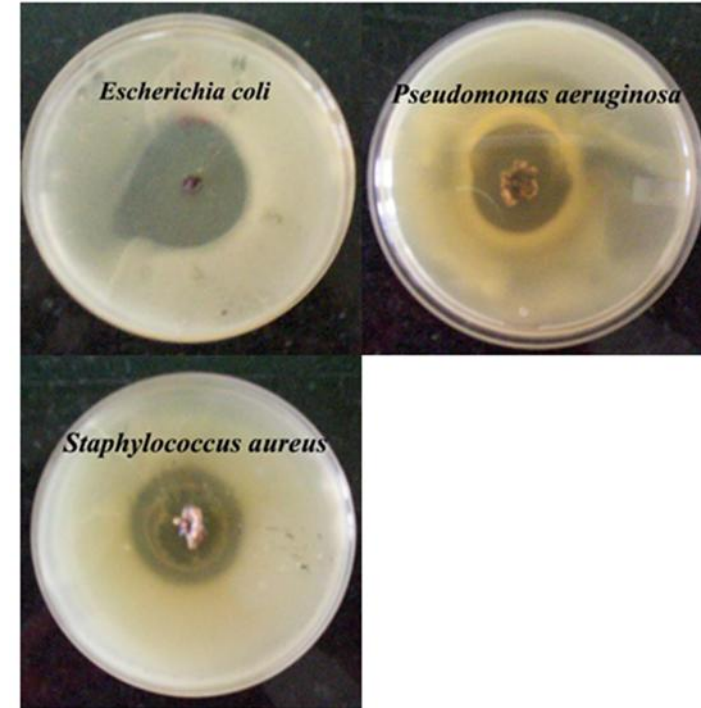
Nanokompozyty

- **Nanokompozyty** mogą być z powodzeniem używane w produkcji materiałów na potrzeby środków ochrony osobistej (maski ochronne, odzież).
- Biorąc pod uwagę powszechność i użyteczność produktów na bazie tworzyw sztucznych we współczesnym społeczeństwie, **aktywne integrowanie nanostruktur z polimerami, które same sterylizują się może zapewnić sposób na spowolnienie transmisji infekcji wirusowych.**
- Cienkie folie poliimidowe z nanoporowatymi membranami i nanomateriałami na bazie węgla mogą działać jako bariery ochronne przed wirusami w środkach ochrony osobistej i filtrach powietrza.

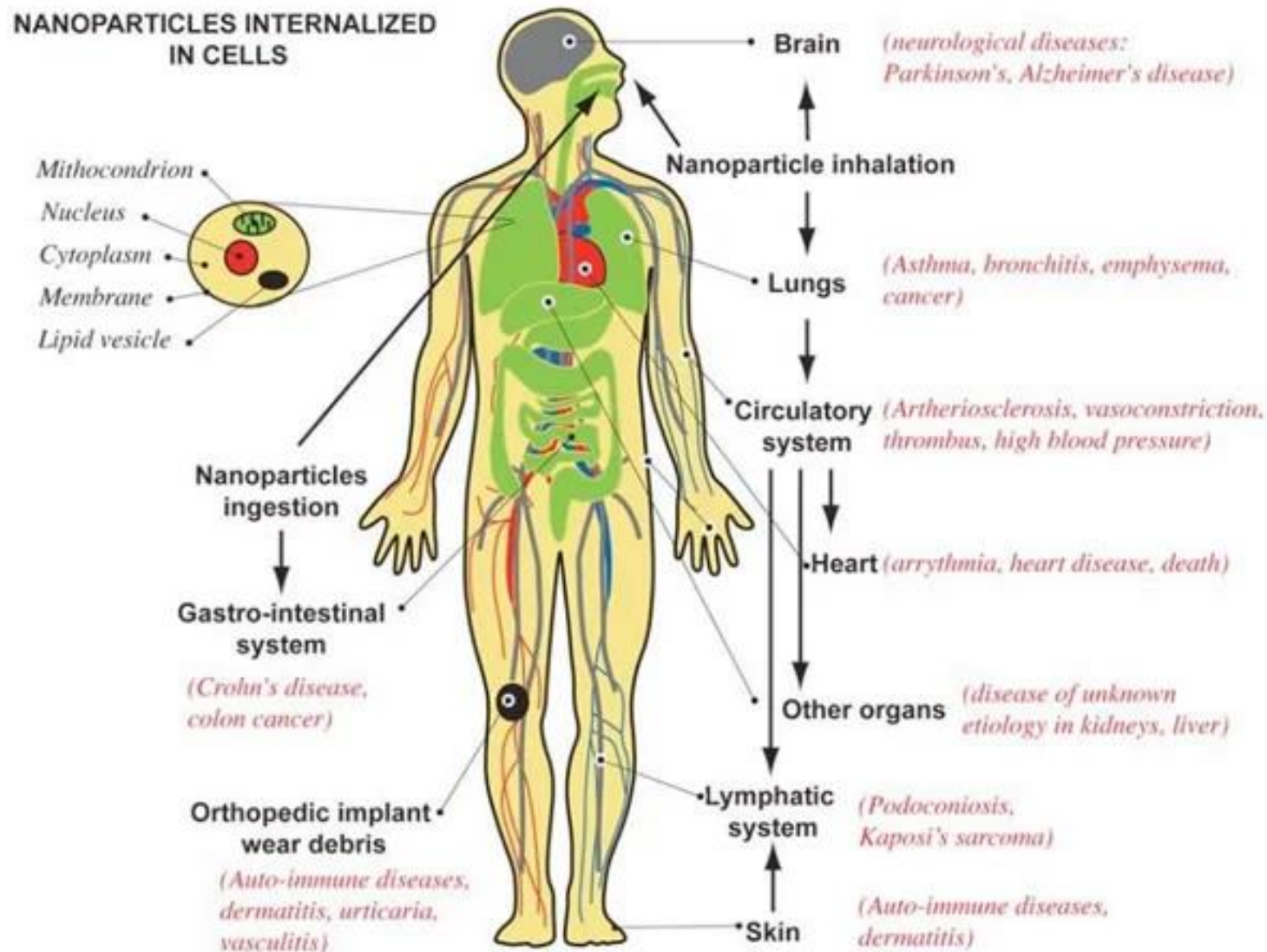


Nanospraye, nanożele

- **Rozpylane materiały przeciwwirusowe** są również cenne w utrzymaniu czystości środowiska pacjenta i sprzętu ochronnego.
- Może to obejmować **szerokospektralne nanożele lub nanocząstki**, które naśladują komórkowy siarczan heparyny, aby przywierać do glikoprotein wirusowych i blokować ich interakcję z receptorami komórek gospodarza.
- Oprócz zapobiegania wnikaniu wirusa, niektóre nanomateriały, takie jak cynk, hamują również polimerazę RNA wirusa, a tym samym replikację wirusa poprzez uwalnianie jonów metali.



Nanomateriały – zagrożenia (brak naturalnych mechanizmów ochronnych)



Podsumowanie

- Doniesienia naukowe wskazują, że nanomateriały **stanowią obiecującą alternatywę lub uzupełnienie dla tradycyjnie stosowanych technik dezynfekcji powierzchni i powietrza** w obiektach związanych z opieką zdrowotną.
- Część z proponowanych rozwiązań jest już dostępna na rynku.
- **Ograniczeniem w szerszym wykorzystaniu nanomateriałów jest obawa o ich wpływ na zdrowie ludzi i bezpieczeństwo środowiskowe.**
- Podstawowym, lecz nadal nierozpoznanym zagrożeniem ze strony nanomateriałów jest ich niekontrolowane uwalnianie się do środowiska z użytkowanych wyrobów i powstających z nich odpadów.

Dziękuję za uwagę



**Kształtowanie zdrowego i bezpiecznego środowiska
w obiektach ochrony zdrowia**

TechMedis

Publikacje dofinansowane ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki/Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Nauka dla Społeczeństwa II” nr projektu NdS-II/SN/0008/2024/01, kwota dofinansowania 775 500,00 zł, całkowita wartość projektu 775 500,00 zł.

