

# NANOTECHNOLOGIA – MOŻLIWOŚCI ROZWOJU I ZASTOSOWAŃ

Magdalena KACHEL-JAKUBOWSKA, Mariusz SZYMANEK,  
Agata DZIWULSKA –HUNEK

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono możliwości jakie niesie ze sobą wprowadzenie w życie codzienne efektów działalności naukowej, określanej mianem nanotechnologii. Zwrócono również uwagę na interdyscyplinarne możliwości jej wykorzystania, przekształcenia polityki krajowej i międzynarodowej, rozwoju nauki oraz procesów technologicznych. Ciągłe zachęcanie do innowacyjności oraz postępu, może przynieść dla społeczeństwa europejskiego nowe nanomateriały, przynoszące korzyści zarówno dla zdrowia ludzkiego, jak i środowiska.

**Słowa kluczowe:** inżynieria, rolnictwo, nanotechnologia, nanomateriały, ryzyko procesów

## 1. Wstęp

Osiągnięcia XX i XXI wieku odgrywają kluczową rolę w środowisku inżynierii produkcji i rolniczym. Obie dziedziny naukowe mają charakter interdyscyplinarny. Zakres inżynierii obejmuje wiele dyscyplin m.in. proces projektowania, wyroby wytwórczy i rolniczy oraz technikę, organizację i zarządzanie procesami technologicznymi w całym kompleksie gospodarki zarówno żywnościowej oraz otoczenia rolnictwa. Aktualnie domenę inżynierii rolniczej tworzą następujące specjalności naukowe:

- mechanizacja produkcji roślinnej,
- mechanizacja produkcji zwierzęcej,
- inżynieria przemysłu spożywczego,
- organizacja i zarządzanie w inżynierii rolniczej,
- energetyka rolnicza,
- suszarnictwo płodów rolnych, itp. [1, 2].

Inżynieria produkcji jest rozumiana jako zespół działań, mających na celu efektywną realizację procesu produkcji od chwili rozpoznania potrzeby do chwili jej całkowitego zaspokojenia. Natomiast technikę i inżynierię rolniczą można zdefiniować, jako szereg procesów, w wyniku których otrzymujemy materiały żywnościowe, paliwa oraz surowce przydatne dla innych gałęzi przemysłu.

Prowadzona polityka innowacyjności będzie mieć coraz większe znaczenie w prawodawstwie europejskim. Podstawą prawną ogólnej polityki przemysłowej UE jest art. 173 Traktatu o funkcjonowaniu Unii Europejskiej (TFUE), zgodnie z którym „Unia i państwa członkowskie czuwają nad zapewnieniem warunków niezbędnych dla konkurencyjności przemysłu Unii”. Rolą innowacji jest przekształcanie wyników badań na nowe i lepsze usługi oraz produkty w celu zachowania konkurencyjności UE na rynku światowym oraz poprawy jakości życia obywateli europejskich. Przykładową innowacyjnością oraz postępowaniem dla społeczeństwa europejskiego mogą być produkowane nanomateriały, przynoszące korzyści zarówno dla zdrowia ludzkiego, jak i środowiska [3].

## 2. Charakterystyka środowiska

Rozwój technologii oraz nowoczesnych przyrządów umożliwił obserwację tych złożonych nanoskomponowanych obiektów żywej materii otwierając drogę dla nowego podejścia naukowego określanego mianem nanotechnologii [4]. Nanotechnologia może być rozumiana w różny sposób w

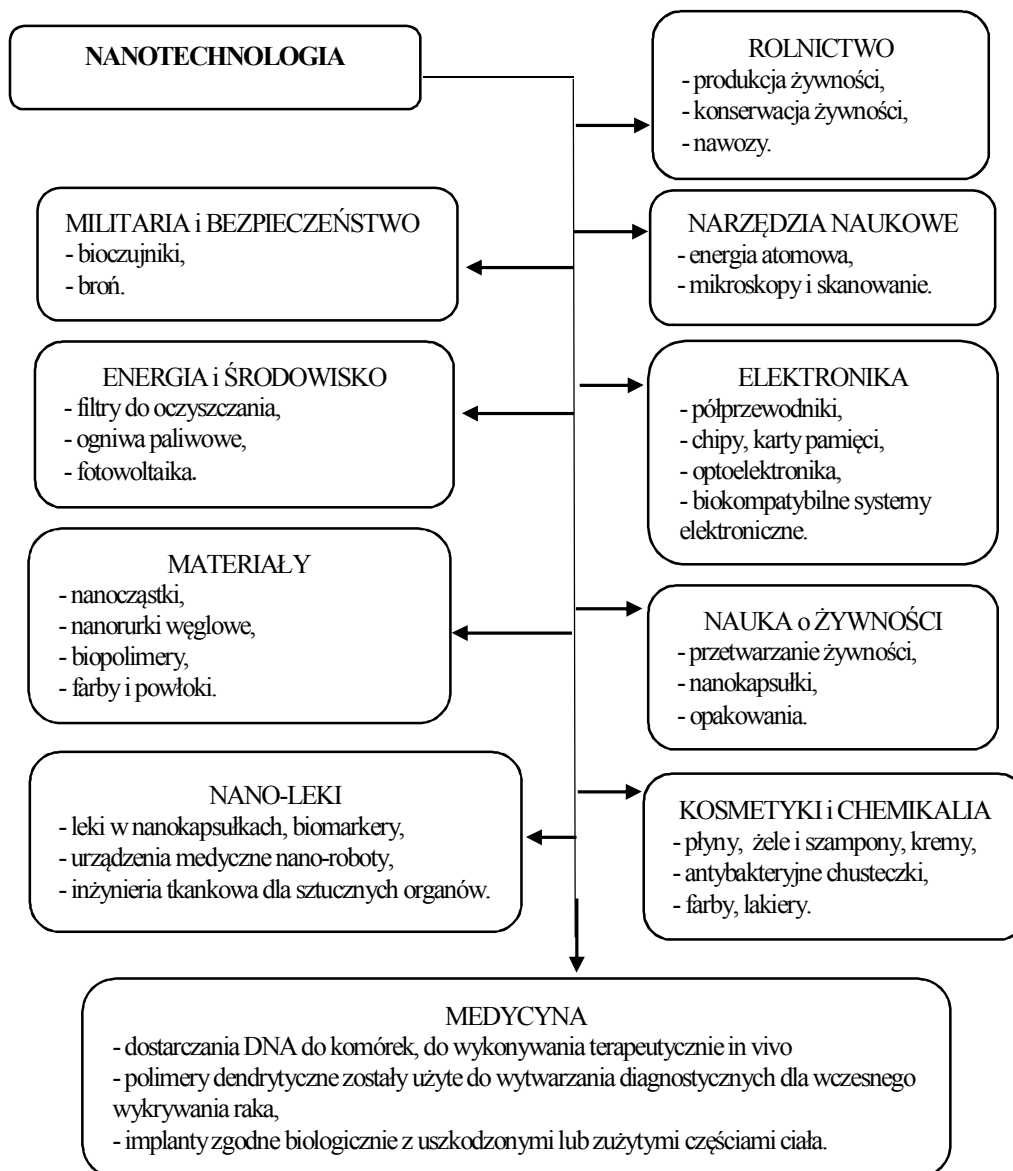
zależności od rozpatrywanych czynników, spośród których możemy wyróżnić korzyści oraz ryzyko lub też konsekwencje ekonomiczne, jak i społeczne [5]. Obecne skutki społeczne i obawy etyczne wynikają z silnej korelacji wiarygodności źródeł i punktów odniesienia a sposobem przedstawienia istniejącego problemu, choćby przez media, będące jak dotąd środkiem przekazu masowego [6, 7].

Nie ma wątpliwości, że nanotechnologia stała się kluczem umożliwiającym dostęp do większego spektrum technologii, jak i sektora przemysłu, stając się jednym z głównych priorytetów dla nauki oraz areny politycznej. Faktem jest to, że nanotechnologia opiera się na cząstkach w zakresie nanometrów oraz nanostruktury lub nanomaszyn wytworzonych z tych nanocząstek, posiadających szczególnie właściwości oraz unikalne zachowania. Właściwości te mogą mieć znaczny wpływ fizycznych, chemicznych, elektrycznych, biologicznych, mechanicznych funkcjonalnych cech, które mogą być wykorzystane przez naukowców do stworzenia nowych procesów inżynierskich [8]. Technologia ta umożliwia manipulowanie materią na poziomie atomowym i oferuje niezrównane możliwości w całej dziedzinie biotechnologii, informatyki, rolnictwa, medycyny i materiałów [9], w produkcji, elektronice i ochronie środowiska [10] oraz zapewni rewolucyjny postępy w zakresie zdolności wojskowych [11]. Trwające prace nad wdrożeniem przepisów prawa Unii Europejskiej w niniejszej dziedzinie bazują na zasadzie ostrożności posługiwania się środkami niewiązującymi prawnie, dotyczącymi zespolenia ze sobą oraz niedyskryminacji na podstawie analizy korzyści i kosztów działania lub zaniechania aktualnego stanu wiedzy naukowej [12]. Technologia ta stwarza duże możliwości szybkiego przekształcenia wyników badań podstawowych w zakończone sukcesem innowacje oraz opracowanie wiodących technologii, których wyniki będzie można wdrażać w wielkich międzynarodowych koncernach, jak i małych przedsiębiorstwach we wszystkich sektorach gospodarki. Zastosowania nanotechnologii w tak różnych dziedzinach, jak służba zdrowia, magazynowania energii, rolnictwa, oczyszczania wody i bezpieczeństwa są perspektywą w dobie rozwoju gospodarki. Niektórzy eksperci przewidują, że nanotechnologia będzie równie ważna, jak silnik parowy, tranzystor i Internet pod względem ich wpływu społecznego [13].

Możemy stwierdzić, że nanotechnologia rodzi nowe pytania i prowadzi do nowych powiązań, które będą miały ogromny wpływ na przyszłość gospodarki narodowej, jak i światowej [14]. Według badań przeprowadzonych przez Lux szacuje się iż rynek towarów nanotechnologicznych w roku 2014 wzrośnie do 2,6 bilionów dolarów, a rządy i korporacje na całym świecie wydadzą ponad dziesięć miliardów dolarów na badania i rozwój nanotechnologii. Do tej pory liczne badania koncentrowały się na międzynarodowym rozwoju niniejszej dziedziny, uwzględniając sieć współpracy, oceny wydajności różnych krajów oraz obszarów geograficznych na podstawie wyników badań oraz patentów [15, 16, 17, 18].

### **3. Obszary zastosowań**

Według Bowman'a i Hodge [2006] nanotechnologię możemy podzielić na trzy generacje (rys.1.). Do pierwszej generacji zaliczamy już funkcjonujące narzędzia naukowe w postaci mikroskopów oraz proste związki i kompozyty stosowane w filtrach przeciwsłonecznych, kosmetykach oraz w farbach i lakierach, odzież odporną na plamy. Rozwój drugiej generacji nastąpi w ciągu kolejnych 15 lat, lecz może być postrzegany w połowie, jako istniejąca już nauka a w połowie bardziej futurystycznie jako „science fiction”. Postęp ten według Royal Society i Royal Academy of Engineering będzie również dotyczył podstawowych związków w skali nano oraz kompozytów o bardziej złożonej nanostrukturze. Trzecia generacja prawdopodobnie będzie dotyczyła kontrastów dwóch poprzednich. Według Drexlera [1996, 2001] molekularna produkcja będzie sprzyjała tworzeniu komputerowo sterowanych robotów w skali nano zdolnych do precyzyjnej manipulacji atomów, potrafiących tworzyć lub budować skomplikowane maszyny-roboty (o umiejętności samodzielnej replikacji) oraz urządzenia atomowe.



Rys. 1. Potencjalne zastosowanie pierwszej oraz drugiej generacji nanotechnologii. [23, 24]

Nanotechnologia – to sztuka, nauka rozpoznania oraz kontrola materii i procesów w nanoskali. Zwykle, ale nie wyłącznie, poniżej 100 nanometrów w jednym lub wielu wymiarach nie widocznych dla mikroskopów optycznych, w których wystąpienie zjawisk zależnych od rozmiaru zazwyczaj umożliwia nowe zastosowania, wykorzystujące te właściwości materiałów w nanoskali. Różnią się od właściwości pojedynczych cząstek atomów, w celu stworzenia udoskonalonych materiałów, urządzeń i systemów wykorzystujących te nowe właściwości [3, 25, 26].

Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna zdefiniowała termin „nanomateriał” jako „materiał, którego jeden z wymiarów zewnętrznych nie przekracza nanoskali lub którego struktura powierzchniowa mieści się w nanoskali”. Termin „nanoskala” zdefiniowano jako zakres od około 1 nm do 100 nm. Liczbowy rozkład wielkości cząstek powinien umożliwić uwzględnienie faktu, że nanomateriały składają się przeważnie z wielu cząstek występujących w różnych wielkościach w określonym rozkładzie. Przy braku określenia liczbowego rozkładu wielkości cząstek byłoby trudno stwierdzić, czy dany materiał spełnia wymogi definicji, w sytuacji gdy niektóre cząstki są mniejsze niż 100 nm, zaś inne nie są. Zgodnie z niniejszym zaleceniem nanomateriał powinien zawierać co najmniej 50 % cząstek o wielkości mieszczącej się w zakresie od 1 nm do 100 nm. Tak więc „Nanomateriał” oznacza naturalny, powstały przypadkowo lub wytworzony materiał zawierający cząstki w stanie swobodnym lub w formie agregatu bądź aglomeratu, w którym co najmniej 50 % lub więcej cząstek w liczbowym rozkładzie wielkości cząstek ma jeden lub więcej wymiarów w zakresie 1 nm – 100 nm [26].

Nanotechnologia jest szybko rozwijająca się interdyscyplinarną dziedziną wiedzy, dla której nie opracowano dotychczas jednolitej klasyfikacji. Przepisy prawa Unii Europejskiej w odniesieniu do nanomateriałów są usystematyzowane według: produktów dotyczących chemikaliów, ochrony pracowników oraz ochrony środowiska. Regulacje te w sferze produktów są podzielone na: produkty kosmetyczne, produkty lecznicze, wyroby medyczne, produkty biobójcze, środki ochrony roślin-pestycydy, żywność – rozporządzenie dotyczące nowej żywności i nowych składników żywności jak i dodatków do żywności; materiały i wyroby przeznaczone do kontaktu z żywnością; materiały aktywne i inteligentne oraz wyroby przeznaczone do kontaktu z żywnością, inne produkty zawierające nanomateriały, ochrona środowiska w aspektach zastosowania nanomateriałów [27 - 34].

Pierwsze próby propagowania znaczenia nanotechnologii miały miejsce w Wielkiej Brytanii już w latach 1980 do początku lat 1990, lecz spotkały się z mieszanym sukcesem, w którym przedsiębiorcy i producenci zostali przy założeniu "poczekamy, zobaczymy". Postrzegany niski poziom inwestycji w dziedzinie nanotechnologii w połowie lat 1990 zmienił się spektakularnie w ciągu ostatnich kilku lat [35]. Japonia, jako jeden z nielicznych krajów może poszczycić się odkryciami w dziedzinie nanotechnologii już w latach 1990, w których to odkryto nanorurki oraz stworzeniem projektu dotyczącego The Atom Technology Project w 1992 roku, i The Second Science and Technology Basic Plan w 2001 roku lub The Third Science and Technology Basic Plan w 2006 roku. Spowodowało to, iż każdego roku przekazano około 800 milionów dolarów na promowanie nauk przyrodniczych, informacji, telekomunikacji oraz nanotechnologii włączając nanoelektronikę, nanomateriały oraz nanobiotechnologię [36, 37].

Dzięki uchwale Ustawy z 2003 - 21st Century Nanotechnology Research and Development Act przyjętej przez Kongres Stanów Zjednoczonych formalnie zatwierdzającej program dla nanonauki, nanoinżynierii oraz badań w dziedzinie nanotechnologii przyczyniło się do znacznego rozwoju nanotechnologii w Stanach Zjednoczonych, Chinach oraz Indiach. Nanotechnologia stała się kluczowym elementem inicjatywy amerykańskiej konkurencyjności, zwiększając tym samym rentowność gospodarki oraz zwiększając budżet wielu agencji rządowych (National Science Foundation (NSF), Departament Energii (DOE) Biuro Nauki, Agencji Ochrony Środowiska (EPA) i Narodowy Instytut Standardów i Technologii (NIST) SAW) [39]. Według Cao, Suttmeier i Simon (2006) w Chinach nanotechnologia jest jednym z czterech "megaprojektów" wyraźnie wymienionych w planie Technologicznego Programu Informacyjnego, a dzięki wybudowaniu nowego ośrodka badawczego nanotechnologii w Pekinie, Szanghaju, Tianjin, i Suzhou w 2008 roku mają szansę stać się głównym liderem w dziedzinie globalnej nanotechnologii [41, 42]. Inwestycje dotyczące aktywnego wsparcia nanotechnologii realizowane w Indiach na rok 2007 wynosiły 22 800 000 dolarów [43, 44].

W przypadku Polski według opracowanego raportu przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego [2006] ocenia się, że do roku 2015 około 15 % produktów będzie wytworzonych z udziałem

nanotechnologii, a poziom rozwoju tej technologii będzie decydował o pozycji danego kraju w globalnej gospodarce. Zespół dokonał analizy SWOT dla naszego kraju na tle innych krajów świata (USA, Japonii). Zastosowano metodę ekspercką, ankietowanie oraz przeprowadzono konsultacje z różnymi środowiskami naukowymi. Analiza ta objęła zagadnienia związane z badaniami i rozwojem, infrastrukturę, rozwój kadr, innowacji przemysłowej oraz wymiar społeczny [46]. W Polsce nie opracowano niestety jeszcze jednolitego dokumentu wskazującego strategiczne obszary nanotechnologii, ale wstępne kierunki rozwoju zostały ujęte w dokumentach: *Proponowane kierunki rozwoju nauki i technologii w Polsce do 2020 roku*; lub *Założenia polityki naukowej, naukowo-technicznej i innowacyjnej państwa do 2020*. W 2013 r. po raz pierwszy przeprowadzone zostało badanie *Nanotechnologia*. Źródłem danych były informacje za rok 2012 uzyskane od badanych jednostek i zawarte w formularzach sprawozdawczych. W 2012 r. liczba przedsiębiorstw, które w badaniu wykazały działalność nanotechnologiczną, czyli stosowały nanotechnologię do produkcji dóbr pośrednich i finalnych i/lub prowadziły działalność badawczą i rozwojową (B+R) w dziedzinie nanotechnologii, wyniosła 48. W tym samym roku w ponad 67% badanych podmiotów dominowało wykorzystanie nanotechnologii w obszarze *Nanomateriały*. W 2012 r. 29 przedsiębiorstw wykazało, jako działanie związane z nanotechnologią – produkcję/przetwórstwo. Spośród produktów nanotechnologicznych, w procesie produkcyjnym najczęściej wykorzystano nanomateriałów (15) i dóbr finalnych (14). Poniesione przez przedsiębiorstwa nakłady wewnętrzne na działalność nanotechnologiczną przeznaczono 161,7 mln zł. Uwzględniając źródła finansowania – 65% nakładów w dziedzinie nanotechnologii pokrywanych było ze środków własnych [26]. W przedsiębiorstwach zajmujących się dziedziną nanotechnologii zanotowano również wzrost zatrudnienia w postaci 569 nowych miejsc pracy uwzględniając każdy rodzaj wykształcenia od tytułu profesora, doktora habilitowanego, doktora, wykształcenia wyższego stanowiący najwyższy odsetek (52,5%) i niżej. Statystyki wymieniają zatrudnionych 201 kobiet, oraz informacje o działalności badawczej i rozwojową, którą prowadziło 217 osób, w tym również 70 kobiet co stanowi odpowiednio 38,1% oraz 34,8% ogólnej liczby zatrudnionych w niniejszej dziale technologicznej. Wszelkie środki finansujące działalność badawczą i rozwojową w dziedzinie nanotechnologii pochodziły głównie z sektora rządowego i prywatnych instytucji niekomercyjnych (51,1 %) oraz z zagranicy (46,6 %). Nakłady zewnętrzne to środki wypłacane innym podmiotom za zakup prac B+R lub na finansowanie grantów/dotacji na działalność badawczą i rozwojową w dziedzinie nanotechnologii. Nakłady zewnętrzne w 2012 r. wykazane były przez 24 podmioty, na łączną kwotę ponad 2 mln zł. Największy udział w tych nakładach stanowiły środki poniesione przez podmioty sektora rządowego i prywatnych instytucji niekomercyjnych (68,3 %).

#### 4. Metody wytwarzania oraz charakterystyka nanostruktury

Dzięki koncentracji nanotechnologii na projektowaniu oraz stosowaniu różnych technik mamy możliwość wytworzenia nanomateriałów za pomocą syntezy mechanicznej, chemicznej lub biologicznej. Podejście *bottom – up*, czyli budowanie od podstaw (atom po atomie) dotyczy tworzenia materiałów oraz urządzeń w skali molekularnej za pomocą samoorganizacji atomów i cząstek. Proces ten można podzielić na:

- syntezę chemiczną,
- ściśle kontrolowanego osadzania i wzrostu materiałów (biochemiczne).

Wszelkie reakcje chemiczne mogą być przeprowadzane w fazie gazowej, ciekłej oraz stałej. W ostatnim przypadku synteza polega na zapewnieniu ciągłego kontaktu stałych reagentów poprzez ich mieszanie lub kruszenie przy równoczesnym podgrzewaniu układu w celu ułatwienia dyfuzji atomów [46]. Kolejna metoda dotyczy podejścia *top – down*, obejmuje praktycznie wszystkie metody przetwarzania ciał stałych. Polega ona na podziale materiału makroskopowego na mniejsze części lub też miniaturyzacji większych struktur za pomocą m.in. trawienia, litografii lub mielenia. Zmniejszenie

rozmiaru materiałów wiąże się ze zmianami właściwości fizycznych, mierzonych względem kierunku, w którym dokonywano redukcji rozmiarów. Prowadzi to do naturalnego podziału nanostruktury ze względu na liczbę wymiarów mierzonej w nanometrach. Dzięki temu możemy wyróżnić struktury organiczne: w jednym wymiarze, w dwóch wymiarach i w trzech wymiarach. Struktura organiczna w trzech wymiarach reprezentowana jest przez nanokrystaliczne ciała stałe składające się z różnie zorientowanych ziaren. Na strukturę organiczną w jednym wymiarze składają się nanodruty, nanopręty, nanowłókna oraz nanorurki. Cząstki w nich mogą być amorficzne, mono- lub polikrystaliczne. Struktura organiczna w jednym wymiarze stanowią dyski, płyty lub materiały wielowarstwowe oraz ultracienkie warstwy powierzchniowe [46].

Istnieje wiele metod produkcji nanocząsteczek metali szlachetnych, wśród których wyróżniamy również srebro. Najczęściej stosowane metody opierają się na reakcjach chemicznych w roztworach wodnych lub alkoholowych, systemów odwrotnej miceli (mikroemulsje) oraz metod elektrochemicznych, fotochemicznych, rozkład termiczny, ablacja laserowa, napromieniowanie mikrofalami, redukcja sonochemiczna i sonoelektrochemiczna redukcja polioksometalami itp. Za najbardziej wydajne, łatwe oraz wygodne metody uważa się trzy podstawowe grupy metod syntezy nanocząstek metali. Najbardziej rozpowszechniona synteza chemiczna, druga grupa to metody fizykochemiczne wykorzystujące do otrzymania pożądanego produktu ultradźwięki, mikrofały, naświetlania oraz mechaniczne rozdrabianie. Natomiast do trzeciej grupy możemy zaliczyć metody biochemiczne określane jako biologiczne, polegające na syntezie nanocząstek z naturalnych wyciągów roślin, grzybów lub ekstraktów bakteryjne. Metody te nie wymagają skomplikowanej aparatury, a otrzymywane nanoproducty mogą być przechowywane przez dłuższy czas bez znacznych strat w ich stabilności [47]. Najczęściej spotykaną i praktykowaną metodą stosowaną w produkcji nanosrebra jest metoda redukcji chemicznej pozwalającej otrzymać nanocząstki poprzez redukcję soli srebra ( $\text{AgNO}_3$ ,  $\text{AgCl}_2$ ,  $\text{AgI}$ ,  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ ) przez czynnik redukujący w obecności stabilizatora (poliwinylpirolidon, di-n-octodecylditiotiofosforan, pirydynium, dodecylsulfonian sodu, monooleinian polioksyetylenosorbitu, tiofen, chitozan, karboksy-metylocelulozę i glikol etylenowy), chroniącego nanocząstki srebra przed łączeniem się w większe agregaty [48]. Typowa synteza na drodze redukcji chemicznej składa się z trzech etapów. W pierwszym etapie redukcja soli srebrnych prowadzi do utworzenia wolnych atomów srebra, co jest rezultatem reakcji redoks, w której elektrony pochodzące od reduktora są przekazywane atomom srebra. Po redukcji atomy w procesie nukleacji zderzają się ze sobą i tworząc stabilne 1-2nm jądra. Drugi etap doprowadza do wzrostu nanocząsteczek poprzez dalszą redukcję jonów metalu na powierzchni powstałych jąder, która trwa do momentu skonsumowania większych jonów. Ostatni etap obejmuje dodanie środków stabilizujących, mających na celu zapobieganiu aglomeracji cząstek [49].

Zastosowanie metody „rozbitcia” umożliwia tworzenie struktury poprzez dostarczenie układowi odpowiedniej ilości energii. W wyniku niniejszego procesu możemy stworzyć układy kilku-kilkunastu cząsteczek, które możemy nazwać nanowodą (wodą pozbawioną struktury). Proces ten jest wykonywany poprzez naświetlenie wody odpowiednią wiązką fali elektromagnetycznej tworzonej za pomocą plazmy niskotemperaturowej-niskociśnieniowej. Efektem takiego naświetlania jest uzyskanie deklastryzacji, czyli zerwania rozległych wiązań wodorowych pozostawiając mniejsze rozmiarami mikroukłady. Urządzenia służące do wykonania takich procesów składają się z komory, w której dokonuje się produkcji plazmy korzystając z odpowiednio dobranej częstotliwości prądu oraz wysokowydajnej pompy próżniowej mającej na celu utrzymanie odpowiedniej próżni. Po obróbce roztwór ma temperaturę taką samą jak otoczenie  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Częstotliwość dostarczonej energii do przetwarzanego układu (klastrow wody) jest tak dobrana, aby roztwór nie rozgrzewał się a zmianie ulegały oddziaływania między cząsteczkami. W trakcie procesu, gdzie odległość do plazmy jest mniejsza niż 10 cm, obrabianemu materiałowi (wodzie) towarzyszy lekka poświata lub świecenie. Proces ten prowadzi do niszczenia rozbudowanych klastrow lub redukcji ich rozmiarów czyniąc ciecz bardziej jednorodną, czyli zmikroklastrowanej strukturze, zwiększając zdolność rozpuszczania

substancji stałych (soli) oraz gazów lub stałą dielektryczną w niektórych przypadkach zmieniająca się 4 krotnie [50].

## 5. Charakterystyka właściwości nanostruktury

Uwzględniając pochodzenie i skład chemiczny możemy dokonać podziału nanocząsteczek, na naturalne oraz te, które powstają w skutek działalności człowieka, czyli celowo projektowane (inżynierijnie) jak również niezamierzone określane, jako produkty uboczne, związane z procesami nanotechnologicznymi [51]. Ze względu na pochodzenie organiczne (wirusy, fulereny, nanorurki węglowe, dendrymery) oraz nieorganiczne. W świetle licznych badań nad sposobem oddziaływania licznych związków zarówno spektroskopowych, biologicznych jak i teoretycznych można stwierdzić, iż możliwe jest modyfikowanie lub też wpływanie na dynamikę tworzenia oddziaływań, w wyniku których powstają nanocząsteczki. Najwięcej nanocząstek znalazło zastosowanie w medycynie, biologii, rolnictwie oraz budownictwie. W medycynie powszechnie stosowane są: srebro (Ag), złoto (Au), tlenek cynku(II) (ZnO), dwutlenek cyny (IV) (SnO<sub>2</sub>). W budownictwie TiO<sub>2</sub> cząsteczki ditlenku tytanu. Wszystkie te substancje w postaci nanocząstek mają właściwości silnie utleniające, grzybo- i bakteriobójcze uzyskiwane poprzez rozpylenie np.: metali w demineralizowanej wodzie. Zaletą powstających nanocząstek, która umożliwia wzrost ich aktywności chemicznej, jest wysoki stosunek powierzchni do objętości, który jest tym większy, im mniejsza jest ich średnica. Powierzchnia silnie rozwinięta właściwa wpływa na właściwości absorpcyjne oraz przeciwbakteryjne, czyli im mniejsze cząstki tym, lepsza bakteriobójczość roztworu [47, 52].

Srebro, jako metal szlachetny (mało reaktywny), bardzo łatwo jest przyswajany przez organizm ludzki. Cechy te pozwalają na zastosowanie go w protezach i implantach. Srebro i jego właściwości bakteriobójcze znane już były w starożytnej Grecji i powszechnie są stosowane w wielu krajach. Srebrne monety stosowane były do oczyszczania wody. Obecnie nanocząstki srebra można spotkać w tkaninach (bielizna, skarpety, bandaże), kosmetykach (pudry, dezodoranty), medycynie (cewniki, katetery, implanty lub w cemente stosowanym w chirurgii kości zwiększając istotnie antymikrobiologiczne bezpieczeństwo ich użytkowania) [53], w branży chemii gospodarczej, której asortyment nie tylko stosowany jest do odkażania pomieszczeń szpitalnych, ale także na dużą skalę w utrzymaniu prawidłowych warunków zoohigienicznych w budynkach inwentarskich [54, 55, 56], a nawet sprzęcie AGD (lodówki, pralki). Powrót do stosowania srebra, jako środka bakteriobójczego w formie roztworów, zawiesin lub formach nanocząstkowych ma swoje uzasadnienie, gdyż osadzane na różnych nośnikach, np.: krzemionkowych lub polimerowych uważane są za jeden z najskuteczniejszych środków dezynfekujących łącząc właściwości biobójcze oraz dezodorujące srebra i krzemu [57, 58]. Główny mechanizm działania nanocząstek srebra na komórki bakterii polega na jej szczelnym otoczeniu, uniemożliwieniu poruszania się oraz wywołaniu ostatecznej śmierci drobnoustrojów. Zablockowana komórka nie może budować nowej ściany komórkowej, przylegając do innych komórek ani koniugować, a grupy tiolowe cysteiny reagują z tlenem atomowym i tworzą wiązania siarkowe między aminokwasami, które są zabójcze dla bakterii. Bakterie tracą możliwość oddychania, gdyż dochodzi do zakłócenia przepływu elektronów i zamknięcia łańcucha oddechowego, powodując obumarcie komórki [59]. Przeprowadzone badania, polegające na ekspozycji komórek *Chlamydomonas reinhardtii* na działanie jonów srebra (AgNO<sub>3</sub>) lub nanocząstek srebra wykazały, że to jony srebra są bardziej skuteczne w pierwszej godzinie kontaktu z materiałem biologicznym, natomiast po około 2 godzinach większą siłą niszczenia komórek mają nanocząstki srebra [64]. Według Banacha i in. (2007) użycie nanocząstek srebra na kultury bakteryjne *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* oraz *Pseudomonas aeruginosa*, *Sclerotinia sclerotiorum*, potwierdziły założenia, iż nanocząstki te wnikają do protoplazmy bakterii, zaburzając ich działanie mitochondrów oraz materiału genetycznego. Przeprowadzone liczne badania potwierdzają tezę, iż działanie nanosrebra na bakterie powoduje ich degradację w 95-100% [60, 61].

Nanowoda określona, jako woda poddana obróbce plazmy niskotemperaturowej w wyniku, czego zostają zerwane i rozbite duże układy-gigaklastrów wody i pozostają w roztworze pojedyncze niezwiązane cząsteczki wody oraz małe klastry wody, które sięgają swoim rozmiarem do jednego nanometra [62]. Woda po obróbce plazmą cechuje się innymi właściwościami fizykochemicznymi oraz biologicznymi. Właściwości biologiczne znalazły praktyczne zastosowanie w krioprotekcji, dzięki właściwościom zwiększonej zdolności do rozpuszczania substancji, ułatwienia przenikania przez błony komórkowe czy też obniżenie punktu zamarzania zwiększając np. żywotność plemników poprzez zwiększenie ich ruchliwości oraz przeżywalności w temperaturze 37°C po ich rozmrożeniu [50]. Inna stała dielektryczna oraz zwiększenie rozpuszczalności gazów oraz substancji stałych przekładają się również na oddziaływanie jej w organizmach żywych. Liczne badania dotyczące toksyczności wody nie wykazały właściwości mutanogennych, a woda poddana plazmie wykazała pozytywny wpływ na bakterie stymulując ich procesy metaboliczne. Na podstawie badań dotyczących wzrostu roślin największą bezwzględną i względną szybkość wzrostu roślin oraz zawartość w nich chlorofilu *a* i *b* zaobserwowano na próbkach przy największej ekspozycji roślin na wodę poddaną plazmie [63]. Wpływ na komórki nowotworowe na liniach komórkowych w organizmie ludzkim ostrej białaczki T limfocytowej oraz szpiczak weszły na szlak apoptozy, będącej naturalnym procesem zaprogramowanej śmierci (kontrolowanego samobójstwa mającego na celu dobro całego organizmu) komórki w organizmie wielokomórkowym [64, 65]. Poddana plazmie sól fizjologiczna została przebadana w przypadku hodowli komórek – raka jelita, białaczki szpikowej, cytometrii przepływowej, testu MITT, mikroskopu elektronowego) pokazał: między innymi, że stymulacja procesów apoptozy (programowanej śmierci) w komórkach zmienionych nowotworowo, poprzez aktywację kaspazy 3 oraz rozpad jąder komórek z fragmentacją DNA w komórkach nowotworowych [66].

## 6. Podsumowanie i wnioski

Nanotechnologia należy obecnie do najdynamiczniej rozwijających się technologii. Wszyscy autorzy zajmujący się nanoproblematyką podkreślają konieczność intensyfikacji interdyscyplinarnych badań, które pozwolą na opracowanie klasyfikacji bezpiecznych nanotechnologii, unifikacji metod, adekwatnej oceny ryzyka oraz udostępnienie zbioru regulacji prawnych. Mądrze wykorzystana, pomoże rzeczywiście rozwiązać wiele palących problemów społecznych oraz przynieść szereg korzyści wszystkim podmiotom społecznym. Ale może również doprowadzić nas do przyszłej katastrofy. Polska posiada duży potencjał badawczo-rozwojowy, który odnosi się do zasobów sfery badawczo-rozwojowej wszystkich jej regionów. Dotyczy on oczywiście liczby jednostek prowadzących działalność B+R placówki naukowe PAN, jednostki badawczo-rozwojowe, jednostki prywatne działające w sekcji PKD „Nauka” oraz szkół wyższych. Potencjał ten jest jednym z niezbędnych warunków umożliwiających rozwój nanotechnologii w naszym kraju. Przeprowadzone analizy w 2013 roku wykazały, że liczba przedsiębiorstw, które prowadziły jakąkolwiek działalność nanotechnologiczną wyniosła 48, a działalność badawczą i rozwojową w dziedzinie nanotechnologii prowadziły, aż 123 podmioty (z tego 34 przedsiębiorstwa), wielkość nakładów wewnętrznych poniesionych na działalność nanotechnologiczną wyniosła 161,7 mln zł, a ze sprzedaży wyrobów nanotechnologicznych przedsiębiorstwa uzyskały kwotę w wysokości 279,0 mln zł, zatrudnionych w przedsiębiorstwach w dziedzinie nanotechnologii było 569 osób.

## Literatura

1. Michałek R. Pozycja inżynierii rolniczej w strukturze nauki polskiej. *Inżynieria Rolnicza*. 11(86), 2006, 15-23.



2. Michałek R. Domena i miejsce inżynierii rolniczej w strukturze nauki. *Inżynieria Rolnicza*. 2(120), 2010, 7-11.
3. European Commission Follow-up to the 6<sup>th</sup> Meeting of the REACH Competent Authorities for the implementation of Regulation (EC) 1907/2006 (REACH). 15-16 December 2008. Belgium.
4. Schulenburg M.S. *Nanotechnologia. Innowacja dla świata przyszłości*. Komisja Europejska. 2007. ISBN 92-79-00885-4.
5. Tyshenko M.G. Nanotechnology framing in the Canadian national news Media. *Technology in Society*. 37, 2014, 38–48.
6. Anderson A., Allan S., Peterson A., Wilkinson C. The framing of nanotechnologies in the British newspaper press. *Science Communication*. 27(2), 2005, 200–20.
7. Scheufele D.A., Tewksbury D. Framing, agenda setting and priming: the evolution of three media effects models. *Journal of Communication*. 57, 2007, 9–20.
8. Stander L., Theodore L. Environmental Implications of Nanotechnology—An Update. *Int. J. Environ Res. Public Health*. Feb. 8 (2), 2011, 470–479.
9. Perkel J.M. Nanotech dreams, *The Scientist*. 16(5), 2003, 34–36.
10. Klein J. President Signs \$3.7 Billion Nanotechnology Act, White House Press Release, 8 December 2003.
11. Gubrud M.A. Nanotechnology and international security, Paper presented at the Fifth Foresight Conference on Molecular Nanotechnology, Palo Alto, 5–8 November 2003.
12. Jurewicz M. Prawne aspekty nanotechnologii. *Economics and Management*. 2, 2013, 106-126.
13. Project on Emerging Nanotechnologies. Nanotechnology's potential threatened by weak public education and outreach. Available from: [http://www.nanotechproject.org/news/archive/nanotechnologys\\_potential\\_threatened\\_by/S/](http://www.nanotechproject.org/news/archive/nanotechnologys_potential_threatened_by/S/); December 2006, 5.
14. Michelson E.S. Globalization at the nano frontier: The future of nanotechnology policy in the United States, China, and India. *Technology in Society*. 30, 2008, 405–410.
15. Guang Y., Ming-Yang W., Da-Ren Y. Characterizing knowledge diffusion of nanoscience and nanotechnology by citation analysis. *Scientometrics*. 84(1), 2010, 81–97.
16. Delemarle A., Kahane B., Villard L., Laredo P. Geography of knowledge production in nanotechnologies: a flat world with many hills and mountains. *Nanotechnol Law Business*; 2009, 6:1.
17. Li X., Lin Y., Chen H., Roco M.C. Worldwide nanotechnology development: a comparative study of USPTO, EPO, and JPO patents (1976–2004). *J Nanoparticle Res.* (9), 2007, 977–1002.
18. Wang L., Notten A. Mapping the interdisciplinary nature and coevolutionary patterns in five nano-industrial sectors. Paper presented at the DIME final conference, 6–8 April 2011, Maastricht; Available at: <http://www.merit.unu.edu/publications/wppdf/2011/wp2011-029.pdf> [last accessed 02.03.13].
19. Bowman D.M., Hodge G. A. Nanotechnology: Mapping the wild regulatory frontier. *Futures*. 38, 2006, 1060–1073.
20. Royal Society and the Royal Academy of Engineers. *Nanoscience and nanotechnologies: Opportunities and uncertainties*, Royal Society and the Royal Academy of Engineers, London. 2004.
21. Drexler K.E. *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*, Anchor Press. 1996.
22. Drexler K.E. Machine-phase nanotechnology, *Scientific American*. 285 (3), 2001, 74–75.
23. Quintana A., Raczka E., Piehler L. Design and function of a dendrimer-based therapeutic nanodevice targeted to tumor cells through the folate receptor. *Pharm Res*. 19, 2002, 1310-1316.

24. Patri A.K., Majoros I.J., Baker J.R. Dendritic polymer macromolecular carriers for drug delivery. *Curr. Opin. Chem. Biol.* 6, 2002, 466–471.
25. Munshi D, Kurian P, Bartlett R.V., Lakhtakia A. A map of the nanoworld: Sizing up the science, politics, and business of the infinitesimal. *Futures* 39, 2007, 432–452.
26. Główny Urząd Statystyczny 2013. *Nanotechnologia 1 w Polsce w 2012 r.* Warszawa, grudzień 2013.
27. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 2011. (2011/696/UE). ZALECENIE KOMISJI z dnia 18 października 2011 r. dotyczące definicji nanomateriału.
28. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 2013. ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (UE) NR 658/2013 z dnia 10 lipca 2013 r. zmieniające załączniki II i III do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1223/2009 dotyczącego produktów kosmetycznych.
29. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 2014. ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (UE) NR 167/2014 z dnia 21 lutego 2014 r. zmieniające załącznik I do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 689/2008 dotyczącego wywozu i przywozu niebezpiecznych chemikaliów.
30. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 2004. ROZPORZĄDZENIE (WE) NR 1935/2004 PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 27 października 2004 r. w sprawie materiałów i wyrobów przeznaczonych do kontaktu z żywnością oraz uchylające dyrektywy 80/590/EWG i 89/109/EWG
31. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 1997. ROZPORZĄDZENIE (WE) nr 258/97 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 stycznia 1997 r. dotyczącego nowej żywności i nowych składników żywności.
32. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 2008. ROZPORZĄDZENIE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (WE) NR 1333/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie dodatków do żywności.
33. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 2011. ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (WE) NR 10/2011 z dnia 14 stycznia 2011 r. w sprawie materiałów i wyrobów z tworzyw sztucznych przeznaczonych do kontaktu z żywnością.
34. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 2009. ROZPORZĄDZENIE KOMISJI (WE) NR 450/2009 z dnia 29 maja 2009 r. w sprawie aktywnych i inteligentnych materiałów i wyrobów przeznaczonych do kontaktu z żywnością.
35. Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej 2009. ROZPORZĄDZENIE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (WE) NR 1107/2009 z dnia 21 października 2009 r. dotyczące wprowadzania do obrotu środków ochrony roślin i uchylające dyrektywy Rady 79/117/EWG i 91/414/EWG.
36. Hayter C. An EPSRC view of the nanotechnology horizon. *Materials Science and Engineering C* 23, 2003, 703–705.
37. Nanotechnology Researchers Network Center of Japan 2006. Nanotechnology research in Japan.
38. Takemura M. Japan's engagement in health, environmental and societal aspects of nanotechnology. *Journal of Cleaner Production.* 16, 2008, 1003-1005.
39. Michelson E.S. Globalization at the nano frontier: the future of nanotechnology policy in the United States, China, and India. *Technol Soc;* 30(3–4), 2008, 405–10.
40. Cao C., Suttmeier R.P., Simon D.F. China's 15-year science and technology plan. *Phys. Today.* 59, 2006, 38–43.
41. Hullmann A. Who is winning the global nano race? *Nat Nanotechnol.* 1, 2006, 81–83.
42. Asian Technology Information Program 2006. ATIP06.046. Nanotechnology infrastructure in China. Available from: <http://www.atip.orgS>

43. Ramachandran R. Preparing for take-off: Indian nanotechnology. Available from: <http://www.scidev.net/en/features/preparing-for-takeoffindian-nanotechnology.html> S; June 2006, 29.
44. Meridian Institute. Nanotechnology, commodities & development. Available from: [http://www.merid.org/nano/commoditiesworkshop/files/Comm\\_Dev\\_and\\_Nano\\_FINAL.pdf](http://www.merid.org/nano/commoditiesworkshop/files/Comm_Dev_and_Nano_FINAL.pdf), May 2007, 29.
45. Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Interdyscyplinarny Zespół do Spraw Nanonauki i Nanotechnologii. Nanonauka i nanotechnologia–Narodowa Strategia dla Polski. Raport. Warszawa 2006.
46. Kelsall R.W., Hamley I.W., Geoghegan M. Nanotechnologie. WN PWN, Warszawa 2012. ISBN 978-83-01-17233-6.
47. Malina D., Sobczak-Kupiec A., Kowalski Z. Nanocząsteczki srebra-przegląd chemicznych metod syntezy. *Chemia, Czasopismo Techniczne*. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. 10, 2010, 183-192.
48. Banach M., Kowalski Z., Wzorek Z. Nanosrebro – wytwarzanie, właściwości bakteriobójcze, zastosowanie. *Chemik*. 9, 2007, 435-438.
49. Goia D.V., Matijevic E. Preparation of monodispersed metal particles. *New Journal of Chemistry*. 98, 1998, 1203-1215.
50. Dorskocz M. Raport o stanie wiedzy dotyczącej klastrów wody, tworzeniu się klastrów oraz rozpadu (deklastracji). Accessed 2014. 05.11. <http://br.stomadent.pl/category/badania/>
51. Yoon, W. J.; Jung, K. Y.; Liu, J. W. Duraisamy, T.; Revur, R.; eixeira, F. L.; Sengupta, S.; Berger, P. R. Plasmon-enhanced optical absorption and photocurrent in organic bulk heterojunction photovoltaic devices using self-assembled layer of silver nanoparticles. *Sol Energ Mat Sol C*. 94(2), 2010, 128-132.
52. Langauer-Lewowicka H., Pawlas K. Nanocząstki, nanotechnologia – potencjalne zagrożenia środowiskowe i zawodowe. *Mmedycyna Środowiskowa - environmental medicine*. Vol. 17, no. 2, 2014, 7-14.
53. Chaloupka K., Malam Y., Seifalian A.M. Nanosilver as a new generation of nanoparticle in biomedical applications. *Trends Biotechnol*. 28.11. 2010, 580-588.
54. Sawosz E., Lepianka A., Sokół L., Grodzik M., Kizerwetter-Świda M., Binek M., Szeliga J., Beck I., Chwalibóg A. (In polish) Antimicrobial properties of silver nanoparticles in investigation in vitro. Regional and local study of South-East Poland. *Monograph* (ed. E. Grela. Tom IV, 2010, 148-156.
55. Kowalski Z., Banach M., Powalka E. Zastosowanie płynów dezynfekcyjnych z dodatkami nanosrebra w przemyśle mięsnym celem ograniczenia odorów. *Przemysł Chemiczny*. 88, 5, 2009, 478-482.
56. Chwalibóg A., Sawosz E., Hotowy A., Szeliga J., Mitura S., Mitura K., Grodzik M., Orłowski P., Sokołowska A.. Visualisation of interaction between inorganic nanoparticles and bacteria or fungi. *Int. J. Nanomedicine*. 5, 2010, 1085-1094.
57. Chen H (Ed). *Nanoscale science and engineering for agriculture and food systems*. Prof USDA Conference, Nov. 2002. 18–19, Washington DC.
58. Wzorek Z., Konopka M. Nanosrebro – nowy środek bakteriobójczy. *Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Czasopismo Techniczne*. 1, 2007, 175-181.
59. Mroczek-Sosnowska N., Jaworski S., Siennicka A., Gondak A. Unikalne właściwości nanocząstek srebra. *Nanotechnologia. Polskie drobiarstwo*. 2, 2013, 6-8.
60. Piccapietra F. Colloidal stability of silver nanoparticles and their interactions with the alga *Chlamydomonas reinhardtii*, PhD Thesis, ETH ZURICH, DISS. ETH NO. 20365 2012. <http://e-collection.library.ethz.ch/eserv/eth:5853/eth-5853-02.pdf>

61. Lamsal K., Kim S.W., Jung J.H., Kim Y.S., Kim K.S., Lee Y.S. Application of Silver Nanoparticles for the Control of Colletotrichum Species In Vitro and Pepper Anthracnose Disease in Field. *Mycobiology*. 39(1), 2011, 194-199.
62. Min J.S., Kim K.S., Kim S.W., Jung J.H., Lamsal K., Kim S.B. Effects of Colloidal Silver Nanoparticles on Sclerotium-Forming Phytopathogenic Fungi. *Plant Pathol. J.* 25(4), 2009, 376-380.
63. Traczewska T., Sitarska M. Badanie toksyczności wody wodociągowej poddanej działaniu plazmy niskotemperaturowej, raport. Politechnika Wroclawska Instytut Inżynierii Ochrony Środowisk. stan wiedzy na dzień 2014.02.10.
64. Song J.Y., Kim B.S. Rapid biological synthesis of silver nanoparticles using plant leaf extracts. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. 32, 2009, 79-84.
65. Och A., Och M., Elkin I., Oszczyda Z., Kocki J., Bogucka-Kocka A. 2014. Raport: Wpływ zdeklastrowanego medium hodowlanego RPMI na żywotność i zdolność proliferacji komórek nowotworowych układu hematopoetycznego człowieka.
66. Stomadent. Właściwości biologiczne wody obrabianej plazmą - wpływ na komórki nowotworowe. Accessed 27.11.2014. [http://br.stomadent.pl/wp-content/uploads/2014/06/Badania\\_podsumowanie\\_Komorki\\_Nowotworowe.pdf](http://br.stomadent.pl/wp-content/uploads/2014/06/Badania_podsumowanie_Komorki_Nowotworowe.pdf)

Dr inż. Magdalena KACHEL-JAKUBOWSKA  
 Katedra Eksploatacji Maszyn  
 i Zarządzania Procesami Produkcyjnymi  
 Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
 tel. (81) 531 97 31  
 e-mail:  
 magdalena.kacheljakubowska@up.lublin.pl

Dr inż. hab. Mariusz SZYMANEK  
 Katedra Maszynoznawstwa Rolniczego  
 Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
 e-mail: mariusz.szzymanek@up.lublin.pl

Dr inż. Agata DZIWULSKA-HUNEK  
 Katedra Fizyki  
 Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
 e-mail: agata.dziwulska-hunek@up.lublin.pl