



Joanna Świątek-Prokop, Aleksander Gabryś

Akademia im. Jana Długosza

al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa

e-mail: j.prokop@ajd.czyst.pl

ANALIZA STANU WIEDZY NA TEMAT WPŁYWU NANOCZĄSTEK NA ZDROWIE PRACOWNIKÓW

Streszczenie. Nanocząstki coraz częściej pojawiają się w naszym otoczeniu. Ważne jest, żebyśmy zdawali sobie sprawę z ich szkodliwego oddziaływania na żywe organizmy. W pracy przedstawiono badania mające na celu stwierdzenie, jaki jest poziom wiedzy pracowników na temat nanocząstek. Uzyskane wyniki pokazują dużą samoświadomość ankietowanych oraz braki związane z programem szkoleń BHP w zakładach pracy.

Słowa kluczowe: nanocząstki, ocena ryzyka, BHP.

THE ANALYSIS OF CURRENT STATE OF KNOWLEDGE ON THE IMPACT OF NANOPARTICLES ON WORKERS' HEALTH

Abstract. Nanoparticles are increasingly present in our environment. It is important to know about their harmful effects on living organisms. In the paper we present studies on the state of knowledge on the influence of nanoparticles on workers' health. The results show high self-awareness of respondents and deficiencies associated with the program of safety training in the workplace.

Keywords: nanoparticles, risk assessment, health and safety.

Wstęp

Nanocząstki, zgodnie z klasyczną definicją, to cząstki o średnicy nieprzekraczającej 100 nm. Obecnie pojawiają się kolejne definicje, uwzględniające ich reaktywność, budowę oraz wielkość, kładąc szczególny nacisk na potencjal-

ne zagrożenia wynikające z ich wielkości. Komisja Europejska od 18 października 2011 r. posługuje się następującą definicją nanomateriału: jest to 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 1–100 nm lub materiał, w którym powierzchnia właściwa przypadająca na objętość jest większa niż $60 \text{ m}^2/\text{cm}^3$ [1]. W uzasadnionych przypadkach mogą występować, uwzględnione w zaleceniu, odstępstwa od tej definicji :

- w określonych przypadkach, uzasadnionych względami ochrony środowiska, zdrowia, bezpieczeństwa lub konkurencyjności zamiast wartości progowej liczbowego rozkładu wielkości cząstek wynoszącej 50% można przyjąć wartość z zakresu 1–5%,
- za nanomateriały należy także uznać fulereny, płatki grafenowe oraz jednościenne nanorurki węglowe o co najmniej jednym wymiarze poniżej 1 nm [2].

Nanocząstki są naturalnymi składnikami biosfery od milionów lat. Naturalnymi ich źródłami są erupcje wulkaniczne, pożary wielkoobszarowe, erozja, utlenianie minerałów. Do środowiska coraz częściej emitowane są nanocząstki – jako wynik działalności człowieka. Jedne z nich są efektem celowej działalności drugie zaś są skutkiem ubocznym związanym z rozwijającym się przemysłem i nanotechnologią. Nanocząstki pojawiają się tam, gdzie odbywa się obróbka w wysokiej temperaturze, np. przy smażeniu, spalaniu, ale również cięciu, spawaniu czy malowaniu proszkowym [3]. Rozwój przemysłowy, a w tym rozwój rynku nanotechnologicznego, skutkuje wzrostem stężenia nanocząstek w otaczającym nas środowisku, co równocześnie powoduje większą ekspozycję organizmów żywych na ich działanie.

Ocena ryzyka związanego z ekspozycją na nanocząstki

Nanocząstki z uwagi na swoje rozmiary mogą przenikać przez większość barier biologicznych. Do organizmów żywych mogą przedostawać się poprzez skórę, układ oddechowy czy pokarm. Ich toksyczność, dla cząstek nierozpuszczalnych, zależy odwrotnie proporcjonalnie od promienia, a wprost proporcjonalnie od ich pola powierzchni [4–5]. Nanocząstki wprowadzone do organizmu powodują stres oksydacyjny oraz stany zapalne [6]. Reakcja jest silniejsza niż w przypadku cząstek tego samego związku, lecz o większych rozmiarach [7–8]. Dotychczasowe badania wskazują [9], że szkodliwość nanocząstek zależy w znacznej mierze od ich pola powierzchni, a nie od ich masy w danej objętości powietrza. W związku z tym wielkością mierzoną i wykorzystywaną do oceny ryzyka powinno być stężenie powierzchniowe, a nie stężenie masowe. Trwają

intensywne prace nad opracowaniem procedur dotyczących indywidualnej oceny ryzyka na stanowiskach pracy, na których pracownik narażony jest na działanie nanocząstek. Największym problemem jest brak przenośnej i ogólnodostępnej aparatury pozwalającej na oznaczanie stężenia powierzchniowego w strefie oddychania pracownika, brakuje również jednoznacznych kryteriów oceny toksyczności nanocząstek. Istniejąca aparatura łączy w sobie kondensacyjny licznik cząstek (CPC), optyczny licznik cząstek (OPC) oraz urządzenia do oceny morfologii, wymiarów i kształtu na bazie SEM lub TEM. W ramach programu Nano-device trwają prace nad skonstruowaniem takiej przenośnej aparatury, której koszty byłyby do zaakceptowania przy powszechnym stosowaniu [10].

Jedną z rekomendowanych szacunkowych metod oceny ryzyka jest metoda opracowana przez Zalka i Paika [11–12], w której poprzez zebranie danych dotyczących właściwości fizykochemicznych i toksycznym materiałów wyjściowych i nanomateriałów, a także operacji prowadzą do ustalenia łącznego wskaźnika ciężkości następstw. Zależy on od możliwości dostawania się nanocząstek do organizmu, intensywności ich osadzania w poszczególnych fragmentach układu oddechowego, zdolności do przenikania i adsorbowania się na skórze. We wskaźniku tym dane odnoszące się do nanocząstek stanowią 70% wkład, a 30% od materiałów macierzystych. Wyznacza się 15 wskaźników (tab. 1).

Tab.1 Wskaźniki określające ciężkość następstw [9, 11]

Wskaźniki ciężkości następstw	Wartość maksymalna wskaźnika *
Aktywność powierzchniowa NM	10
Kształt cząstek NM	10
Średnica cząstek NM	10
Rozpuszczalność w wodzie NM	10
Rakotwórczość NM	6
Mutagenność NM	6
Działanie toksyczne na rozrodczość NM	6
Działanie toksyczne poprzez skórę NM	6
Działanie astmatyczne NM	6
Toksyczność PM	10
Rakotwórczość PM	4
Mutagenność PM	4
Działanie toksyczne na rozrodczość PM	4
Działanie toksyczne poprzez skórę PM	4
Działanie astmatyczne	4

*Wartość maksymalna wskaźnika łącznego wynosi 100

Wynik 0–25 uznawany jest za niską wartość, 26–50 za średnią wartość, 51–75 za wysoką, 76–100 za bardzo wysoką.

Łączny wskaźnik prawdopodobieństwa wyznaczany jest przy uwzględnieniu danych opisujących prawdopodobieństwo wystąpienia szkodliwych efektów (tab. 2).

Tab. 2. Wskaźniki określające prawdopodobieństwo wystąpienia szkodliwych efektów [9, 11]

Wskaźniki prawdopodobieństwa	Wartość maksymalna wskaźnika *
Ilość NM	25
Stopień pylistości/zamglenia	30
Liczba narażonych pracowników na NM	15
Częstość narażenia	15
Czas narażenia	15

*Wartość maksymalna wskaźnika łącznego wynosi 100

Tab. 3. Prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka w zależności od wartości łącznego wskaźnika prawdopodobieństwa wystąpienia ryzyka

Łączny wskaźnik	Prawdopodobieństwo wystąpienia ryzyka
0–25	nieprawdopodobne
26–50	mało prawdopodobne
51–75	prawdopodobne
76–100	wysoce prawdopodobne

Tab. 4. Matryca do poziomu oceny ryzyka (RL) jako funkcja ciężkości następstw i prawdopodobieństwa [9, 11]

		Prawdopodobieństwo			
		0-25	26-50	51-75	76-100
Ciężkość następstw	Bardzo wysoka (76–100)	RL3	RL3	RL4	RL4
	Wysoka (51–75)	RL2	RL2	RL3	RL4
	Średnia (26–50)	RL1	RL1	RL2	RL3
	Mała (0–25)	RL1	RL1	RL1	RL2

Całkowity poziom ryzyka zawodowego określa się, wykorzystując łączny wskaźnik ciężkości następstw oraz prawdopodobieństwa wystąpienia następstw, w skali czterostopniowej, zgodnie z tab. 4.

W Polsce nie ma jednoznacznie określonych normatywów higienicznych dotyczących nanocząstek. Najwyższe dopuszczalne stężenia podaje się dla frakcji aerozoli [13]:

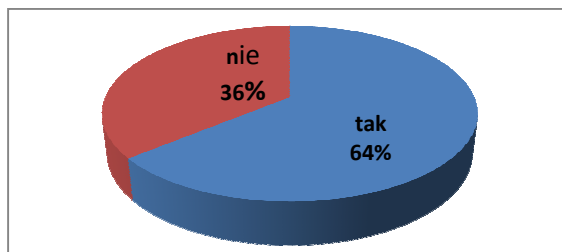
- frakcja wdychalna – wnikać przez usta i nos, która po osadzeniu w drogach oddechowych stwarza zagrożenie dla zdrowia,
- frakcja torakalna – wnikać do dróg oddechowych w obrębie klatki piersiowej, stwarza zagrożenie dla zdrowia po zdeponowaniu w obszarze tchawiczo-oskrzelowym i obszarze wymiany gazowej,
- frakcja respirabilna – wnikać do dróg oddechowych, stwarza zagrożenie dla zdrowia po zdeponowaniu w obszarze wymiany gazowej.

Do ostatniej grupy zalicza się nanocząstki i cząstki drobne, nie ma jednak wyodrębnionej osobnej frakcji, w której mieściłyby się tylko nanocząstki.

Ocena świadomości istniejących zagrożeń w trakcie ekspozycji na nanocząstki

Ze względu na brak jednoznacznie określonych przepisów dotyczących zagrożeń wywołanych w trakcie ekspozycji pracownika na nanocząstki, co przekłada się na brak zainteresowania pracodawców tym tematem, szczególnie istotna jest tu samoświadomość zatrudnionych w przemyśle osób. Badania przeprowadzono na grupie 100 osób zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których ze względu na zachodzący tam proces technologiczny mogą uwalniać się nanocząstki. Nie były to stanowiska w zakładach związanych z produkcją nanomateriałów, gdzie świadomość istniejących zagrożeń powinna być zdecydowanie większa zarówno u pracodawców, jak i pracowników. Jako technikę badawczą zastosowano ankietę, a narzędziem badawczym był kwestionariusz.

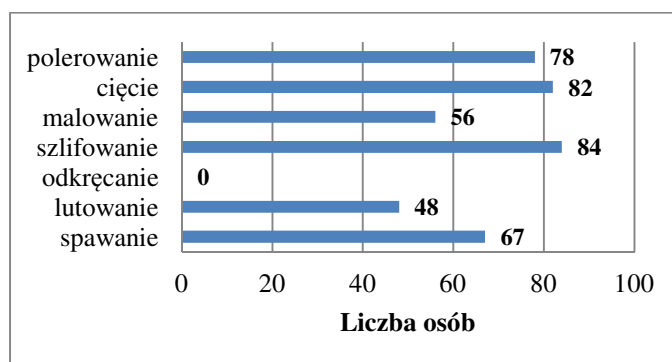
Pierwsze pytanie dotyczyło znajomości pojęcia nanocząstki i brzmiało: *Czy spotkał/a Pan/Pani się kiedyś z pojęciem „nanocząstka”?*



Rys. 1. Wyniki dotyczące znajomości terminu „nanocząstka”

Dla ponad 60% badanych termin „nanocząstka” był znany. Niewątpliwie związane jest to z coraz większą obecnością nanocząstek w życiu codziennym i pojawianiem się tego terminu na opakowaniach np. środków czystości, środków farmakologicznych czy też na sprzęcie sportowym.

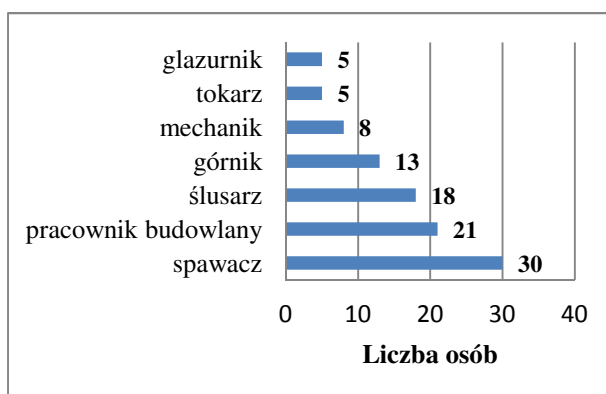
Odpowiadając na pytanie nr 2, należało, po wcześniejszym uświadomieniu, jakie są wymiary nanocząstek, wskazać, podczas jakich czynności mogą się one uwalniać. Zaproponowano 7 odpowiedzi, można było dokonać wielokrotnego wyboru.



Rys. 2. Wyniki odpowiedzi na pytanie nr 2

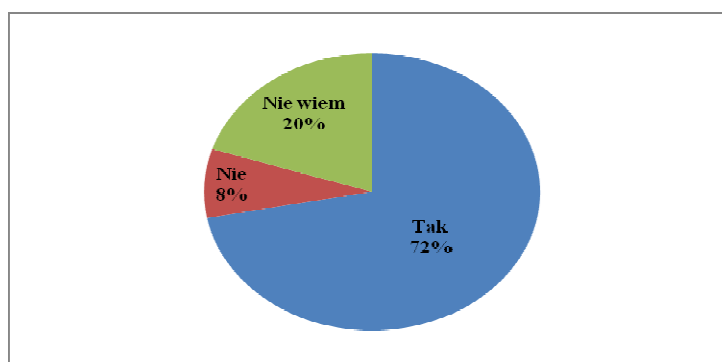
Prawidłowe odpowiedzi to: polerowanie, cięcie, szlifowanie, lutowanie, spawanie. Najłatwiej identyfikowalne były czynności, przy których powstaje duża ilość pyłów, jak cięcie czy szlifowanie. 48% wskazało lutowanie, a 67% spawanie, przy czym wyższy wskaźnik przy spawaniu związany jest prawdopodobnie z zewnętrznymi efektami towarzyszącymi tej czynności. 30% ankietowanych przypisało, nieprawidłowo, do tej grupy malowanie.

Następne pytanie brzmiało: *Na jakim stanowisku Pan/Pani pracuje?*



Rys. 3. Wyniki odpowiedzi na pytanie dotyczące wykonywanego zawodu

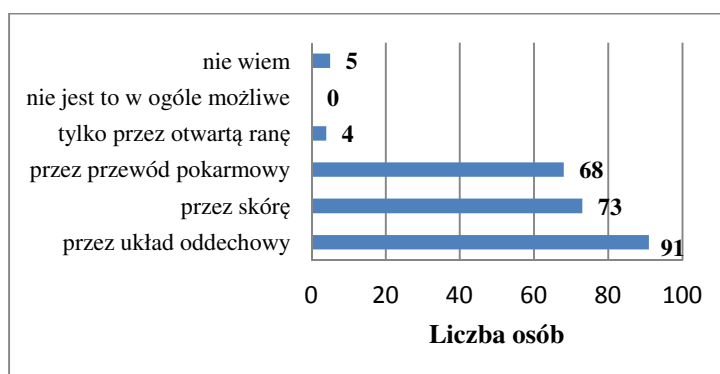
Grupa dobrana była tak, aby każdy z badanych mógł się w swojej pracy spotkać z nanocząstkami, jako efektem ubocznym wykonywanych czynności. Dlatego szczególnie ważna jest odpowiedź na pytanie: *Jak Pan/Pani uważa, czy na Pana/Pani stanowisku pracy występuje zagrożenie związane z występowaniem nanocząstek?*



Rys. 4. Wyniki odpowiedzi na pytanie nr 4

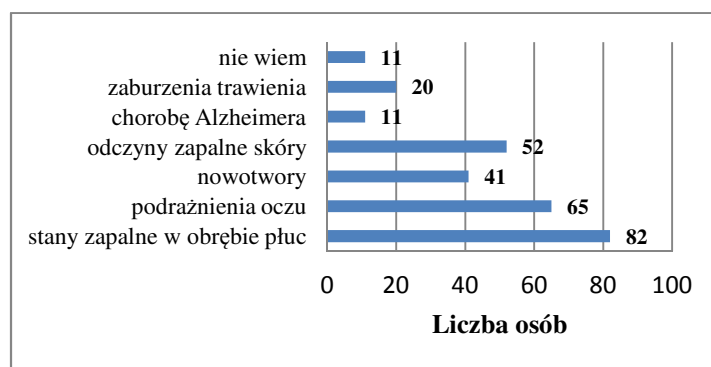
Odpowiedzi na to pytanie potwierdziły dość dużą świadomość badanych w kwestii możliwości wystąpienia nanocząstek na ich stanowisku pracy. 72% uważa, iż może się zetknąć z nimi w trakcie wykonywanych przez siebie czynności, 20% zadeklarowało, iż nie potrafi udzielić odpowiedzi na to pytanie, a 8% ankietowanych uważa, iż ten problem ich nie dotyczy.

Pytanie nr 5 dotyczyło dróg przedostawania się nanocząstek do organizmu ludzkiego. Możliwości odpowiedzi były następujące: a) przez układ oddechowy, b) przez skórę, c) przez przewód pokarmowy, d) tylko przez otwartą ranę, e) nie jest to w ogóle możliwe, f) nie wiem. Było to również pytanie wielokrotnego wyboru, w związku z tym odpowiedzi nie sumują się do 100%.



Rys. 5. Wyniki odpowiedzi na pytanie o drogi przedostawania się nanocząstek do organizmu ludzkiego

Najprostszą do identyfikacji okazała się droga poprzez układ oddechowy, wskazało ją 91% ankietowanych, kolejne dwie z możliwych dróg zostały również trafnie wybrane. Drogę przez skórę, ale bez ograniczania się jedynie do otartych ran, wskazało 73% badanych, a kolejną możliwą – poprzez przewód pokarmowy – 68%. W związku z tym również wskazanie chorób, które mogą spowodować nanocząstki, a czego dotyczyło kolejne pytanie, skupiło się na układzie oddechowym.

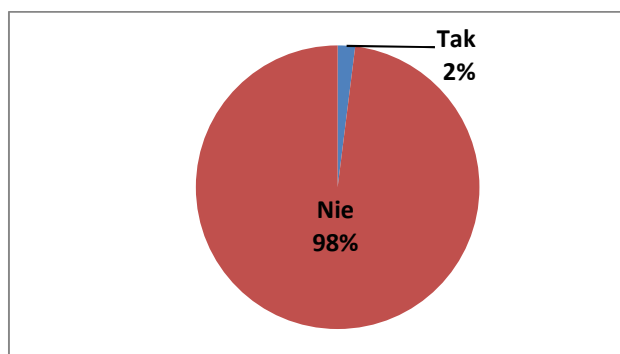


Rys. 6. Odpowiedzi na pytanie dotyczące możliwych chorób wywoływanych przez nanocząstki

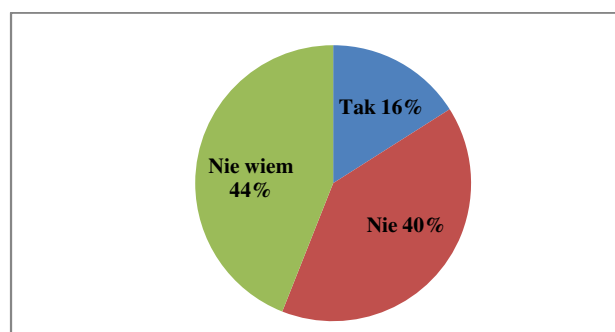
Równie oczywistym wydawały się podrażnienia oczu – wskazało je 65% badanych, a także odczyny zapalne skóry. Pozostałe jednostki chorobowe budziły już większe wątpliwości, a zwłaszcza choroba Alzheimera. Jedynie 11 osób uznało, że nanocząstki mogą wpłynąć na rozwój tej choroby. Coraz częściej pojawiają się doniesienia literaturowe wskazujące na wpływ nanocząstek na rozwój chorób neurodegeneracyjnych, takich jak choroba Parkinsona czy Alzheimera, gdyż ich niewielkie rozmiary pozwalają na pokonanie bariery krew-mózg i dotarcie do jąder komórek w mózgu i ich modyfikację.

Bardzo istotnym pytaniem było pytanie nr 7: *Czy podczas szkolenia BHP był Pan/Pani poinformowany/poinformowana o wpływie nanocząstek na organizm ludzki?*

Uzyskane odpowiedzi jednoznacznie wskazują na brak szerszego spojrzenia pracodawców/służb BHP na istniejący i ciągle rosnący problem. Brak rozporządzeń prawnych implikuje brak informacji przekazywanych na obowiązkowych szkoleniach odbywających się w zakładach pracy.



Rys. 7. Odpowiedzi na pytanie dotyczące szkoleń BHP

Rys. 8. Odpowiedź na pytanie: *Czy używane przez Pana/Panią środki ochrony indywidualnej zabezpieczają przed działaniem nanocząstek?*

Mimo że 100% ankietowanych używa środków ochrony indywidualnej, to jedynie 19% twierdzi, iż chronią ich one również przed negatywnym wpływem nanocząstek. Tego zagadnienia dotyczyło pytanie nr 8, na które odpowiedź przedstawia rys. 8. Przy czym analizując wcześniejsze wyniki należy przypuszczać, że środki te nie spełniają wymogów stawianych środkom ochrony indywidualnej mającym chronić przed negatywnym wpływem nanocząstek, gdyż ankietowani w zadanym dodatkowo pytaniu odpowiedzieli, że stosują rękawice ochronne 46%, kask/hełm ochronny 38%, okulary ochronne 37%, maseczkę ochronną 34% i inne 2%.

Wnioski

Przeprowadzone badania jednoznacznie wskazują na dość dużą samoświadomość pracowników dotyczącą zarówno istnienia nanocząstek, jak i ich oddziaływania na organizm ludzki. Jednocześnie ujawnił się bardzo niepokoją-

cy trend nieinformowania pracowników o możliwym zagrożeniu ze strony cząstek w skali nano. 98% ankietowanych nie wspomniano nawet o tych zagadnieniach podczas obowiązkowych szkoleń BHP. Niewątpliwie wynika to z faktu, iż w chwili obecnej nie ma rozporządzeń prawnych dotyczących największych dopuszczalnych stężeń, nakładających na pracodawcę taki obowiązek. Również podczas przeprowadzania oceny ryzyka na danym stanowisku pracy zagadnienia te nie są uwzględniane. Należy przeprowadzać ocenę ryzyka zawodowego związanego nie tylko z toksycznością czynników chemicznych, ale również z ich właściwościami fizykochemicznymi. Właściwości nanocząstek znacznie różnią się od właściwości materiału macierzystego. Należy również brać pod uwagę wszystkie drogi przenikania nanocząstek do organizmu, gdyż ze względu na wymiary większość barier biologicznych może być łatwo przez nie pokonana. Niezbędne jest również przekazanie pracownikom wiedzy dotyczącej środków ochrony indywidualnej, zabezpieczającymi organizm nie tylko przed mikrocząstkami.

Literatura

- [1] Zalecenie komisji z dnia 18 października 2011 r. dotyczące nanomateriału Dz Urz UE L275/38.
- [2] Świdwińska-Gajewska A.M., Czerczak S., Nanocząstki ditlenku tytanu – dopuszczalne poziomy narażenia zawodowego, *Medycyna Pracy* 65(3), 2014, s. 407–418.
- [3] Snopczyński T., Góralczyk K., Czaja K., Struciński P., Hernik A., Korcz W., Ludwicki J., Nanotechnologia – możliwości zagrożenia, *Rocznik PZH*, 60(2), 2009, s. 10–11.
- [4] Bujak-Pietrek S., Narażenie na nanocząstki w środowisku pracy jako zagrożenie dla zdrowia. Problemy oceny ekspozycji zawodowej, *Medycyna Pracy* 61(2), 2010, s.183–189.
- [5] Świdwińska-Gajewska A.M., *Medycyna Pracy* 62(3), 2010, s. 243–249.
- [6] Langauer-Lewowicka H., Pawlas K., Nanocząstki, nanotechnologia – potencjalne zagrożenia środowiskowe i zawodowe, *Medycyna Pracy – Environmental Medicine*, 17(2), 2014, s. 7–14.
- [7] Zapór L., Bezpieczeństwo i higiena pracy a rozwój nanotechnologii, *Bezpieczeństwo Pracy* 1, 2012, s.4–7.
- [8] Świątek-Prokop J., Nanomateriały – zalety i zagrożenia, *Prace Naukowe AJD, Technika, Informatyka, Inżynieria Bezpieczeństwa*, t. 7, 2012, s. 47–54.
- [9] Pośniak M., Dobrzyńska E., Szewczyńska M., Projektowane nanomateriały w środowisku pracy. Narzędzia do oceny ryzyka, *Przemysł Chemiczny* 91/4, 2012, s. 588–593.

-
- [10] Novel concepts, methods and technologies for the production of portable, easy-to-use devices for measurement and analysis of air borne engineered nanoparticles In workplace air Nanodevice, Projekt EU w 7. Programie Ramowym.
- [11] Paik S.Y., Zalk D.M., Swust P., Application of a Pilot Control Banding Tool for Risk Level Assessment and Control of Nanoparticle Exposures, *Annual Occupational Hygiene*, 52(6), 2008, s. 419–428, DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/annhyg/men041>.
- [12] Zalk D.M., Paik S.Y., Swuste P.: Evaluating the Control Banding Nanotool: a qualitative risk assessment method for controlling nanoparticle exposures, *Journal of Nanoparticle Research*, 11(7), 2009, p. 1685–1704, DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s11051-009-9678-y>.
- [13] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 6 czerwca 2014 w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz.U z 2014., poz. 817.