

Tomasz STEPIEŃ  
Politechnika Wroclawska  
tomasz.stepien@pwr.edu.pl

## ZASTOSOWANIE OCENY TECHNOLOGII W PRZYPADKU NANOTECHNOLOGII. GŁÓWNE ZAGADNIENIA I PODEJŚCIA TEORETYCZNE

**Streszczenie.** Nanotechnologie stanowią jeden z głównych przedmiotów analiz w ramach teorii technonauki i oceny technologii jak również w przypadku rozwoju tzw. technologii konwergentnych (nano-bio-info). Przedstawione dotychczas analizy nanotechnologii były skoncentrowane na: 1) dylematach naukowo-teoretycznych, metodologicznych i systemowych związanych z procesem konstituowania nanotechnologii jako nowego obszaru nauki i techniki; 2) modelach oceny ryzyka, kwestiach związanych z zasadą ostrożności oraz ocenach wizji rozwoju; 3) wymiarze etycznym nanotechnologii związanym z bezpiecznym i zrównoważonym zastosowaniem na masową skalę nano-produktów. Celem prezentowanych analiz jest syntetyzujące nakreślenie samego obszaru badań poświęconych rozwojowi technologicznemu, w szczególności nanotechnologii, w oparciu o kluczowe opracowania przedstawione w ostatniej dekadzie.

**Słowa kluczowe:** ocena (nano)technologii, technonauka, technologie konwergentne, nano-etyka, ocena i regulowanie ryzyka

## APPLICATION OF TECHNOLOGY ASSESSMENT IN THE CASE OF NANOTECHNOLOGY. MAJOR ISSUES AND THEORETICAL APPROACHES

**Abstract.** Nanotechnologies belong to the major objectives in the theory of technoscience and technology assessment or the development of converging technologies (nano-bio-info). Hereby the presented to date analyses are focused on: 1) theoretical, methodological and systematic dilemmas with regard to the process constituting nanotechnology as a new field of science and technology; 2) models of risk assessment and issues related with the precautionary principle and visions' assessment; 3) ethical dimension of nanotechnology concerning the safe and sustainable mass dissemination of nano-based products. The presented analyses design synthetically the research field devoted to the technological

development, especially nanotechnology, basing on the key body literature elaborated in the last decade.

**Keywords:** (nano-) technology assessment, technoscience, converging technologies, nano-ethics, risk assessment and governance

## 1. Wprowadzenie. Technika i nowe technologie jako przedmiot badań współczesnej humanistyki

Nanotechnologie można zaliczyć do bardzo dynamicznie i wielostronnie rozwijanych obszarów nauki i techniki w ostatnich dwóch dekadach. Przy czym, w porównaniu do technologii informacyjno-komunikacyjnych oraz biotechnologii, w przypadku nanotechnologii wymiar społeczny i etyczny został uwzględniony niemalże od początku zainicjowanych programów badawczych na dużą skalę. W ten sposób nanotechnologie stanowią obecnie jeden z głównych przedmiotów analiz we współczesnych koncepcjach techniki i nowych technologii, do których możemy zaliczyć: 1) teorię technonauki opartą na badaniach wzajemnych oddziaływań pomiędzy nauką a techniką (*science and technology studies*, STS), z uznaniem nanotechnologii jako wzorcowy przykład technonauki, 2) koncepcję oceny technologii (*technology assessment*, TA) z modelami oceny nanotechnologii oraz 3) koncepcję technologii konwergentnych (*converging technologies*, CT) z uznaniem nanotechnologii za podstawę i warunek konwergencji technologicznej (nano-bio-info) oraz technologii bazujących na naukach kognitywnych (cogno).

W ostatniej dekadzie analiza wymiaru etycznego, społecznego i prawnego nanotechnologii najczęściej dotyczyła wpływu nanotechnologii na społeczeństwo i kulturę w formie ogólnych studiów ELSA (*Ethical, Legal and Social Aspects*) lub ELSI (*Ethical, Legal and Social Impacts*) poświęconych rozwojowi technologicznemu. Natomiast w sposób szczególny zagadnienia związane z nanotechnologiami były poruszane w ramach tzw. badań SEIN (*Social and Ethical Interactions with Nanotechnology*), NELSI (jako wersja ELSI w przypadku 'nano') oraz NE<sup>3</sup>LS (*Nano Ethical-Environmental-Economic, Legal and Social issues*). Badania nad wymiarem społecznym i etycznym nanotechnologii zostały zapoczątkowane przede wszystkim w ramach narodowej inicjatywy rozwoju nanotechnologii zainicjowanej przez administrację prezydenta Stanów Zjednoczonych w 2000 roku, następnie badania te zostały wsparte przez Kongres USA (tzw. *US National Nanotechnology Initiative*, NNI; por. Roco and Bainbridge 2001). W następnych latach inicjatywa ta przyjęła formę międzynarodową (*International Nanotechnology Initiative*, INI), której celem była koordynacja badań w zakresie nanotechnologii w wymiarze globalnym.

W tym kontekście należy podkreślić, że decyzje polityczne w zakresie polityki szkolnictwa wyższego i badań naukowych w znaczący sposób wpłynęły na rozwój nanotechnologii, m.in. poprzez przyjętą architekturę programów badawczych, opracowane

mechanizmy ich finansowania ze środków publicznych oraz określenie celów strategicznych w polityce rozwojowej. Uznanie nanotechnologii za badania kluczowe dla całego społeczeństwa oznaczało tym samym konieczność podjęcia rozważań nad ich wymiarem społecznym i etycznym. Za punkt wyjścia posłużyły w tym momencie ukształtowane w międzyczasie teorie technonauki i oceny technologii oraz nowa koncepcja technologii konwergentnych. W tym sensie zadaniem prezentowanych analiz jest syntetyzujące przedstawienie głównych założeń tych trzech nurtów oraz ich porównanie na przykładzie nanotechnologii. W sposób szczególny analizy dotyczą zastosowania teorii i metodyki oceny technologii z pytaniem, na ile jest możliwe wypracowania wzorcowego modelu oceny nanotechnologii, który miałby zastosowanie również w przypadku innych technologii oraz pojawiających się ‘derywatów’ nanotechnologii, jak w przypadku biologii syntetycznej czy też tzw. nano-medycyny w perspektywie możliwości doskonalenia człowieka (*human enhancement*). Zgodnie z tymi założeniami do głównych zagadnień analizy i oceny nanotechnologii możemy zaliczyć: 1) dylematy naukowo-teoretyczne, metodologiczne i systemowe związane z procesem konstytuowania nanotechnologii w formie nowego interdyscyplinarnego oraz międzydziedzinowego obszaru nauki i techniki przy uwzględnieniu ich wymiaru społeczno-politycznego; 2) zaproponowane dotychczas modele oceny ryzyka, kwestie związane z zasadą ostrożności oraz oceną wizji (scenariuszy) rozwoju (*visions’ assessment*); 3) wymiar etyczny nanotechnologii w kontekście ukonstytuowanej w międzyczasie subdyscypliny – nanotoksykologii – oraz dylematów związanych z bezpiecznym i zrównoważonym zastosowaniem na masową skalę nano-produktów z jednej strony, z drugiej strony są to kontrowersje skupione wokół tzw. nano-etyki; 4) w końcu kwestia uznania nanotechnologii za warunek rozwoju technologii konwergentnych.

Wymienione powyżej trzy główne nurty współczesnych badań nad techniką i nowymi technologiami odnoszą się – adekwatnie do swych założeń teoretycznych – do wyróżnionych podstawowych kwestii spornych. Natomiast celem powyższych analiz jest porównanie dotychczas osiągniętych rezultatów badań w formie wewnętrznie spójnego modelu oceny nanotechnologii. Sama nanotechnologia zostaje ujęta w tym momencie jako dominujący obecnie przejaw technonauki, a poszerzony w ten sposób model oceny można uznać za podstawę dla swoistej heurystyki współczesnej technonauki<sup>1</sup>.

Do głównych stanowisk teoretycznych, które można uznać za punkt odniesienia zarówno dla teorii technonauki, oceny technologii jak i koncepcji technologii konwergentnych, są zaliczane: 1) zasada (imperatyw) odpowiedzialności Hansa Jonasa wraz z koncepcją makroetyki globalnej odpowiedzialności, 2) koncepcja społeczeństwa ryzyka Ulricha Becka, 3) specyfika badań laboratoryjnych Bruno Latoura wraz z rozwojem socjologii wiedzy, konstruktywizmu i postkonstruktywizmu, 4) wprowadzenie i upowszechnienie zasady ostrożności w kontekście rozwoju techniki i systemu technologicznego, 5) upowszechnienie

---

<sup>1</sup> Stępień T.: *Heuristics of Technosciences. Philosophical Framing in the Case of Nanotechnology*. Peter Lang Edition, Frankfurt am Main 2016.

analiz systemowych, 6) w końcu zasada partycypacji, która w sposób bezpośredni wyraża proces demokratyzacji samej nauki, jej transformacji w formie post-akademickiej<sup>2</sup>.

## 2. Podejścia teoretyczne: ocena, konstruowanie i konwergencja

Sama koncepcja oceny technologii wykazuje bogatą historię pod względem procesu instytucjonalizacji. Swymi korzeniami sięga początku lat 70. XX wieku i powstania Biura ds. Oceny Technologii przy Kongresie USA (*Office of Technology Assessment*, OTA). Przez ponad 20 lat działalności na styku nauki, administracji państwowej i biznesu zostały wypracowane w ten sposób podstawy teoretyczne, metodologia jak i praktyka procedur oceny technologii<sup>3</sup> (do historii OTA). Ze względu na te uwarunkowania instytucjonalne sama ocena technologii była i jest nadal utożsamiana przede wszystkim z odmianą doradztwa politycznego (parlamentarnego), czego wyrazem jest chociażby utworzona od końca lat 80. XX wieku sieć europejskich instytucji w zakresie oceny technologii zrzeszonych w ramach *European Parliamentary Technology Assessment Network*<sup>4</sup> (EPTA).

Mając na uwadze historię rozwoju oceny technologii, m.in. pod względem instytucjonalnym, Armin Grunwald wyróżnia szereg wzajemnie się dopełniających modeli oceny technologii<sup>5</sup>, począwszy od klasycznego ‘instrumentalnego’ (‘linearnego’) modelu oceny technologii rozwiniętego w ramach OTA w formie doradztwa politycznego, oraz partycypacyjnego modelu oceny technologii ukształtowanego w kontekście wspólnotowej polityki badań naukowych Unii Europejskiej. Te dwa podstawowe modele stanowią punkt odniesienia dla innych modeli jak w przypadku konstruktywnego<sup>6</sup> czy też racjonalnego<sup>7</sup> modelu oceny technologii. – W porównaniu do modelu oceny technologii wypracowanego w ramach OTA obecnie można stwierdzić jednoznaczne przesunięcie akcentu z zawężonej formuły doradztwa politycznego (parlamentarnego) w kierunku normatywnego, społecznego i deliberatywnego modelu oceny technologii. Tym samym zadaniem oceny technologii nie jest wyłącznie przygotowywanie rozwiązań w zakresie polityki, ale również moderowanie dyskursu społecznego toczonego wokół rozwoju nauki i upowszechniania nowych technologii.

<sup>2</sup> Funtowicz S.O., Ravetz J.R.: Science for the post-normal age. “Futures”, Vol. 25, 1993, p. 739-755; Ziman J.: Real Science. What It Is, and What It Means. Cambridge University Press, Cambridge 2000.

<sup>3</sup> Kunkle G.C.: New Challenge or the Past Revisited? The Office of Technology Assessment in Historical Context. “Technology in Society”, Vol. 17, No. 2, 1995, p. 175-196.

<sup>4</sup> Grunwald A., Hennen L., Sauter A.: Parlamentarische Technikfolgenabschätzung in Deutschland und Europa. “Aus Politik und Zeitgeschichte. Technik, Folgen, Abschätzung”, 64. Jahrgang, Nr. 6-7, 2014, p. 17-24.

<sup>5</sup> Grunwald A.: Technikfolgenabschätzung – eine Einführung. Edition Sigma, Berlin 2002.

<sup>6</sup> Schot J.W.: Constructive Technology Assessment and Technology Dynamics: The Case of Clean Technologies. “Science, Technology & Human Values”, Vol. 17, No. 1, 1992, p. 36-56.

<sup>7</sup> Grin J., Grunwald A. (eds.): Vision Assessment: Shaping Technology in 21st Century Society. Towards a Repertoire for Technology Assessment. Springer, Berlin-Heidelberg 2000.

W przypadku zastosowania oceny technologii przy analizie nanotechnologii te dwa podstawowe modele wzajemnie się dopełniają. Z jednej strony jest to kształtowanie polityki badań naukowych, jak w przypadku programów badawczych na dużą skalę w USA i w UE wraz z opracowaniem ram prawnych i politycznych dla upowszechnienia i rozwoju nanotechnologii, a co jest charakterystyczne przede wszystkim dla koncepcji oceny technologii w formie doradztwa politycznego. Z drugiej strony są to inicjatywy mające na celu uwzględnienie opinii publicznej<sup>8</sup> jak również zintegrowanie strony społecznej w ramach procesów badawczych<sup>9</sup>. W tym sensie te dwie podstawowe strategie w ocenie technologii – odgórna i polityczna (*top-down*) oraz oddolna i społeczna (*bottom-up/up-stream*) – kształtowały od samego początku rozwój nanotechnologii.

Natomiast celem oceny technologii w przypadku nanotechnologii byłoby opracowanie wzorcowego modelu oceny, który obejmowałby ramy prawne i polityczne, ekonomiczne i społeczne, jak również etyczne zastosowania nanotechnologii na masową skalę. W tym przypadku jednym z kluczowych elementów jest dążenie do opracowania modelu oceny scenariuszy rozwoju (*visions' assessment*) w formie prospektywnej oceny technologii. Przy czym sama analiza nanotechnologii jest ukierunkowana pragmatycznie, tzn. poprzez odrzucenie spekulacji wypracowanie racjonalnej wizji rozwoju i zastosowania nanotechnologii w oparciu o poszerzenie partycypacji społecznej w procesie decyzyjnym kształtującym politykę naukowo-badawczą i rozwojową. W tym sensie projekty oceny technologii obejmują: 1) ocenę ryzyka i zarządzanie ryzykiem, 2) ocenę skutków zastosowania technologii na człowieka i środowisko naturalne, w tym antycypacja nieprzewidywalnych i niepożądanych skutków ubocznych, 3) ocenę wizji rozwoju technologii charakteryzującą się orientacją prospektywną i aktywnym projektowaniem (kreowaniem) przyszłości.

W ten sposób koncepcja oceny technologii na przykładzie nanotechnologii jest wyrazem podejścia realistycznego z dążeniem do wypracowania modelu oceny nanotechnologii, którego celem byłoby przedstawienie ram prawnych, politycznych i społecznych dla upowszechnienia i rozwoju nanotechnologii z jednej strony, z drugiej strony jest to podejście pragmatyczne, które charakteryzuje się odrzuceniem spekulacji na rzecz wypracowania racjonalnej wizji rozwoju i zastosowania nanotechnologii w oparciu o poszerzenie partycypacji społecznej w procesie decyzyjnym kształtującym politykę naukowo-badawczą i rozwojową<sup>10</sup>.

---

<sup>8</sup> Bainbridge W.S.: Public attitudes toward nanotechnology. "Journal of Nanoparticle Research", Vol. 4, 2002, p. 561-570.

<sup>9</sup> Kearnes M., Macnaghten P.M., Wilsdon J.: Governing at the nanoscale. People, policies and emerging technologies. Demos, London 2006.

<sup>10</sup> Do krytyki koncepcji partycypacji w kontekście teorii demokracji deliberatywnej oraz narzędzi partycypacyjnych w ocenie techniki por. Bińczyk E.: Technonauka w społeczeństwie ryzyka. Filozofia wobec niepożądanych następstw praktycznego sukcesu nauki. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2012, s. 334-336; Andersen J.E., Jaeger B.: Scenario workshops and consensus conferences: towards more democratic decision-making. "Science and Public Policy", Vol. 26, No. 5, 1999, p. 331-340.

W przypadku technonauki i badań poświęconych relacji między nauką a techniką (*science and technology studies*, STS) punktem wyjścia jest analiza praktyk laboratoryjnych z akcentem przesuniętym na teorie nauki i zagadnienia epistemologiczne. Przy czym same nanotechnologie zostają ujęte w formie swoistego wzorca technonauki<sup>11</sup>. Podobnie jak w przypadku oceny technologii podkreślony zostaje wymiar społeczny nanotechnologii poprzez wypracowanie modusów regulowania rozwojem (tzw. *nano-governance*) z silnym podkreśleniem elementów partycypacyjnych i deliberatywnych, które mają prowadzić do swoistego ponownego ‘uspołecznienia’ (techno)nauki w momencie postępującego procesu jej komercjalizacji. Oznacza to m.in. podkreślenie znaczenia czynników pozaludzkich w procesie badawczym (jak w przypadku aparatury laboratoryjnej w ramach nanotechnologii) oraz czynników społecznych, które w społeczeństwie demokratycznym w sposób bezpośredni mają ingerować w procesy badawcze. Celem jest natomiast wypracowanie alternatywnego modelu analizy nowych technologii, który odrzuca zarówno paradygmat okresu industrializacji (po części charakterystyczny dla konwencjonalnej oceny techniki)<sup>12</sup>, jak i utopijne czy ideologicznie zabarwione postulaty powrotu do okresu przed-przemysłowego jak w przypadku lejtmotywu Nowego Renesansu pojawiającego się w koncepcji technologii konwergentnych.

Koncepcja technologii konwergentnych (nano-bio-info-cogno) została rozwinięta na kanwie programów badawczych zainicjowanych przez administrację prezydenta USA w latach 1996-2000. W ten sposób nanotechnologie zostały uznane za obszar strategiczny i kluczowy w kontekście zachowania przez Stany Zjednoczone wiodącej pozycji w zakresie rozwoju nauki i technologii w wymiarze globalnym. W tym sensie decyzje polityczne w zakresie nauki i badań naukowych w sposób decydujący wpłynęły na rozwój nanotechnologii. Sama koncepcja charakteryzuje się: 1) pod względem naukowo-teoretycznym ideą tzw. nowego renesansu i holizmu, tj. jedności nauki w analogii do jedności natury, 2) pod względem metodologicznym jest to podejście interdyscyplinarne i międzydziedzinowe oparte na kształtowaniu i mapowaniu tzw. obszarów wymiany i przenikania pomiędzy poszczególnymi dyscyplinami nauki (tzw. *trading zones*)<sup>13</sup>, 3) pod względem etycznym i społecznym jest to przede wszystkim zagadnienie możliwości doskonalenia człowieka (*human enhancement*) na drodze konwergencji technologicznej. Koncepcję technologii konwergentnych można określić mianem podejścia futurystycznego, że śmiałe wizje przyszłości oraz antycypowane możliwości zastosowań nowych technologii wyznaczają cele

<sup>11</sup> Carrier M., Nordmann A.: Science in the Context of Application: Methodological Change, Conceptual Transformation, Cultural Reorientation, [in:] Carrier M., Nordmann A. (eds.): Science in the Context of Application. “Boston Studies in the Philosophy of Science”, Vol. 274. Springer, Dordrecht 2011, p. 1-7; Nordmann A.: Philosophie der NanoTechnoWissenschaften, [in:] Gammel S., Lösch A., Nordmann A.: Jenseits von Regulierung: Zum politischen Umgang mit der Nanotechnologie. Akademische Verlagsgesellschaft AKA, Heidelberg 2009, p. 122-148.

<sup>12</sup> Gammel S., Lösch A., Nordmann A.: Jenseits von Regulierung: Zum politischen Umgang mit der Nanotechnologie. Akademische Verlagsgesellschaft AKA, Heidelberg 2009.

<sup>13</sup> Galison P.: The pyramid and the ring. Presentation at the conference of the Gesellschaft für Analytische Philosophie (GAP), Berlin 2006.

projektów badawczych, a rozwój w zakresie nanotechnologii ma kluczowe znaczenie dla rozwoju wszystkich innych nauk i technologii.

### **3. Ocena i konwergencja technologii w formie heurystyki technonauki na przykładzie nano-etyki i etyki ryzyka**

Punktem odniesienia dla wszystkich trzech nurtów jest zasadnicze pytanie, na ile nanotechnologie zawierają wyzwania i problemy moralno-etyczne oraz zagrożenia dla człowieka i środowiska naturalnego, co sprowadza się do analizy niepewności (*uncertainty*) oraz możliwości oceny ryzyka (*risk assessment*). Następnie jest to wypracowanie ram naukowo-teoretycznych i metodologicznych w analizie społecznego oddziaływania nanotechnologii z możliwością wykorzystania dotychczasowych wyników badań przedstawionych w ramach oceny technologii, technonauki i technologii konwergentnych.

W przypadku oceny technologii i technonauki można stwierdzić wzajemne przenikanie się pod względem teoretycznym i metodologicznym tych dwóch nurtów przy jednoczesnym zachowaniu ich odrębności, że ocena techniki w formie doradztwa politycznego i społecznego zachowuje silną orientację praktyczną, natomiast badania w zakresie technonauki są skoncentrowane na wymiarze teoretycznym badań laboratoryjnych. Jednocześnie, np. ocena ryzyka jako podstawowy przedmiot badań w ramach oceny technologii, oraz zagadnienie regulowania ryzyka (*risk governance*) jako jeden z motywów w ramach technonauki, zostają ujęte syntetycznie w formie dopełniających się elementów w regulowaniu innowacji (*innovation governance*) w ramach koncepcji odpowiedzialnych badań i innowacji<sup>14</sup> (*responsible research and innovation, RRI*). W tym kontekście za termin nadrzędny można uznać ogólną etykę ryzyka opartą na zasadzie odpowiedzialności ze stopniowalnością zasady ostrożności. Wyrazem tego stanu rzeczy są kontrowersje związane z zastosowaniem zasady ostrożności. Z jednej strony jest to dążenie do opracowania kryteriów dopuszczalnego ryzyka w słabszym sformułowaniu zasady ostrożności, z drugiej strony jest to szereg inicjatyw dążących do wprowadzenia moratorium na badania i zastosowanie np. nanotechnologii w mocnej wersji zasady ostrożności. Spór ten dotyczy zakresu obowiązywania zasady odpowiedzialności oraz zasadności stosowania na szeroką skalę zasady ostrożności w kontekście rynkowo uwarunkowanej 'presji innowacyjności' z jednej strony, z drugiej strony są to podstawowe rozstrzygnięcia, czy szkodliwość nanocząstek i nano-produktów powinna być uznana za przedmiot etyki czy też nanotoksykologii. Fakt wzajemnego przenikania tych dwóch nurtów – oceny technologii i technonauki – wyraża sam proces kształtowania się w

---

<sup>14</sup> Schomberg R.: A Vision of Responsible Research and Innovation, [in:] Owen R., Bessant J., Heintz M. (eds.): Responsible Innovation. Managing the responsible emergence of science and innovation in society. John Wiley & Sons, West Sussex 2013, p. 51-74.

ostatniej dekadzie tzw. nano-etyki oraz kontrowersji związanych z identyfikacją normatywnych aspektów nanotechnologii.

Punktem wyjścia w ujęciu wymiaru etycznego technologii jest tzw. dylemat Collingridge'a odnośnie momentu uwzględnienia wymiaru etycznego i społecznego w procesie naukowo-badawczym z jednej strony<sup>15</sup>, z drugiej strony jest to zasada odpowiedzialności przedstawiona przez Hansa Jonasa<sup>16</sup>. Obydwa zagadnienia stanowią punkt odniesienia dla współczesnych rozważań nad wymiarem etycznym i społecznym rozwoju nauki i techniki. Przy czym w przypadku nanotechnologii jednym z głównych zadań refleksji etycznej i społecznej jest również wypracowanie pomostów czy też swoistych obszarów wymiany<sup>17</sup> (*trading zones*) pomiędzy poszczególnymi dyscyplinami nauki jak i pomiędzy podobnymi i zarazem zróżnicowanymi założeniami teoretycznymi i metodologicznymi występującymi w koncepcjach technonauki i oceny techniki<sup>18</sup>. W przypadku nanotechnologii osiłą sporu jest mocny postulat utworzenia nano-etyki jako nowej odrębnej subdyscypliny etyki stosowanej<sup>19</sup> i jego krytyka z zarzutem 'niedojrzałości'<sup>20</sup> czy też 'spekulatywności'<sup>21</sup> samej nano-etyki. W tym kontekście Armin Grunwald<sup>22</sup> postuluje ukonstytuowanie w miejsce nano-etyki eksploracyjnej filozofii nanotechnologii, by następnie w konfrontacji z przyśpieszonym rozwojem całego nano-obszaru eksploracyjną nano-filozofię dopełnić etyką ryzyka jak w przypadku nano-biotechnologii<sup>23</sup>.

Do głównych zagadnień – zarazem wyzwań moralno-etycznych – w zakresie nanotechnologii i technologii konwergentnych można zaliczyć: 1) kwestię tzw. bytów hybrydalnych związanych z rozwojem biologii syntetycznej i pojawiającym się w tym kontekście problemie sprawczości i odpowiedzialności człowieka za podejmowane badania przy uwzględnieniu rozróżnienia na tzw. suchą (*dry*) i mokrą (*wet*) odmianę nanotechnologii charakterystyczną dla badań w zakresie biologii, chemii i fizyki, 2) zagadnienie doskonalenia człowieka, które w coraz większym stopniu staje się głównym przedmiotem rozważań etycznych, 3) kwestie prywatności i bezpieczeństwa w wymiarze społecznym i politycznym oraz 4) zagadnienia związane z nano-medycyną, które w dużym stopniu nawiązują do kontrowersji bioetycznych.

<sup>15</sup> Collingridge D.: *The social control of technology*. St. Martin's Press, New York 1980.

<sup>16</sup> Jonas H.: *Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation*. Suhrkamp, Frankfurt am Main 1979.

<sup>17</sup> Galison P.: *op.cit.*

<sup>18</sup> Bińczyk E., Stępień T.: *Modeling Technoscience and Nanotechnology Assessment. Perspectives and Dilemmas. "Comparative Studies on Education, Culture and Technology"*, Vol. 6. Peter Lang Edition, Frankfurt am Main 2014.

<sup>19</sup> Allhoff F., Lin P. (eds.): *Nanotechnology & Society. Current and Emerging Ethical Issues*. Springer, Heidelberg-New York 2009.

<sup>20</sup> Keiper A.: *Nanoethics as a discipline?* "The New Atlantis. "A Journal of Technology & Science", 2007, p. 55-67.

<sup>21</sup> Nordmann A.: *If and Then: a critique of speculative nanoethics*. "Nanoethics", Vol. 1, 2007, p. 31-46.

<sup>22</sup> Grunwald A.: *From Speculative Nanoethics to Explorative Philosophy of Nanotechnology*. "Nanoethics", Vol. 4, 2010, p. 91-101.

<sup>23</sup> Grunwald A.: *Responsible Nanobiotechnology. Philosophy and Ethics*. PAN Stanford Publishing, 2012.



W tym kontekście przedstawione w międzyczasie modele oceny ryzyka w obszarze nanotechnologii oparte są na syntezie podstawowych założeń w ramach oceny technologii, technonauki i technologii konwergencyjnych. Tym samym modele te mogą posłużyć za przykład i podstawę dla współczesnej heurystyki technonauki. Wyróżnić można trzy podstawowe modele oceny ryzyka w zakresie nanotechnologii: konwencjonalny, generacyjny oraz regulatywny. Konwencjonalny model oceny ryzyka w zakresie nanotechnologii oparty jest na regulacjach dotyczących nowych substancji chemicznych opracowanych w Stanach Zjednoczonych w 1976 roku (tzw. *Toxic Substances Control Act*, TSCA) oraz w Unii Europejskiej (tzw. system regulacyjny REACH). Model ten bazuje na trzech podstawowych zasadach w ocenie toksyczności substancji chemicznych i związanego z tym ryzyka: ALARA (*as low as reasonably achievable*), ALARP (*as low as reasonably possible*) oraz BACT (*best available control technology*)<sup>24</sup>, natomiast kontrowersje dotyczą zasadności uznania nano-cząstek za substancje chemiczne. Mając to na uwadze w przypadku nanotechnologii (produktów i procesów opartych na wykorzystaniu nanotechnologii) zaprezentowano bardziej zróżnicowany model oceny nano-ryzyka w formie modelu generacyjnego w oparciu o wyszczególnione generacje nano-produktów. Model ten obejmuje trzy podstawowe generacje w oparciu o zaawansowanie badań w ostatnich 15 latach przy uwzględnieniu prognoz rozwoju nano-obszaru do 2020 roku. Za główne kryteria rozróżnienia poszczególnych generacji przyjęto: 1) złożoność, niepewność i dwuznaczność (ambiwalencja) oddziaływania oraz 2) pasywność a interaktywność nano-produktów i nano-systemów w oddziaływaniu na człowieka i środowisko naturalne<sup>25</sup>. W trzecim regulatywnym modelu oceny nano-ryzyka podkreślone zostaje znaczenie agencji rządowych w stymulowaniu badań oraz możliwości ich kontroli w ramach polityki badawczo-rozwojowej. W ten sposób można mówić o ogólnej heurystyce ryzyka zakorzenionej i zarazem konstytuującej etykę ryzyka.

#### 4. Wyzwania i dylematy w procesie modelowania oceny nanotechnologii

Niezależnie od dokonanych rozstrzygnięć głównym wyzwaniem dla rozważań etycznych pozostaje konieczność przyjęcia orientacji prospektywnej, tj. antycypacji możliwych konfliktów w sferze normatywnej, co wynika z przyspieszonego rozwoju nauki i techniki z jednej strony, oraz kluczowej roli spekulatywnych wizji rozwoju nauki i techniki z drugiej strony. W przypadku nanotechnologii są to wizje, utopie czy też ideologie społeczno-polityczne trans- i posthumanizmu. W tym kontekście jednym z głównych wyzwań jest nadpodaż spekulatywnej nano-etyki, że to refleksja etyczna wyprzedziła sam rozwój

<sup>24</sup> Renn O., Roco M.C.: Nanotechnology Risk Governance. International Risk Governance Council, White Paper No. 2, Geneva 2006; p. 54.

<sup>25</sup> Renn O., Roco M.C.: Nanotechnology and the need for risk governance. "Journal of Nanoparticle Research", Vol. 8, 2006, p. 154

nanotechnologii pod względem naukowym i możliwości ich wykorzystania w porównaniu np. do biotechnologii. W przypadku nanotechnologii jest to pytanie, w jaki sposób uniknąć utopijnych obietnic jak i dystopijnych zagrożeń, które w sposób bezpośredni kształtują opinię publiczną. Jest to swoisty dylemat wyboru pomiędzy modelem etyki na końcu procesu badawczego (refleksja etyczna zorientowana wstecz, retrospektywna) czy też etyki na jego początku, co prawda spekulatywnej, ale jednak prospektywnej z możliwością przeciwdziałania i neutralizowania niepożądanych skutków ubocznych, a w przypadku scenariuszy rozwoju aktywnie kształtującej przyszłość. W tym kontekście do podstawowych wyzwań badawczych można zaliczyć: 1) analizę niepewności i ryzyka, ich uprawdopodobnienie w miejsce śmiałych spekulacji, 2) opracowanie mechanizmów kontroli badań w formie balansu (zrównoważenia) pomiędzy badaniami laboratoryjnymi i zastosowaniem nanotechnologii na szeroką skalę, 3) kwestie komunikowania o technonauce w społeczeństwie obejmujące odpowiedzialność naukowców jak również mediów masowych za proces kształtowania opinii publicznej w formie procesu edukacyjnego, 4) uniezależnienie technonauki, w tym nanotechnologii, od ideologii społeczno-politycznych, 5) uznanie nanotechnologii jako dominujący obecnie przejaw technonauki, a poszerzony w ten sposób model oceny jako wyraz heurystyki współczesnej technonauki. Motywy te kształtują sam proces modelowania oceny nanotechnologii, który, mając na uwadze zakres oddziaływania nanotechnologii na system nauki i życie społeczne, powinien być projektowany systemowo obejmując wymiar przedmiotowy, interdyscyplinarny i międzydziedzinowy.

Punktem wyjścia i zarazem odniesienia kompleksowej analizy i oceny nanotechnologii jest wymiar dziedzinowo-przedmiotowy, tj. analiza znaczenia i wpływu nanotechnologii na rozwój współczesnej fizyki. Analiza i ocena przedmiotowa zawiera trzy główne etapy: 1) analizę i ocenę nanotechnologii pod względem teoretycznym, której celem jest określenie obecnego stanu wiedzy oraz teoretycznego zaawansowania nanotechnologii w kontekście współczesnego rozwoju fizyki; 2) analiza i ocena nanotechnologii pod względem metodologicznym, tj. stosowane metody i instrumenty badawcze oraz możliwość ich modyfikacji w kontekście fizykalnych badań nano-cząstek i nano-objektów; 3) analiza i ocena praktyczna nanotechnologii w ramach fizyki, która obejmuje fazę projektowania i przeprowadzania eksperymentów oraz fazę wytwarzania i zastosowania rezultatów.

Analiza i ocena dziedzinowo-interdyscyplinarna (nanotechnologie w fizyce, mechanice, elektronice, chemii, biologii) przyjmuje podobną strukturę jak analiza przedmiotowa, co oznacza: 1) w wymiarze teoretycznym postawienie zagadnienia zakresu interdyscyplinarności w naukach ścisłych i inżynierijno-technicznych w kontekście nanotechnologii, tj. dążenie do określenia własności fizykalno-chemicznych nano-cząstek i nano-objektów oraz możliwości wykorzystania nano-materiałów; 2) pod względem metodologicznym jest to zasadnicze pytanie, na ile nanotechnologie prowadzą do wzajemnego przenikania się poszczególnych dyscyplin czy wręcz prowadzą do ich unifikacji i synergii, tj. na ile nanotechnologie prowadzą do odkrywania nowych zagadnień badawczych oraz jaki jest stopień wzajemnego

wykorzystania rezultatów badań w poszczególnych naukach ścisłych i inżynierijno-technicznych; 3) w wymiarze oceny praktycznej głównym zagadnieniem jest zakres zastosowania nanotechnologii w poszczególnych naukach i na ile nanotechnologie prowadzą do ich rozwoju w wymiarze teoretycznym i metodologicznym, np. poprzez swój potencjał do generowania nowej jakości materiałów czy też nowych procesów wytwarzania. – Podobnie jak w przypadku analizy przedmiotowej rezultaty badań eksperymentalnych mają umożliwić analizę i ocenę nanotechnologii pod względem potencjalnej toksyczności nano-produktów i nano-materiałów oraz ryzyka ich zastosowania. Badania eksperymentalne w wymiarze interdyscyplinarnym obejmują również jak w wymiarze przedmiotowym fazę projektowania, eksperymentowania, wytwarzania oraz określenia zakresu zastosowania.

Rezultaty analizy i oceny przedmiotowej jak i interdyscyplinarnej oraz wyniki badań eksperymentalnych stanowią podstawę do przeprowadzenia kompleksowej (przekrojowej) oceny międzydziedzinowej nanotechnologii poprzez poszerzenie jej o wymiar społeczny, gospodarczy, etyczny oraz stopnia regulacji prawnych. Analiza i ocena w wymiarze międzydziedzinowym dotyczy nanotechnologii w naukach ścisłych i inżynierijno-technicznych, w naukach humanistycznych i społecznych, w naukach ekonomicznych i prawnych.

Nakreślony w ten sposób trójstopniowy porównawczy model oceny nanotechnologii w zakresie przedmiotowym, interdyscyplinarnym i międzydziedzinowym umożliwia syntetyzującą ujęcie nanotechnologii i ich oddziaływania na system nauki, gospodarki i społeczeństwa. Zamierzonym rezultatem jest natomiast opracowanie kryteriów i modelu oceny skutków zastosowania nanotechnologii. Sam proces oceny skutków zastosowania nanotechnologii zostaje dostosowany do specyfiki tego obszaru nauki i techniki obejmując następujące etapy: 1) wskazanie zagadnień kluczowych, 2) integrację wiedzy eksperckiej w formie kwestionariuszy, 3) metodę analizy ryzyka i szans, korzyści i zagrożeń, 4) metody prognozowania zastosowania i skutków w formie scenariuszy rozwoju, 5) opracowanie ‘mapy drogowej’ rozwoju nanotechnologii w przyszłości<sup>26</sup>. Celem natomiast jest opracowanie zestawu kryteriów dla wyszczególnionych odmian oceny nanotechnologii: 1) ocena teoretyczna w wymiarze przedmiotowym, interdyscyplinarnym i międzydziedzinowym, 2) ocena społeczna, polityczna i prawna oraz 3) ocena gospodarczo-ekonomiczna. Sam fakt uwzględnienia wymiaru społeczno-politycznego, etycznego i gospodarczego nanotechnologii powinien natomiast prowadzić do zwiększenia efektywności badań naukowych w zakresie nanotechnologii, czego wyrazem jest rozszerzenie zakresu możliwości zastosowania i komercjalizacji rezultatów badań adekwatnie do oczekiwań i potrzeb społeczeństwa. Natomiast pod względem naukowo-teoretycznym ten trójstopniowy model oceny nanotechnologii jest wyrazem wzajemnie ząbających się heurystyk w wymiarze analizy przedmiotowej, interdyscyplinarnej oraz międzydziedzinowej.

---

<sup>26</sup> Grunwald A.: Technikfolgenabschätzung..., op.cit., S. 205-230.

## Bibliografia

1. Allhoff F., Lin P. (eds.): *Nanotechnology & Society. Current and Emerging Ethical Issues*. Springer, Heidelberg-New York 2009.
2. Andersen J.E., Jaeger B.: Scenario workshops and consensus conferences: towards more democratic decision-making. "Science and Public Policy", Vol. 26, No. 5, 1999.
3. Bainbridge W.S.: Public attitudes toward nanotechnology. "Journal of Nanoparticle Research", Vol. 4, 2002.
4. Bińczyk E.: *Technonauka w społeczeństwie ryzyka. Filozofia wobec niepożądanych następstw praktycznego sukcesu nauki*. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2012.
5. Bińczyk E., Stępień T.: Modeling Technoscience and Nanotechnology Assessment. Perspectives and Dilemmas. "Comparative Studies on Education, Culture and Technology", Vol. 6. Peter Lang Edition, Frankfurt am Main 2014.
6. Carrier M., Nordmann A.: Science in the Context of Application: Methodological Change, Conceptual Transformation, Cultural Reorientation, [in:] Carrier M., Nordmann A. (eds.): *Science in the Context of Application*. "Boston Studies in the Philosophy of Science", Vol. 274. Springer, Dordrecht 2011.
7. Collingridge D.: *The social control of technology*. St. Martin's Press, New York 1980.
8. Funtowicz S.O., Ravetz J.R.: Science for the post-normal age. "Futures", Vol. 25, 1993.
9. Galison P.: The pyramid and the ring. Presentation at the conference of the Gesellschaft für Analytische Philosophie (GAP), Berlin 2006.
10. Gammel S., Lösch A., Nordmann A.: *Jenseits von Regulierung: Zum politischen Umgang mit der Nanotechnologie*. Akademische Verlagsgesellschaft AKA, Heidelberg 2009.
11. Grin J., Grunwald A. (eds.): *Vision Assessment: Shaping Technology in 21st Century Society. Towards a Repertoire for Technology Assessment*. Springer, Berlin-Heidelberg 2000.
12. Grunwald A.: *Technikfolgenabschätzung – eine Einführung*. Edition Sigma, Berlin 2002.
13. Grunwald A.: From Speculative Nanoethics to Explorative Philosophy of Nanotechnology. "Nanoethics", Vol. 4, 2010.
14. Grunwald A.: *Responsible Nanobiotechnology. Philosophy and Ethics*. PAN Stanford Publishing, 2012.
15. Grunwald A., Hennen L., Sauter A.: *Parlamentarische Technikfolgenabschätzung in Deutschland und Europa*. "Aus Politik und Zeitgeschichte. Technik, Folgen, Abschätzung", 64. Jahrgang, Nr. 6-7, 2014.
16. Jonas H.: *Das Prinzip Verantwortung. Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation*. Suhrkamp, Frankfurt am Main 1979.

17. Kearnes M., Macnaghten P.M., Wilsdon J.: *Governing at the nanoscale. People, policies and emerging technologies*. Demos, London 2006.
18. Keiper A.: *Nanoethics as a discipline? "The New Atlantis. "A Journal of Technology & Science"*, 2007.
19. Kunkle G.C.: *New Challenge or the Past Revisited? The Office of Technology Assessment in Historical Context*. "Technology in Society", Vol. 17, No. 2, 1995.
20. Nordmann A.: *If and Then: a critique of speculative nanoethics*. "Nanoethics", Vol. 1, 2007.
21. Nordmann A.: *Philosophie der NanoTechnoWissenschaften*, [in:] Gammel S., Lösch A., Nordmann A.: *Jenseits von Regulierung: Zum politischen Umgang mit der Nanotechnologie*. Akademische Verlagsgesellschaft AKA, Heidelberg 2009.
22. Renn O., Roco M.C.: *Nanotechnology and the need for risk governance*. "Journal of Nanoparticle Research", Vol. 8, 2006.
23. Renn O., Roco M.C.: *Nanotechnology Risk Governance*. International Risk Governance Council, White Paper No. 2, Geneva 2006.
24. Roco M.C., Bainbridge W.S. (eds.): *Societal Implications of Nanoscience and Nanotechnology*. Final Report from the Workshop at the National Science Foundation. Arlington 28-29.09.2000. Kluwer, Dordrecht 2001.
25. Schomberg R.: *A Vision of Responsible Research and Innovation*, [in:] Owen R., Bessant J., Heintz M. (eds.): *Responsible Innovation. Managing the responsible emergence of science and innovation in society*. John Wiley & Sons, West Sussex 2013.
26. Schot J.W.: *Constructive Technology Assessment and Technology Dynamics: The Case of Clean Technologies*. "Science, Technology & Human Values", Vol. 17, No. 1, 1992.
27. Stępień T.: *Heuristics of Technosciences. Philosophical Framing in the Case of Nanotechnology*. Peter Lang Edition, Frankfurt am Main 2016.
28. Ziman J.: *Real Science. What It Is, and What It Means*. Cambridge University Press, Cambridge 2000.