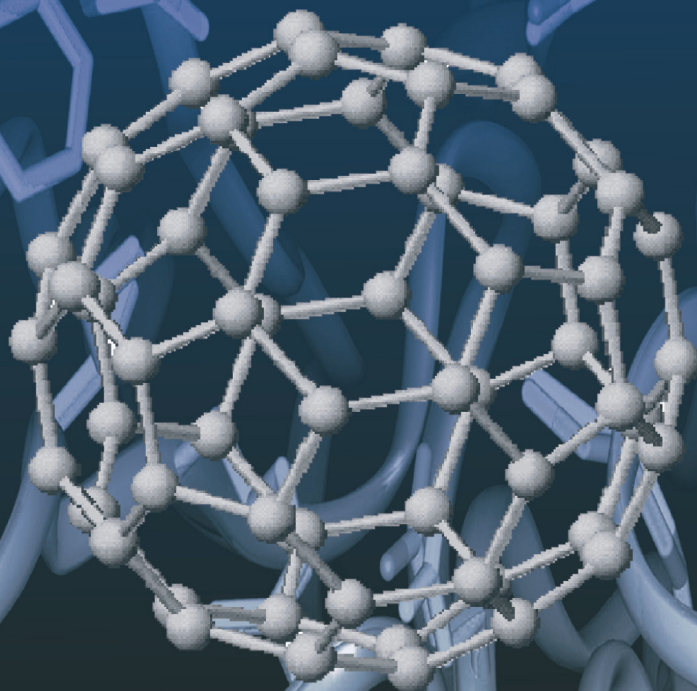


Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego  
Interdyscyplinarny Zespół do spraw Nanonauki i Nanotechnologii

# NANONAUKA I NANOTECHNOLOGIA

**NARODOWA STRATEGIA DLA POLSKI**

RAPORT



Warszawa 2006

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego  
Interdyscyplinarny Zespół do spraw Nanonauki i Nanotechnologii

# **NANONAUKA I NANOTECHNOLOGIA**

**NARODOWA STRATEGIA DLA POLSKI**

**RAPORT**

Warszawa 2006

## **Członkowie Interdyscyplinarnego Zespołu do Spraw Nanonauki i Nanotechnologii**

<b>prof. dr hab. inż. Adam MAZURKIEWICZ</b>	Przewodniczący Zespołu Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy w Radomiu
<b>prof. dr hab. inż. Edward CHLEBUS</b>	Politechnika Wrocławska
<b>prof. dr hab. inż. Henryk DYBIEC</b>	Akademia Górniczo-Hutnicza
<b>prof. dr hab. Barbara GRZYBOWSKA-ŚWIERKOSZ</b>	Instytut Katalizy i Fizykochemii Po- wierzchni PAN w Krakowie
<b>doc. dr hab. Bogdan IDZIKOWSKI</b>	Instytut Fizyki Molekularnej PAN w Poznaniu
<b>prof. dr hab. Mieczysław JURCZYK</b>	Politechnika Poznańska
<b>prof. dr hab. Jacek KOSSUT</b>	Instytut Fizyki PAN w Warszawie
<b>prof. dr hab. inż. Tadeusz KULIK</b>	Politechnika Warszawska
<b>dr Małgorzata LEWANDOWSKA</b>	Politechnika Warszawska
<b>doc. dr hab. Witold ŁOJKOWSKI</b>	Instytut Wysokich Ciśnień PAN w Warszawie
<b>prof. dr hab. Wojciech NAWROCIK</b>	Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
<b>prof. dr hab. inż. Urszula NARKIEWICZ</b>	Politechnika Szczecińska
<b>prof. dr hab. Tomasz SZOPLIK</b>	Uniwersytet Warszawski
<b>prof. dr hab. inż. Ludomir ŚLUSARSKI</b>	Politechnika Łódzka

Członkowie Interdyscyplinarnego Zespołu do Spraw Nanonauki i Nanotechnologii wyrażają uznanie za podjęcie inicjatywy opracowania strategii wzmocnienia sfery polskich badań naukowych i prac rozwojowych w dziedzinie nanonauk oraz nanotechnologii w Polsce **prof. dr hab. inż. Krzysztofowi J. KURZYDŁOWSKIEMU** – Podsekretarzowi Stanu w Ministerstwie Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

## Spis treści

Streszczenie.....	4
Summary .....	5
Wprowadzenie.....	6
1. Klasyfikacja obszarów badawczych i aplikacyjnych .....	8
2. Strategiczne kierunki rozwoju nanonauk i nanotechnologii w Unii Europejskiej i na świecie oraz porównanie z sytuacją w Polsce.....	10
3. Stan rozwoju nanonauk i nanotechnologii w Polsce na tle osiągnięć światowych i Unii Europejskiej .....	13
<b>Strategia wzmocnienia sfery polskich badań naukowych i prac rozwojowych w dziedzinie nanonauk oraz nanotechnologii .....</b>	<b>27</b>
<b>Propozycja zwiększenia udziału Polski w 7 Programie Ramowym w zakresie nanonauk i nanotechnologii .....</b>	<b>43</b>
<b>Strategy for the reinforcement of Polish research and development area in the field of nanosciences and nanotechnologies.....</b>	<b>47</b>

## Streszczenie

Raport przedstawia wyniki pracy Interdyscyplinarnego Zespołu do Spraw Nanonauki i Nanotechnologii, powołanego Zarządzeniem Ministra Edukacji i Nauki Nr 9/2006 z dnia 15 lutego 2006 r., w celu opracowania strategii wzmocnienia sfery badań naukowych i prac rozwojowych w dziedzinie nanonauk i nanotechnologii w Polsce.

Opracowanie strategii wynika z dynamicznego rozwoju nanonauk i nanotechnologii na świecie i konieczności zapewnienia Polsce znaczącego miejsca w tym obszarze wiedzy i praktyki. Ocenia się, że do 2015 roku ok. 15% produktów będzie wytworzonych z udziałem nanotechnologii. Poziom rozwoju nanonauk i nanotechnologii będzie zatem decydował o pozycji danego kraju w globalnej gospodarce. Tak wielkie znaczenie nanotechnologii wynika z coraz większych możliwości poznawania zjawisk w nanoskali, znajdujących ogromne, potencjalne zastosowanie komercyjne. Obecnie możliwe jest kształtowanie materii przez celowe układanie jednostek struktury o nanometrowych rozmiarach. Wynikiem są odkrycia nieznanych dotychczas zjawisk, doskonalenie już istniejących produktów oraz rozwój nowych gałęzi przemysłu. Nanonauki i nanotechnologie będą najważniejszym czynnikiem rozwoju gospodarki w ciągu następnych 20 lat.

Zespół dokonał analizy SWOT dla Polski w dziedzinie nanonauk i nanotechnologii na tle innych krajów świata. Zastosowano metodę ekspercką, ankietowanie oraz przeprowadzono konsultacje z różnymi środowiskami naukowymi. Analiza objęła, zgodnie z podziałem przyjętym przez Unię Europejską: badania i rozwój, infrastrukturę, rozwój kadr, innowacje przemysłowe oraz wymiar społeczny. Dokonano klasyfikacji obszarów badawczych, umożliwiającej komunikację w środowisku uczonych i praktyków w dziedzinie nanonauk i nanotechnologii oraz ułatwiającej precyzyjne sformułowanie priorytetowych celów strategicznych.

Stwierdzono, że w Polsce istnieją bardzo dobre podstawy do rozwoju nanonauk i nanotechnologii, a strategiczne wsparcie prac badawczych i rozwojowych bez wątpienia doprowadzi do wzrostu konkurencyjności polskiej gospodarki i polskich zespołów badawczych. Narzędziami do osiągnięcia tego celu powinny być program wieloletni oraz stworzenie wirtualnej sieci instytutów, w tym instytutu nanotechnologii. Inwestycje w infrastrukturę należy dostosować do specyfiki powstałych sieci badawczych oraz utworzonych centrów wyposażonych w najwyższej jakości aparaturę badawczą i laboratoryjną oraz najnowocześniejszą infrastrukturę. W celu zwiększenia efektywności wykorzystania środków niezbędne są również zmiany organizacyjne. Przyspieszenie procedur decyzyjnych, zwiększenie elastyczności programów badawczych, wzmocnienie współdziałania grup badawczych, strategiczne, długofalowe współdziałanie z przemysłem wraz ze zdecydowanym wzrostem nakładów doprowadzi do sytuacji, w której nanonauki i nanotechnologie w istotny sposób przyczynią się do realizacji narodowej strategii rozwoju. Szanse rozwoju młodych wybitnie utalentowanych badaczy powinny być zwiększone. Działania te muszą być wsparte zmianami w polityce gospodarczej, zwiększającymi innowacyjność gospodarki.

Zespół wskazał kierunki badań, które powinny zostać objęte strategicznym wsparciem. Są to badania z zakresu: zjawisk i procesów w nanoskali, nanostruktur, nanomateriałów, urządzeń w nanoskali oraz rozwoju urządzeń analitycznych i technologicznych niezbędnych do realizacji wskazanych, strategicznych kierunków badań. Kierunki te zgodne są z priorytetami europejskimi. Zwiększenie udziału polskich grup w badaniach europejskich wymaga wzmocnienia reprezentacji polskich ekspertów w strukturach Komisji Europejskiej oraz zdecydowanego wsparcia dla ich działalności.

Podstawą tej strategii są zasoby ludzkie: obecna kadra naukowców i inżynierów oraz napływ utalentowanych i dobrze wykształconych młodych ludzi, otwartych na pracę w zespołach interdyscyplinarnych. Zasoby ludzkie są kluczowym czynnikiem sukcesu rozwoju nanotechnologii w Polsce.

## Summary

The report presents results worked out by the Interdisciplinary Group for Nanoscience and Nanotechnology, established by Directive No. 9/2006 issued by the Minister of Education and Science on the 15th of February 2006, in order to create the strategy for the reinforcement of research and development activities in the field of nanosciences and nanotechnologies in Poland.

The development of this strategy results from the dynamic expansion of nanosciences and nanotechnologies in the world and the necessity of ensuring a significant place in this field for Poland. By 2015, it is estimated that about 15% of all products will be produced with the use of nanotechnology. The level of nanosciences and nanotechnologies development will definitely determine Poland's position in the global, competitive economy. The important position of nanotechnology is a result of a continuous increase in the understanding of the nanoscale phenomena and the opportunities they offer due to their tremendous potential in commercial application. Today, we can influence matter by purposeful arrangement of the units of the nanometre structure. It results in discovering new phenomena, improving already existing products and developing new industrial branches. Nanosciences and nanotechnologies will be the most important factor in the development of the economy in the next 20 years.

The Group carried out the SWOT analysis for Poland in the field of nanosciences and nanotechnologies against the background of other countries. The expert method and statistical survey were used, and consultations were held with diverse Polish research milieu. In accordance with the division recognised by European Union, the analysis took into account the following: research and development, infrastructure, staff development, industrial innovations and social dimensions. The classification of research fields was elaborated, which enabled communication among scientists and specialists-practitioners in the field of nanosciences and nanotechnologies and also made possible precise formulation of strategic goals.

It was found that there are solid foundations for the development of nanosciences and nanotechnologies in Poland, and strategic support of research and development activities will undoubtedly lead to an increase in the competitiveness of the Polish economy and Polish research teams. To achieve this goal, the multi-year programme and a virtual network of institutes (including the nanotechnology institute) should be launched. Investments in expanding the Polish infrastructure should be adjusted to the specific character of the established research networks and centres equipped with high quality up-to-date research and laboratory apparatus. Also, organisational changes should be introduced in order to increase the efficiency of the exploitation of resources. The point where nanosciences and nanotechnologies will have a significant impact on the realisation of the national development strategy will result from accelerating decision-making procedures, increasing the flexibility of research programmes, strengthening the collaboration of research teams and strategic long-term co-operation with industry, together with a substantial investment. Opportunities for young, outstandingly talented scientists should be improved. Such activities must be supported by changes in the economic policy to increase the innovativeness of the economy.

The Group indicated the research fields that should be strategically supported. Those research areas are as follows: nanoscale phenomena and processes, nanostructures, nanomaterials, nanoscale devices, and elaborating analytical and technological devices needed in the development of the basic strategic areas. Indicated scientific directions are compatible with European priorities. Increasing the participation of Polish scientific groups in European research activities requires strengthening Poland's representation in EU structures as well as concrete support for their activities.

The acknowledged foundation of the strategy is human resources: present scientific staff and talented, well-educated young scientists who are willing to work within interdisciplinary teams. Human resources are a crucial factor for the success of nanotechnology development in Poland.

## Wprowadzenie

Celem niniejszego dokumentu jest przedstawienie narodowej strategii dla Polski, dotyczącej nanonauk i nanotechnologii, dziedziny, która według prognoz naukowych stanie się głównym motorem innowacji naukowych i technologicznych w bieżącym stuleciu. Zasadniczym powodem opracowania strategii jest konieczność sprostania przez Polskę wyzwaniom światowej konkurencji technologicznej i naukowej oraz zajęcie znaczącego miejsca w gospodarce globalnej. Wymaga to podjęcia zintegrowanych działań we wszystkich sferach badań naukowych, a zwłaszcza kreowania nowych idei i pomysłów, ukierunkowania, organizacji i realizacji badań oraz praktycznego stosowania ich wyników, zwiększenia efektywności badań i wdrożeń, odpowiedniego wsparcia finansowego ze środków publicznych i prywatnych, wypracowania nowej formuły edukacji oraz skupienia potencjału badawczego w najbardziej obiecujących kierunkach. Rozwój nanonauk i nanotechnologii prowadzi do odkryć nowych zjawisk, z których wiele już znalazło zastosowania i otworzyło rynki o wartości miliardów dolarów.

*Nanonauka to badanie zjawisk i manipulacja elementami materii na poziomie atomowym, molekularnym i makromolekularnym (zakres od jednego do stu nanometrów), gdzie właściwości materii różnią się w istotny sposób od właściwości w większych skalach wymiarowych.*

*Nanotechnologia to projektowanie i wytwarzanie struktur, w których przynajmniej jeden rozmiar jest poniżej 100 nm i które posiadają nowe właściwości wynikające z nanorozmiaru<sup>1</sup>.*

Termin nanotechnologia używany jest często jako wspólne pojęcie, obejmujące nanonaukę i nanotechnologię i w tym znaczeniu będzie stosowany w raporcie.

Nanotechnologia stwarza duże możliwości szybkiego przekształcania wyników badań podstawowych w zakończone sukcesem innowacje i będzie wiodącą technologią w nadchodzących dekadach. Wyniki badań mogą być wdrażane zarówno w wielkich międzynarodowych koncernach, jak i małych przedsiębiorstwach oraz wpływają na wszystkie sektory gospodarki.

Rządy krajów na całym świecie doceniają potencjał nanotechnologii jako kluczowy czynnik wzrostu innowacyjności i konkurencyjności gospodarki, bezpieczeństwa i dobrobytu społecznego. Ogólne inwestycje w nanotechnologie wzrosły wielokrotnie w ciągu ostatniej dekady. Przewidywana sprzedaż produktów, zawierających

---

<sup>1</sup> Definicje własne na podstawie: *International Strategy and Foresight Report on Nanoscience and Nanotechnology*, VDI Technologiezentrum GmbH, Düsseldorf, marzec 2004; Raport "Nanometrology", [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org); *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, The Royal Society & The Royal Academy of Engineering, Londyn 2004.

w sobie elementy powstałe w wyniku zastosowań nanotechnologii, wzrośnie z szacowanych kilku dziesiętnych procenta udziału w całkowitej produkcji przemysłowej w 2005 r. do 15% w 2015 r.<sup>2</sup>. Fakty te dowodzą, że nanotechnologia już obecnie jest dziedziną o dużym znaczeniu ekonomicznym, a jej gospodarcze i społeczne znaczenie będzie dynamicznie wzrastać w najbliższych kilkunastu latach. Wiele krajów (m.in. USA, Japonia, Niemcy, Australia, RPA, Izrael) opracowało już narodowe strategie rozwoju nanotechnologii i uruchomiło stosowne programy. Programy rozwoju nanotechnologii zostały opracowane nie tylko w wiodących technologicznie krajach, lecz również w krajach szybko rozwijających się takich, jak Wietnam, Iran, Pakistan czy Meksyk.

Z uwagi na fakt, że nanotechnologia będzie dźwignią rozwoju gospodarki w skali globalnej, niezbędne jest również efektywne wspieranie tej dziedziny w Polsce. Nanotechnologia powinna być priorytetowym kierunkiem badań i jednocześnie poligonem wprowadzania nowych rozwiązań organizacyjnych, zwiększających efektywność wykorzystywania dostępnych zasobów. Do rozwoju nanotechnologii potrzebne są przede wszystkim kreatywność i potencjał intelektualny, które to cechy są mocną stroną polskiej nauki. Powinien też zdecydowanie zwiększyć się poziom finansowania oraz znacząco usprawnić system organizacji badań naukowych i kształcenia.

Polska już obecnie dysponuje obszarami kompetencji w nanotechnologii, w których znajduje się w ścisłej czołówce światowej, np.: nanometale i nanokompozyty polimerowe, nanostruktury półprzewodnikowe i spintronika, informatyka kwantowa, syntezy nanoproszków, modelowanie i synteza nanomateriałów dla katalizy i sorpcji, fizykochemiczne podstawy powstawania układów samoorganizujących się (chemia koloïdów, chemia białek), nanowarstwy i nanopokrycia.

Z uwagi na mnogość wariantów rozwoju w dziedzinie nanotechnologii należy wybrać priorytetowe kierunki, w których Polska będzie mogła konkurować na arenie międzynarodowej.

W wyniku przeprowadzonych analiz zaproponowano narodową strategię rozwoju nanotechnologii, obejmującą działania pozwalające na efektywne wsparcie rozwoju tej dziedziny w Polsce. Opracowana strategia stanowi część ogólnej strategii rozwoju kraju, przewidującej rozwój konkurencyjnej gospodarki, wzrost poziomu życia, wzmożoną dbałość o zdrowie i bezpieczeństwo obywateli, oszczędność zasobów i ochronę środowiska. Rozwój badań naukowych i edukacji w dziedzinie nanotechnologii pozwoli na zwiększenie atrakcyjności inwestycyjnej Polski dla sektorów zaawansowanych technologii o intensywnym wykorzystaniu czynnika intelektualnego.

Zastosowano następującą metodykę tworzenia strategii w dziedzinie nanotechnologii dla Polski:

---

<sup>2</sup> *Independent working group for the Prime Minister's Science, Engineering and Innovation Council. Nanotechnology, Enabling technologies for Australian innovative industries, marzec 2005.*



- przeprowadzono identyfikację problematyki w dziedzinie nanotechnologii w Polsce dla pięciu obszarów uznanych przez Unię Europejską<sup>3</sup> za strategiczne, a mianowicie: badania i rozwój, infrastruktura, rozwój kadr, innowacje przemysłowe oraz wymiar społeczny,
- opracowano klasyfikację obszarów i kierunków badawczych i przyjęto klasyfikację zastosowań przemysłowych,
- przeprowadzono analizę porównawczą dla wybranych krajów i regionów, w tym USA, Japonii, Unii Europejskiej i Polski,
- dokonano analizy kierunków i stopnia rozwoju nanotechnologii w Polsce z uwzględnieniem opracowanej klasyfikacji,
- wykonano analizę SWOT, pokazującą silne i słabe strony oraz szanse i zagrożenia rozwoju tego obszaru wiedzy i praktyki w naszym kraju.

Na tej podstawie:

- zaproponowano plan działań strategicznych ukierunkowanych na zrównoważony rozwój nanotechnologii, uwzględniający wyniki przeprowadzonych analiz i wskazujący kierunki obszarów badawczych, które powinny być rozwijane w Polsce,
- wskazano kierunki działań dla zwiększenia udziału Polski w 7. Programie Ramowym w dziedzinie nanonauk i nanotechnologii.

Analizę przeprowadzono z zastosowaniem metody eksperckiej i badań statystycznych na ograniczonej próbie. Członkowie Zespołu w trakcie półrocznej pracy konsultowali się ze środowiskami naukowymi, z których się wywodzą. Informacje o pracach Zespołu były ogólnodostępne w specjalnie utworzonym serwisie internetowym: [www.nanozespole.pl](http://www.nanozespole.pl).

## 1. Klasyfikacja obszarów badawczych i aplikacyjnych

Nanotechnologia jest szybko rozwijającą się, interdyscyplinarną dziedziną wiedzy, dla której nie opracowano dotychczas jednolitej, ogólnie przyjętej klasyfikacji. Istnieją jedynie klasyfikacje sporządzone między innymi na potrzeby planowanych lub realizowanych kompleksowych programów badawczych i rozwojowych oraz narodowych strategii innych krajów. W tabeli 1 przedstawiono opracowaną przez Zespół klasyfikację systematyzującą obszary badawcze związane z nanotechnologią.

---

<sup>3</sup> Komunikat Komisji Europejskiej „Ku europejskiej strategii dla nanotechnologii”, Komisja Wspólnot Europejskich, Bruksela, maj 2004 r.

Tab. 1. Obszary badawcze w dziedzinie nanonauk i nanotechnologii<sup>4</sup>

Podział podstawowy	Podział szczegółowy	Przykłady
1. Zjawiska i procesy w nanoskali	1.1. Nanofizyka <sup>1)</sup> 1.2. Nanochemia <sup>2)</sup> 1.3. Nanomechanika 1.4. Nanobiologia 1.5. Nanoinformatyka	1) np.: Modelowanie własności obiektów w skali nano ● Informacja, szum i fluktuacje w nanoskali ● Tarcie i zwilżanie, nanoprzepływy i dyfuzja powierzchniowa ● Granice miniaturyzacji ● Zjawiska samogromadzenia i samoorganizacji; 2) np.: Modelowanie struktury molekularnej i właściwości chemicznych nanocząstek i nanostruktur ● Aktywność chemiczna nanocząstek i nanostruktur ● Fizykochemiczne podstawy powstawania układów samoorganizujących się;
2. Nanostruktury	2.1. Nanocząstki 2.2. Nanodruki, nanowłókna i nanorurki 2.3. Nanostruktury powierzchniowe 2.4. Nanostruktury trójwymiarowe <sup>3)</sup>	3) np.: Nanokryształy, kropki kwantowe i materiały porowate;
3. Nanomateriały i kompozyty	3.1. Nanomateriały funkcjonalne <sup>4)</sup> 3.2. Nanomateriały konstrukcyjne <sup>5)</sup>	4) np.: Nanomateriały magnetyczne i dla spintroniki ● Nanomateriały dla elektroniki i optoelektroniki ● Nanomateriały dla optyki i fotoniki ● Nanomateriały dla medycyny ● Nanomateriały na sensory ● Nanomateriały na ogniwa i baterie ● Nanomateriały dla katalizy ● Nanomateriały tekstylne; 5) np.: Nanomateriały metaliczne ● Nanomateriały ceramiczne ● Nanomateriały polimerowe ● Materiały nanohybrydowe;
4. Nanoelektronika i nanomagnetyzm	4.1. Elektronika molekularna 4.2. Elektronika polimerowa 4.3. Pamięci masowe 4.4. Nanotechnologia półprzewodników 4.5. Nanolitografia i nanodruk 4.6. Nanomagnesy <sup>6)</sup>	6) np.: Magnesy z pojedynczych molekuł ● Nanomagnesy molekularne o wysokim spinie;
5. Nanooptyka	5.1. Nanofotonika <sup>7)</sup> 5.2. Optoelektronika 5.3. Optyka kwantowa 5.4. Powierzchnie optyczne nanometryczne 5.5. Plazmonika <sup>8)</sup> 5.6. Nowe źródła i detektory promieniowania	7) np.: Kryształy fotoniczne ● Światłowodów fotoniczne ● Jednofotonowe źródła światła i źródła fotonów skorelowanych; 8) np.: Światłowodów plazmonowe ● Molekularne czujniki plazmonowe;
6. Urządzenia w nanoskali	6.1. Jednoatomowe urządzenia 6.2. Manipulatory molekularne 6.3. Sensory i biosensory	
7. Nanoanalitika i nanometrologia	7.1. Urządzenia <sup>9)</sup> 7.2. Metody <sup>10)</sup>	9) np.: Przyrządy i oprogramowanie do pomiarów metodami mikroskopowymi ● Mikroskopy próbników skanujących ● Elektronowe mikroskopy skaningowe ● Mikroskopy prześwietleniowe (transmisyjne) ● Nanopróbniki składu chemicznego ● Urządzenia manipulacji pojedynczymi obiektami w nanoskali; 10) np.: Metody wykorzystujące promieniowanie synchrotronowe i promieniowanie laserowe na swobodnych nośnikach ● Metody analityki w skali nano;
8. Nanobio	8.1. Sensory subkomórkowe i nanotracery 8.2. Biomembrany 8.3. Nanokapsuły 8.4. Obiekty biomimetyczne 8.5. Modyfikatory genetyczne	
9. Nanomedycyna	9.1. Terapia celowana 9.2. Obrazy molekularne 9.3. Biochipy – systemy diagnostyczne <sup>11)</sup> 9.4. Inżynieria tkankowa 9.5. Maszyny molekularne	11) np.: Przenośne urządzenia <i>lab-on-a chip</i> ● Wszczepialne biocujniki.
10. Procesy i urządzenia produkcyjne dla nanotechnologii		

**Klasyfikacja zastosowań przemysłowych:** 1. Motoryzacja. 2. Medycyna, chemia, farmacja. 3. Optyka. 4. Technologie informatyczne. 5. Elektronika. 6. Biotechnologia. 7. Żywność. 8. Energetyka. 9. Budownictwo. 10. Rekreacja<sup>5</sup>.

<sup>4</sup> Klasyfikacja będzie uzupełniana w miarę rozwoju problematyki.

<sup>5</sup> Przyjęto za: *Nanotechnology Conquers Markets - German Innovation Initiative for Nanotechnology, Federal Ministry of Education and Research, Bonn, Berlin, 2004.*

## 2. Strategiczne kierunki rozwoju nanonauk i nanotechnologii w Unii Europejskiej i na świecie oraz porównanie z sytuacją w Polsce

Rozwój nanotechnologii stanowi jeden z kluczowych trendów rozwoju nauki i technologii w skali globalnej. Obecnie najwięcej inicjatyw w tej dziedzinie podejmowanych jest w USA, Japonii i Unii Europejskiej, charakteryzujących się porównywalnym poziomem inwestycji rządowych na ten cel. Pierwszy spójny narodowy program rozwoju nanotechnologii powstał w USA w styczniu 2000 r., gdzie uruchomiono, z udziałem kluczowych agencji federalnych, sektora prywatnego i uczelni, Narodową Inicjatywę na Rzecz Nanotechnologii<sup>6</sup>. Program ten stanowił impuls do rozpoczęcia prac w zakresie strategicznego programowania rozwoju nanotechnologii w innych krajach. Szacuje się, że obecnie przynajmniej 30 krajów zainicjowało działania nad opracowaniem narodowych strategii rozwoju nanonauk i nanotechnologii oraz powołaniem narodowych programów rozwoju nanotechnologii. W Unii Europejskiej kierunki działania w celu utrzymania i wzmocnienia europejskiego zaangażowania i wzmocnienia pozycji w zakresie nanonauk i nanotechnologii zdefiniowano w dokumentach: *Nanotechnology and Nanoscience, Action Plan for Europe 2005–2009* i *Towards European Strategy for Nanotechnology*. Najważniejszymi programami unijnymi, wspierającymi zrównoważony rozwój nanotechnologii, są programy ramowe, zwłaszcza Szósty i Siódmy Program Ramowy, w których wyznaczono priorytet tematyczny: *Nanonauki i nanotechnologie, materiały, nowe technologie produkcyjne*. Programy takie opracowywane są także w krajach Europy Wschodniej. W Azji strategiczne programy rozwoju nanotechnologii powstały między innymi w Chinach i Korei Południowej. Tego typu inicjatywy zostały podjęte również w Ameryce Północnej: w Kanadzie i Meksyku, a także w Australii.

W Polsce nie opracowano dotychczas jednolitego dokumentu wskazującego strategiczne obszary nanotechnologii. Wstępne kierunki rozwoju tej dziedziny sformułowano w dokumentach: *Proponowane kierunki rozwoju nauki i technologii w Polsce do 2020 roku, Założenia polityki naukowej, naukowo-technicznej i innowacyjnej państwa do 2020 r.* oraz *Narodowy Plan Rozwoju na lata 2007–2013*, opracowanych przez Ministerstwo Nauki i Informatyzacji w 2004 r. W ramach tych dokumentów nanonauki i nanotechnologie zostały włączone do strategicznego obszaru *Techno* na równi z takimi dziedzinami jak: nowe materiały i technologie, projektowanie systemów specjalizowanych i mechatronika.

Analiza strategii i programów realizowanych w poszczególnych krajach pozwala na zidentyfikowanie następujących trendów rozwoju w dziedzinie nanotechnologii:

***Wybór kierunków działania w dziedzinie nanotechnologii w poszczególnych krajach jest dokonywany w różny sposób zgodnie z posiadaną wiedzą ekspercką i specyficznymi potrzebami.***

W poszczególnych krajach przyjęto odmienne strategie dotyczące rozwoju nanotechnologii. Strategie obejmują zakres od szerokiego spektrum obszarów do wybra-

<sup>6</sup> *The National Nanotechnology Initiative at Five Years: Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel*, maj 2005.

nych stosunkowo wąskich kierunków, w których dany kraj może uzyskać przewagę konkurencyjną bądź posiada zidentyfikowane potencjalne rynki zbytu. Wiodące gospodarki takie jak USA, Japonia i Unia Europejska, w szczególności Niemcy, w swoich priorytetach badawczych uwzględniają cały zakres nanotechnologii, podczas gdy mniejsze gospodarki wybierają wąskie obszary specjalizacji. Przykładowo Korea Południowa intensyfikuje działania w zakresie nanoelektronicznych kostek pamięci, a w Australii przedmiotem inwestycji rządowych uczyniono nanofotonikę. Nanomateriały to priorytetowy kierunek w większości krajów. Różnice między narodowymi programami rozwoju nanotechnologii dotyczą przede wszystkim dziedzin badań, na które dany kraj jest ukierunkowany, poziomu integracji programu z różnymi sektorami przemysłu oraz przyjętej skali czasowej osiągnięcia założonych celów. W ten sposób, w skali globalnej, następuje wzajemne uzupełnienie realizowanych prac w dziedzinie nanonauk i nanotechnologii.

### ***Odmienne sposoby organizacji działań w dziedzinie nanotechnologii w poszczególnych krajach***

Biura koordynacyjne na poziomie ogólnokrajowym, podobne w charakterze do amerykańskiego *National Science and Technology Council*, zostały powołane w niektórych krajach, np.: Japonii, Korei, Chinach czy Szwajcarii. Z kolei wiele krajów unijnych, jak np.: Niemcy i Francja, zdecydowało się na zdecentralizowane podejście.

### ***Odmienne charakter prac prowadzonych przez małe i duże centra badawcze***

Małe grupy badawcze prowadzą badania rozproszone tematycznie, podczas gdy większe centra badawcze odgrywają znaczącą rolę przede wszystkim w opracowywaniu tematów o znaczeniu strategicznym i powoływaniu partnerstw i sieci współpracy. Ośrodki te zapewniają w dłuższej perspektywie czasu spójność i interdyscyplinarność prowadzonych prac oraz umożliwiają wymianę poglądów i doświadczeń niezbędnych do zapewnienia dynamicznego rozwoju nanotechnologii.

### ***Rozwój zasobów ludzkich jako kluczowy czynnik sukcesu***

Wszystkie kraje uznają rozwój zasobów ludzkich za najważniejszy czynnik postępu w nanotechnologii. Obejmuje to m.in.: kształcenie pracowników nauki i inżynierów, zatrudnianie utalentowanych młodych ludzi z całego świata do pracy w organizacjach kreujących nanotechnologie oraz zachęcanie młodzieży do studiowania nauk ścisłych i technicznych.

### ***Wzmocnienie działań o charakterze interdyscyplinarnym i integracyjnym***

Działania o charakterze interdyscyplinarnym, transdyscyplinarnym i integracyjnym są niezbędne ze względu na charakter nanotechnologii. Kształtowanie struktury materii w nanoskali wykonuje się m.in. metodami fizyki, chemii, biologii oraz inżynierii materiałowej. Nanotechnologia wpływa znacząco i bezpośrednio – poza szerszymi zastosowaniami technicznymi – na zdrowie i bezpieczeństwo obywateli, rozwój nowych źródeł energii oraz ochronę środowiska i zasobów naturalnych, kapitałochłonność gospodarki itd.

### **Wzmocnienie współpracy międzynarodowej**

Liczba i zakres międzynarodowych projektów badawczych i rozwojowych w dziedzinie nanotechnologii będzie się systematycznie zwiększać, o czym świadczy prawie 3-krotny wzrost budżetu na ten priorytet w 7. Programie Ramowym UE. Zawarto wiele międzynarodowych umów, między innymi: Unia Europejska z amerykańską *National Science Foundation*<sup>7</sup>, stany Nowy York (USA) i Quebec (Kanada), Rosja i Chiny. Szczególny nacisk kładziony jest na poprawę komunikacji, tworzenie mechanizmów wymiany osób i pomysłów, rozwój partnerstwa badawczo-rozwojowego i zwiększania efektywności ekonomicznej. Powstaje światowa sieć nanotechnologii i planowane jest stworzenie globalnej strategii, obejmującej istniejące programy poszczególnych krajów, społeczności naukowych i organizacji międzynarodowych.

Strategie i programy rozwoju nanotechnologii, opracowywane i wdrażane w poszczególnych krajach, mimo różnic dotyczących przede wszystkim szczegółowych kierunków prac i perspektywy czasowej osiągnięcia założonych celów, mają pewne elementy wspólne, uznane za ważne w większości krajów. Są to:

- tworzenie sieci i partnerstw ukierunkowanych na wspólne budowanie i wykorzystanie aparatury badawczej i testowej przez instytuty badawcze, uczelnie i przemysł,
- tworzenie najwyższej klasy ośrodków badawczych, pełniących rolę kreatorów kierunków badań i innowacji technicznych,
- opracowanie standardów dla nanotechnologii,
- promowanie interdyscyplinarnych analiz i badań,
- wzmacnianie współpracy międzynarodowej,
- przyciąganie młodych talentów.

Przedstawiona strategia rozwoju nanonauk i nanotechnologii w Polsce uwzględnia wymienione, kluczowe działania o charakterze ogólnym oraz specyficzne obszary tematyczne, w których Polska powinna się specjalizować dla uzyskania przewagi konkurencyjnej i zaistnienia na rynku międzynarodowym. Istotnym zagadnieniem jest tworzenie sojuszy i umów bilateralnych z różnymi krajami dla zwiększenia konkurencyjności i efektywności badań oraz wspólnego występowania na forum Komisji Europejskiej.

---

<sup>7</sup> Program „*Cooperative Activities in Materials Research between the National Science Foundation and the European Commission*”, <http://www.nsf.gov/pubs/2003/nsf03565/nsf03565.htm>, lipiec 2006.

### 3. Stan rozwoju nanonauk i nanotechnologii w Polsce na tle osiągnięć światowych i Unii Europejskiej

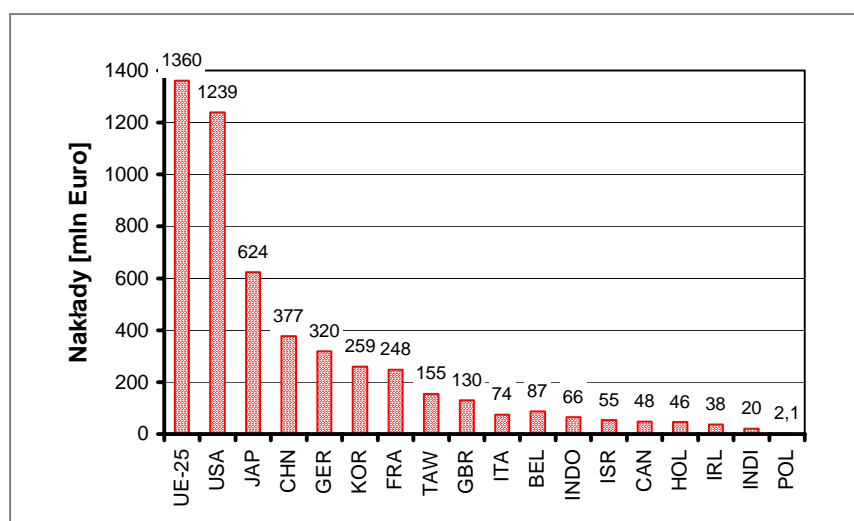
Badanie stanu rozwoju nanonauk i nanotechnologii w Polsce zostało przeprowadzone na tle analizy eksperckiej wybranych, zaawansowanych technologicznie gospodarek świata: USA, Japonii i Unii Europejskiej. Analiza objęła strategiczne obszary rozwoju nanotechnologii: badania i rozwój, infrastrukturę, rozwój kadr, innowacje przemysłowe oraz wymiar społeczny. Jej celem było zbadanie trendów i kierunków rozwoju tej dziedziny na świecie oraz rozpoznanie stanu rozwoju nanotechnologii w Polsce ze wskazaniem mocnych i słabych stron.

Ze względu na brak raportów kompleksowo prezentujących te zagadnienia, w trakcie prowadzonych prac uwzględniono cząstkowe opracowania sporządzone dla poszczególnych krajów, analizujące wybrane aspekty rozwoju nanotechnologii.

#### Badania i rozwój

Analizę kierunków badań w dziedzinie nanotechnologii dla USA i krajów Unii Europejskiej przeprowadzono na podstawie raportów rządowych i dokumentów Komisji Europejskiej. Analiza stanu badań w Polsce, obejmująca lata 1996–2006, została przeprowadzona na podstawie informacji zawartych w bazie projektów badawczych Ośrodka Przetwarzania i Informacji (OPI<sup>8</sup>) oraz danych zebranych przez ekspertów.

Czołowe miejsce w rozwoju badań nad nanonauką i nanotechnologią na świecie zajmują: USA, Japonia oraz Unia Europejska. Potwierdza to skala nakładów ponoszonych przez poszczególne kraje w dziedzinie nanotechnologii (rys. 1). Polska z nakładami rzędu kilku mln euro pozostaje daleko za krajami rozwiniętymi gospodarczo. Nakłady na wszystkie badania w nanotechnologii w Polsce są porównywalne z kosztami pojedynczych projektów w programach ramowych UE.



Rys. 1. Nakłady w dziedzinie nanotechnologii na świecie w 2004 roku<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Baza OPI, [www.opi.org.pl](http://www.opi.org.pl), lipiec 2006.

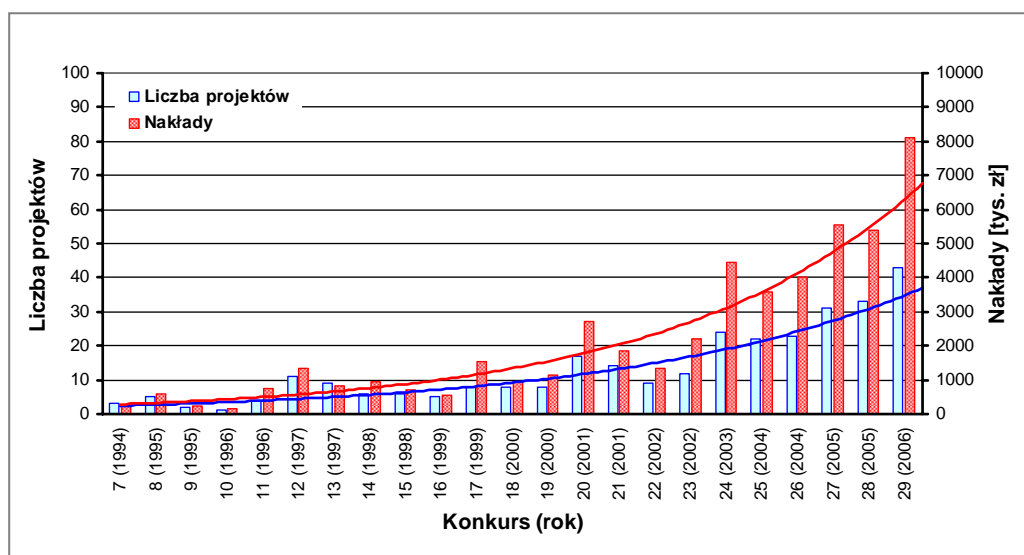
<sup>9</sup> *The National Nanotechnology Initiative – Supplement to the President's 2006 Budget, National Science and Technology Council, USA, marzec 2005.*

W USA realizowane są prace we wszystkich obszarach badań według przyjętej przez Zespół klasyfikacji (tab. 1). Na równi traktowane są (po ok. 30% nakładów) badania podstawowe – zjawiska i procesy w nanoskali, badania nad nanostrukturami i nanomateriałami oraz rozwój urządzeń w nanoskali<sup>10</sup>. Obszary badań, takie jak nanoelektronika, nanomagnetyzm, nanooptyka oraz nanobiotechnologia i nanomedycyna włączone są do badań podstawowych, a rozwijane w ramach tych badań produkty kwalifikowane są do nanomateriałów bądź urządzeń w nanoskali.

W Unii Europejskiej szczególny nacisk położony jest na rozwój nanoelektroniki i nanomagnetyzmu (ponad 35% nakładów), nanostruktur i nanomateriałów (25%) oraz nanobiotechnologii i nanomedycyny (19%). Priorytetowo traktowane są również zagadnienia związane z rozwojem podstaw teoretycznych, tj. badanie zjawisk i procesów w nanoskali (12%)<sup>11</sup>.

W Polsce badaniami nad nanotechnologią zajmują się głównie ośrodki akademickie, instytuty PAN oraz jednostki badawczo-rozwojowe. W wyniku identyfikacji przeprowadzonej przez Zespół nie stwierdzono prac rozwojowych podejmowanych w dziedzinie nanotechnologii przez krajowe ośrodki przemysłowe.

Od 2000 roku obserwuje się systematyczny wzrost liczby grantów przyznawanych w dziedzinie nanonauk i nanotechnologii. Na początku dziesięciolecia Minister Nauki przyznawał przeciętnie 8 grantów na konkurs, natomiast obecnie liczba przyznanych grantów przekracza 40 na konkurs (rys. 2). Wzrostowi liczby grantów towarzyszy jeszcze szybszy wzrost nakładów na ich realizację.

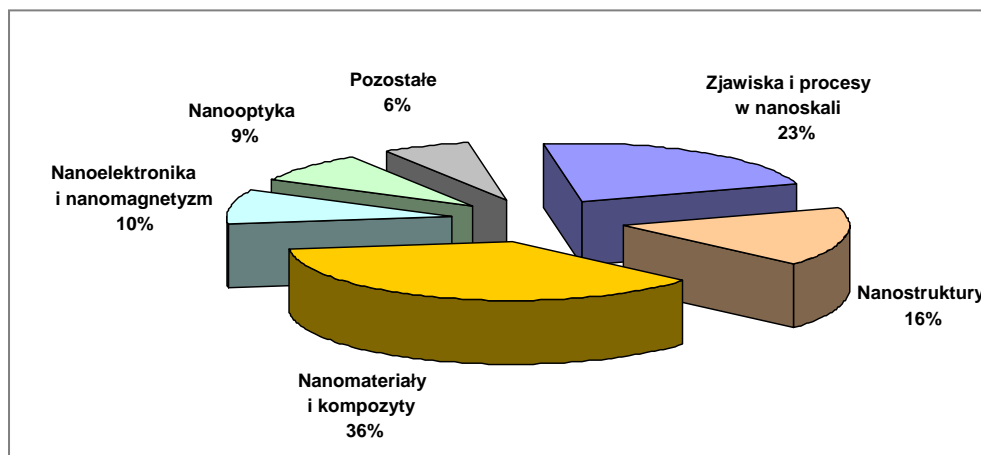


Rys. 2. Projekty tematycznie związane z nanonaukami i nanotechnologią zatwierdzone do finansowania w latach 1994–2006 (liczba projektów oraz nakłady)

<sup>10</sup> *The National Nanotechnology Initiative – Supplement to the President’s 2006 Budget, National Science and Technology Council, USA, marzec 2005.*

<sup>11</sup> *Some Figures about Nanotechnology R&D in Europe and Beyond, Unit G4 Nanosciences and nanotechnologies, European Commission, Research DG, grudzień 2005.*

Podział tematyczny grantów w latach 2000–2005 przedstawiony na rys. 3 wskazuje, że polskie ośrodki badawcze specjalizują się głównie w obszarach: „Nanomateriały i nanostruktury” oraz „Zjawiska i procesy w nanoskali”.



Rys. 3. Podział projektów związanych tematycznie z nanonaukami i nanotechnologiami w latach 2000–2005 wg przyjętej klasyfikacji

Obok grantów wiodącym instrumentem finansowania badań w dziedzinie nanotechnologii są projekty badawcze zamawiane. Obecnie w toku realizacji są 3 projekty zamawiane, dotyczące technologii wytwarzania wyrobów z metali i stopów o strukturze nanometrycznej, materiałów polimerowych modyfikowanych nanocząstkami oraz rozwoju nanotechnologii w inżynierii powierzchni. Całkowity budżet realizowanych projektów zamawianych z dziedziny nanotechnologii wynosi ponad 20 mln zł i jest około trzykrotnie większy niż fundusze przydzielane w ramach grantów.

W Polsce poziom nakładów na rozwój nauk i nanotechnologii jest drastycznie niższy niż w krajach wysoko rozwiniętych. Mimo tego zasadniczego ograniczenia zidentyfikowano ponad pięćdziesiąt ośrodków badawczych, zajmujących się nanotechnologiami. Specjalizują się one głównie w badaniach związanych z nanomateriałami i nanostrukturami (ok. 50% projektów). Bardzo duże znaczenie mają również ośrodki prowadzące badania naukowe z obszaru zjawisk i procesów w nanoskali, zwłaszcza w dziedzinie nanofizyki i nanochemii (ok. 24% projektów), w mniejszym stopniu: nanoelektroniki i nanomagnetyzmu (11%) oraz nanooptyki (8%). Badania w pozostałych obszarach (ok. 6%) realizowane są sporadycznie w bardzo ograniczonym zakresie przez nieliczne jednostki badawcze<sup>12</sup>.

Ośrodki badawcze aktywne w pracach naukowych, rozwojowych i aplikacyjnych związanych z nanotechnologią najczęściej specjalizują się w badaniach w zakresie chemii, fizyki i inżynierii materiałowej. Należy jednak zwrócić uwagę na pewne ograniczenie w przeprowadzonej w niniejszym raporcie identyfikacji zagadnień nanonauk

<sup>12</sup> Ze względu na przyjętą metodę analizy niektóre projekty z zakresu nanobiotechnologii i nanomedycyny mogły zostać pominięte.



i nanotechnologii, bowiem obszary biofizyki, biochemii i biotechnologii są objęte analizą prowadzoną przez inny zespół specjalistyczny<sup>13</sup>.

Polskie zespoły badawcze aktywnie uczestniczyły w Programach Ramowych Unii Europejskiej. 5. Program Ramowy zaowocował powstaniem około 30 Polskich Centrów Doskonałości prowadzących prace w dziedzinach związanych z nanotechnologią. Na bazie tych jednostek powołano dwa Centra Zaawansowanych Technologii, specjalizujące się w tematyce nanotechnologii, tj. Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii CAMAT, koordynowane przez Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN oraz Centrum Zaawansowanych Technologii i Materiałów dla Opto- i Mikroelektroniki przy Instytucie Fizyki PAN. W 6. Programie Ramowym polskie zespoły brały udział w projektach o tematyce związanej z nanometalami, syntezami nanoproszków, katalizą, nanokompozytami, nanowarstwami i pokryciami, nanomedycyną, zjawiskami i procesami w nanoskali oraz nanomateriałami dla zastosowań w elektronice, spintronice, optoelektronice oraz nanolitografii, jak również w opracowaniu „map drogowych” nanotechnologii.

Niestety tylko w nielicznych przypadkach odegrały tam wiodącą rolę, co nie rokuje znaczącego sukcesu w 7. PR.

Przemysł w Polsce jeszcze w niewielkim stopniu finansuje badania w dziedzinie nanotechnologii.

### **Infrastruktura**

Analiza infrastruktury w USA, krajach UE oraz w Polsce objęła segmenty informacji takie jak:

- infrastruktura laboratoryjna (w tym pomieszczenia o bardzo wysokiej czystości, tzw. *clean rooms*),
- aparatura badawcza,
- sektor ICT<sup>14</sup> (pracownie komputerowe, serwisy internetowe, sieci współpracy, bazy danych).

Infrastruktura nanotechnologiczna w USA jest koordynowana przez *National Nanotechnology Infrastructure Network (NNIN)*. Infrastruktura obejmuje sieci wzajemnie ze sobą powiązanych i współpracujących jednostek, takich jak: instytuty naukowe, uniwersytety, centra komputerowe, ośrodki edukacyjne, jednostki MSP. Centra badawcze, wchodzące w skład sieci, umożliwiają dostęp do aparatury badawczej dla instytucji partnerskich. Taka organizacja umożliwi budowę nowoczesnej infrastruktury laboratoryjnej oraz aparaturowej w ramach sieci współpracy. Charakterystyczne dla USA jest zintegrowane wykorzystanie, w skali kraju, technik informatycznych do wymiany informacji oraz rozpowszechniania rezultatów badań naukowych w dziedzinie nanotechnologii (np.: zintegrowane serwisy internetowe, internetowe bazy danych).

<sup>13</sup> Interdyscyplinarny Zespół ds. Rozwoju Biogospodarki powołany Decyzją Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 8 V 2006.

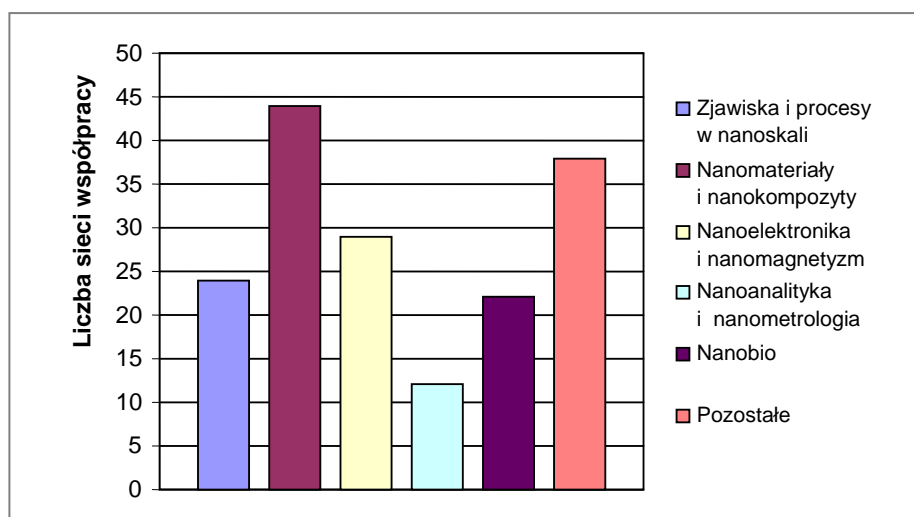
<sup>14</sup> Ang. *Information and Communication Technology*.

Zgodnie ze sformułowaną strategią dla rozwoju nanonauk i nanotechnologii w Stanach Zjednoczonych szczególny nacisk kładziony jest również na mechanizmy i struktury umożliwiające komercjalizację rozwiązań w dziedzinie nanotechnologii. Podejmuje się współpracę, monitorowaną przez instytucje rządowe, między jednostkami naukowo-badawczymi i przedstawicielami sektora gospodarki.

Stany Zjednoczone inwestują szczególnie w infrastrukturę dla rozwoju obszarów badawczych takich jak: nanomedycyna, nanomateriały, nanomateriały funkcjonalne, nanochemia, nanoelektronika, nanoinformatyka i nanooptyka. Powołano jednostki monitorujące i nadzorujące realizację przyjętej w USA strategii na rzecz rozwoju nanotechnologii, koordynujące zastosowania nanotechnologii w medycynie i ochronie zdrowia, transfer nanotechnologii do praktyki gospodarczej, przepływ informacji pomiędzy sektorem badań a sektorem przemysłu, informowanie społeczeństwa o wynikach badań oraz zagrożeniach itp.

W Europie działa około 240 centrów, z których około 8%<sup>15</sup> jest doskonale wyposażonych (pomieszczenia laboratoryjne o bardzo wysokiej czystości, aparatura badawcza). Infrastruktura dostępna w UE umożliwia badania z zakresu wielu obszarów nanotechnologicznych, jednak nanomateriały i nanokompozyty (około 90 centrów) oraz nanoelektronika (około 70 centrów) są najbardziej popularnymi obszarami badawczymi. Ogółem zidentyfikowano ponad 160 sieci partnerów (rys. 5), z których ponad połowa to struktury krajowe.

Sieci współpracy umożliwiają partnerom wymianę doświadczeń, korzystanie z infrastruktury laboratoryjnej i aparaturowej oraz wypracowywanie wspólnych rezultatów naukowych.



Rys. 5. Obszary badawcze realizowane w sieciach współpracy w Unii Europejskiej w dziedzinie nanotechnologii

Celem działań priorytetowych w wielu krajach, np.: Francji, Niemczech, Irlandii jest wzmocnienie współpracy pomiędzy sektorem badań a sektorem gospodarki oraz

<sup>15</sup> Sixth Nanoforum Report: European Nanotechnology Infrastructure and Networks, www.nanoforum.org, lipiec 2006.

wspieranie projektów badawczych z dziedziny nanotechnologii w przedsiębiorstwach i wdrażanie rozwiązań do praktyki gospodarczej.

Sektor ICT w dziedzinie nanotechnologii w Europie jest integrowany w postaci serwisu internetowego koordynowanego przez *European Nanotechnology Infrastructure and Networks*. Użytkownicy serwisu mają dostęp do bazy danych, aktualności, realizowanych projektów badawczych, publikacji itp. Większość krajów UE zainicjowało krajowe serwisy internetowe integrujące informacje o działaniach podejmowanych na ich terytorium.

Infrastrukturę aparaturową i laboratoryjną w dziedzinie nanotechnologii w Polsce zidentyfikowano poprzez ankietyzację. Najwięcej ośrodków zajmuje się nanomateriałami, zjawiskami i procesami w nanoskali (nanochemią i nanofizyką) i nanoelektroniką (głównie nanotechnologią półprzewodników oraz w mniejszym stopniu – metali magnetycznych). Zidentyfikowano kilkanaście ośrodków posiadających infrastrukturę do badań w dziedzinie materiałów funkcjonalnych (ogniwa paliwowe, zastosowania nanotechnologii w energetyce) oraz nanobio i nanomedycyny.

Należy pokreślić, iż infrastruktura w dziedzinie nanotechnologii w Polsce wymaga rozbudowy oraz dużych inwestycji, w szczególności modernizacji infrastruktury laboratoryjnej i aparaturowej. Szczególną uwagę zwraca brak nowoczesnego, ogólnie dostępnego zespołu czystych pomieszczeń (*clean rooms*) z odpowiednim wyposażeniem, na wzór takich jednostek w Niemczech, Belgii, Wielkiej Brytanii i Francji.

Sytuację w Polsce charakteryzuje występowanie oddzielnych grup badawczych, reprezentujących wysoki poziom naukowy i posiadających często nowoczesną aparaturę. Jednak współpraca tych zespołów jest dalece niewystarczająca i ukierunkowana głównie na zagranicę. W sytuacji niedostatecznej liczby silnych centrów badawczych i jednocześnie słabej koordynacji badań rzadko udaje się uzyskać „masę krytyczną” do rozwiązywania ambitnych zadań naukowych i technologicznych. Występuje widoczny niedostatek krajowych sieci integrujących działania w zakresie badań, wdrożeń, kształcenia kadr, wymiany pracowników, korzystania z dostępnych urządzeń i laboratoriów oraz doświadczenia wyspecjalizowanej kadry naukowo-technicznej. Nie zostały wystarczająco ukształtowane mechanizmy finansowania prac w ramach sieci badawczych. W działaniach na rzecz rozwoju infrastruktury nanotechnologii brak jest rozwiązań systemowych i niewystarczająca jest koordynacja aktywności w tym obszarze.

### **Rozwój kadr**

Analiza możliwości kształcenia w USA, krajach UE oraz w Polsce objęła segmenty informacji takie jak:

- szkolnictwo wyższe,
- kursy, konferencje, seminaria,
- publikacje (artykuły, książki, czasopisma),
- sektor ICT (techniki edukacyjne, edukacyjne portale internetowe),
- kadra dydaktyczna.

Zrozumienie i wykorzystanie zjawisk zachodzących w skali nano wymaga solidnych podstaw wiedzy przyrodniczej, dlatego też w przypadku tej dziedziny wiedzy najważniejsze kształcenie odbywa się na poziomie uniwersyteckim. Wiele uniwersytetów na świecie podejmuje wyzwanie czasu i oferuje coraz więcej przedmiotów, na różnych poziomach kształcenia, z przedrostkiem nano w nazwie. Można zidentyfikować trzy typy podejścia do edukacji w dziedzinie nauki o zjawiskach w skali nano. Typ pierwszy – oferuje się krótkie specjalistyczne moduły absolwentom lub studentom jako skromny dodatek do istniejących programów obejmujących wiedzę o materiałach. Typ drugi – proponuje się programy magisterskie w dziedzinie nanonauk absolwentom, którzy już dobrze zapoznali się z właściwościami materiałów w skali makro. Typ trzeci – dla początkujących studentów tworzy się nowe, trzy- lub czteroletnie programy, w których zagadnienia nanotechnologii są mocno zakorzenione od samego początku. Najwięcej wątpliwości i dyskusji wzbudza typ trzeci, w którym wiedzę o zjawiskach w nanoskali przekazuje się studentom już na pierwszym stopniu kształcenia. Wydaje się to trochę przedwczesne, gdyż brakuje im podstaw i mają jeszcze zbyt słabą wiedzę o materiałach w skali makro, czyli np.: o właściwościach materiałów masywnych i zjawiskach w nich zachodzących.

W USA na studiach magisterskich, licencjackich, podyplomowych i doktoranckich kształcą się kadrę w zakresie zjawisk i procesów w nanoskali oraz w specjalnościach: materiały nanostrukturalne oraz nanobio i nanomedycyna. Pracownicy nauki biorą czynny udział w kształceniu specjalistów w obszarze nano.

W USA oprócz kształcenia na wyższych uczeniach organizowane są kursy w dziedzinie nanotechnologii. Najwięcej kursów prowadzonych jest w tematykach: nanobio, nanomedycyny, zjawisk i procesów w nanoskali oraz nanoelektroniki.

Utworzono portal internetowy dedykowany edukacji w dziedzinie nanotechnologii, zawierający wykłady, seminaria oraz aktualności. W Internecie dostępne są również informacje o organizowanych konferencjach, publikacjach i czasopismach. Prowadzony jest również portal internetowy *Working in Nanotechnology*<sup>16</sup>, zawierający oferty pracy w sektorze nanotechnologii.

W Europie położono nacisk na następujące kierunki kształcenia: zjawiska i procesy w nanoskali (głównie nanofizyka i nanochemia), nanomateriały oraz nanobio.

Ogółem w Unii Europejskiej zidentyfikowano 2 wydziały nanotechnologii, ponad 100 kierunków oraz ok. 40 specjalizacji. Najwięcej studiów magisterskich oferowanych jest w Wielkiej Brytanii, Niemczech i Francji. W Wielkiej Brytanii ogromną wagę przykładają się również do studiów podyplomowych i doktoranckich, na które ogłaszane są specjalne programy rządowe<sup>17</sup> (ok. 50 stypendiów doktoranckich rocznie). Uczelnie w Europie oferują szeroki wybór kursów z dziedziny nanotechnologii.

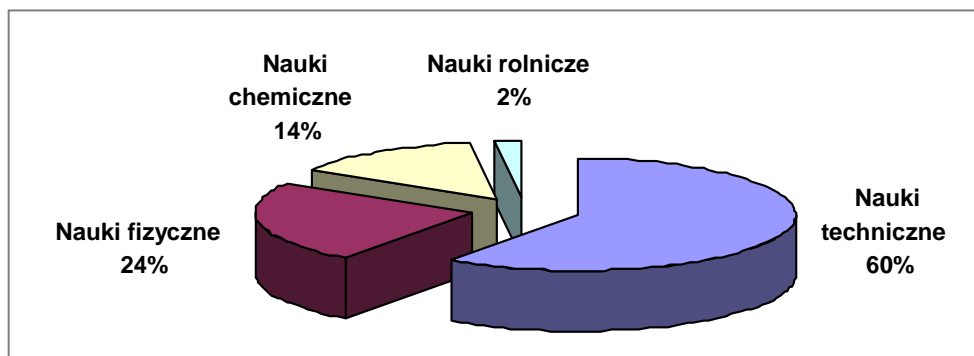
W krajach UE publikuje się wiele artykułów, monografii – głównie anglo- i niemieckojęzycznych – z dziedziny nanotechnologii, dostępnych przez Internet. Zainteresowaniem cieszą się również wystawy poświęcone nanotechnologiom.

<sup>16</sup> [www.workingin-nanotechnology.com](http://www.workingin-nanotechnology.com), lipiec 2006.

<sup>17</sup> *UK invests in the nano world, Nanotoday*, grudzień 2003.

Unia Europejska podejmuje liczne inicjatywy w sektorze ICT, np.: internetowa baza ośrodków akademickich oferujących studia z dziedziny nanotechnologii, kursy i konferencje (informacje są zintegrowane i nie ma potrzeby szukania ofert na stronach poszczególnych uczelni). Spis kursów znajduje się w portalu internetowym<sup>18</sup>, który zawiera również oferty pracy w dziedzinie nanotechnologii, literaturę, nowości i wydarzenia, sylwetki wybitnych specjalistów w obszarze nanotechnologii oraz raporty o stanie nanotechnologii w krajach UE.

Obecnie w Polsce 6 uczelni na 8 wydziałach oferuje 11 specjalności: nanotechnologia, nanoinżynieria, nanomateriały, nanostruktury i nanotechnologie, materiały nano- i supramolekularne, nanochemia i kataliza, fizyka nanomateriałów i nanotechnologie oraz fizyka i technologia struktur nanometrowych. Jak dotąd nie uruchomiono w Polsce kierunku kształcenia z przedrostkiem nano w nazwie. Specjalności z zakresu nano wykładane są na kierunkach kształcenia takich jak: fizyka – 7, inżynieria materiałowa – 3 i chemia – 1. W skali kraju oferowanych jest ponad 70 przedmiotów z przedrostkiem nano w tytule (ok. 40 obowiązkowych i ponad 30 obieralnych) oraz ponad 50 przedmiotów, które częściowo dotyczą nanotechnologii. Aktywność kształcenia kadry naukowej można scharakteryzować liczbą nadanych stopni doktora i doktora habilitowanego. W Polsce w obszarze nanotechnologii<sup>19</sup> w okresie 1998–2005 r. nadano co najmniej 64 stopnie doktora (8 osób/rok) i 9 stopni doktora habilitowanego (1 osoba/rok). Najwięcej, bo aż 60% stopni doktora nadano w dziedzinie nauk technicznych, 24% w dziedzinie nauk fizycznych, 14% w dziedzinie nauk chemicznych i 2% w dziedzinie nauk rolniczych (rys. 6). Habilitacje dotyczyły nauk fizycznych (5 osób) i technicznych (4 osoby).



Rys. 6. Doktoraty w dziedzinie nanonauk i nanotechnologii w Polsce w latach 1998–2005

Należy stwierdzić, że w Polsce najlepsze i najbardziej zaawansowane kształcenie w dziedzinie nanonauk i nanotechnologii odbywa się na studiach doktoranckich, które oferują zarówno szerokie spektrum przedmiotów teoretycznych, jak i dobrze wyposażone laboratoria do pracy eksperymentalnej oraz na ogół bliski kontakt z nauką światową, a wynik kształcenia jest skutecznie weryfikowany przez rozprawę doktorską i jej obronę oraz dorobek publikacyjny doktoranta. Pozytywnie należy również ocenić kształcenie na studiach magisterskich oraz studia podyplomowe z dziedziny nanotechnologii. Niewiele organizowanych jest kursów, szkoleń i konferencji w tej tematyce

<sup>18</sup> [www.nanoforum.org](http://www.nanoforum.org), lipiec 2006.

<sup>19</sup> Baza OPI, [www.opi.org.pl](http://www.opi.org.pl), lipiec 2006.

(w przeciwieństwie do USA i Unii Europejskiej). Obserwuje się także wyraźny niedostatek zwartych publikacji z dziedziny nanotechnologii, szczególnie brak jest polskich monografii, natomiast publikuje się sporo artykułów naukowych<sup>20</sup>. Brak jest też oferty dla studentów zagranicznych: Indie, Chiny, Wietnam, Ameryka Łacińska, kraje Europy Środkowej.

### **Innowacje przemysłowe**

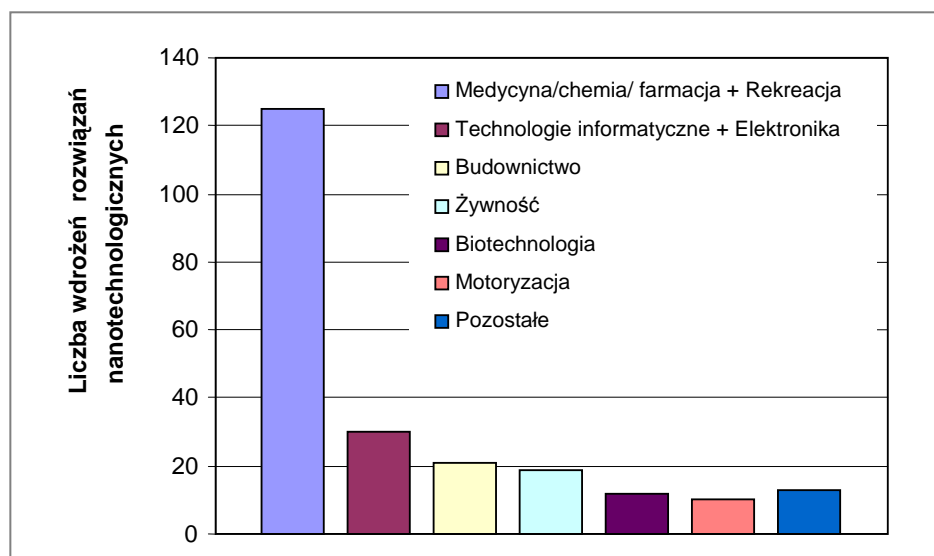
Analiza innowacji przemysłowych w USA, krajach UE oraz w Polsce objęła segmenty informacji takie, jak:

- firmy (producenci, dystrybutorzy),
- produkty (rodzaj, stopień wykorzystania nanotechnologii),
- współpraca przedsiębiorstw z jednostkami naukowo-badawczymi,
- rozwiązania systemowe (techniki rozpowszechniania wdrożeń z dziedziny nanotechnologii, np.: sklepy internetowe, dotacje na wdrożenia itp.),
- patenty dotyczące rozwiązań z dziedziny nanotechnologii.

Stany Zjednoczone są krajem przodującym na świecie w transferze nanotechnologii do praktyki gospodarczej – na każdy 1000 firm zajmujących się nanotechnologią, 600 zostaje powołanych do życia w USA, zaś 250 w Unii Europejskiej.

*National Nanotechnology Infrastructure Network* udostępnia przedstawicielom sektora przemysłu: raporty i wyniki badań stymuluje uczestnictwo w projektach i współpracę z jednostkami naukowo-badawczymi oraz wspomaga zarządzanie.

Na rys. 7 przedstawiono dziedziny (według przyjętej klasyfikacji zastosowań przemysłowych) wdrożeń w dziedzinie nanotechnologii w USA.



Rys. 7. Dziedziny przemysłowych wdrożeń rozwiązań nano w USA

<sup>20</sup> Baza artykułów dostępna jest na stronie internetowej [www.nanotechnologia.republika.pl/glowna.html](http://www.nanotechnologia.republika.pl/glowna.html), lipiec 2006.

W celu zwiększenia liczby wdrożeń w dziedzinie nanotechnologii stworzono uregulowania polityki patentowej dotyczącej rozwiązań nanotechnologicznych (*U.S. Patent and Trademark Organization*).

W Stanach Zjednoczonych istnieją struktury organizacyjne wspierające rozwój lokalnych inicjatyw wdrażania rozwiązań w dziedzinie nanotechnologii, a także mechanizmy służące identyfikacji nisz i formułowaniu priorytetów, np.: *Project on Emerging Nanotechnologies*.

Sektor ICT wykorzystywany jest w USA do rozpowszechniania produktów nanotechnologicznych (np.: sklepy internetowe) oraz przekazywania informacji o nowych możliwościach w obszarze nano (serwisy www).

Komisja Europejska podjęła również działania w celu promocji europejskiego rynku produkcji w dziedzinie nanotechnologii. Rozwijane są instrumenty umożliwiające uzyskanie dotacji dla firm wdrażających rozwiązania nano, szczególnie ukierunkowane na sektor MSP<sup>21</sup>.

Większość krajów europejskich powołało do życia inicjatywy dotyczące nanotechnologii koordynowane centralnie przez władze państwowe (np.: Austria), grupy doradcze dla przedstawicieli sektora gospodarki (np.: CSRT we Francji).

Na rynku europejskim dostępne są liczne wyroby, w których wykorzystano nanotechnologie, w tym produkty stosowane w medycynie (bandaże, zastawki serca itp.), elektronice (np.: głowice twardych dysków komputerowych), motoryzacji (np.: rysoodporne farby), włókiennictwie (np.: niegniotące i nieplamiące się tkaniny), optyce (np. samoczyszczące się szkła okularowe). Najwięcej firm wykorzystujących nanotechnologie jest w Niemczech, a branżą przemysłu, w której najczęściej wdrażane są rozwiązania z dziedziny nanotechnologii, jest sektor chemiczny. Wielkim i dynamicznie rozwijającym się rynkiem nanotechnologii są również urządzenia technologiczne, analityczne i pomiarowe.

Wśród krajów Unii Europejskiej najwięcej patentów w dziedzinie nanotechnologii rejestruje się w Danii, Wielkiej Brytanii oraz Francji.

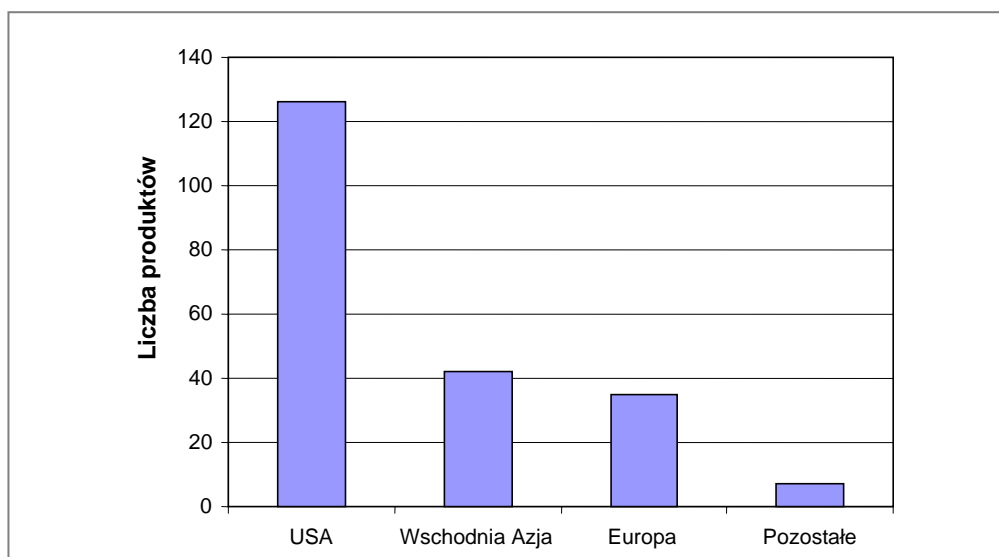
Na rys. 8 przedstawiono udział gospodarek światowych we wdrażaniu rozwiązań z dziedziny nanotechnologii do praktyki gospodarczej w 2004 roku<sup>22</sup>.

W Polsce istnieją duże trudności w zidentyfikowaniu stanu i ilości przemysłowych wdrożeń w dziedzinie nanotechnologii. Wynika to z następujących powodów:

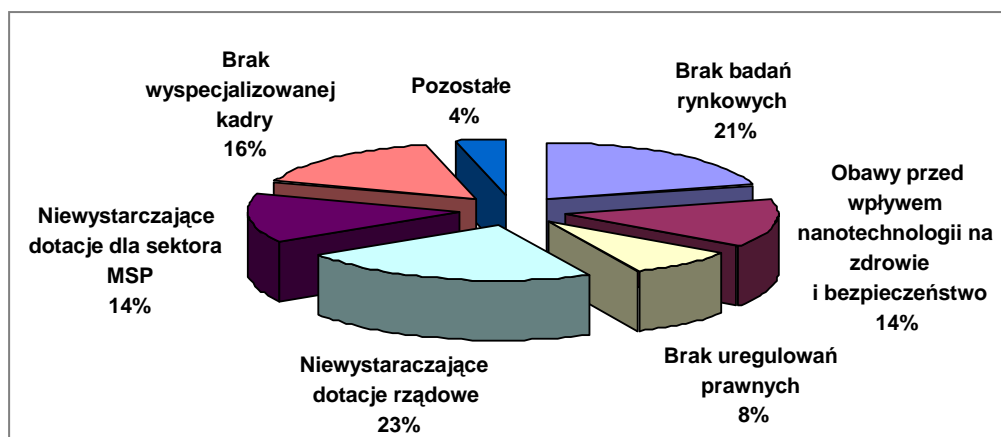
- braku zintegrowanego portalu informacyjnego w obszarze zastosowań przemysłowych,
- trudnego dostępu do oficjalnych raportów o stanie przemysłu nano w Polsce,
- używania terminu nano do charakterystyki produktów lub technologii często w sposób nieuzasadniony.

<sup>21</sup> Baza firm wykorzystujących nanotechnologie <http://www.nanovip.com/directory/International/index.php/>, lipiec 2006.

<sup>22</sup> „The 2005 European NanoBusiness Survey”. European NanoBusiness Association, [www.nanoeurope.org](http://www.nanoeurope.org), lipiec 2005.



Rys. 8. Udział rynków światowych w transferze technologii do praktyki gospodarczej



Rys. 9. Główne trudności w rozwoju nanotechnologii<sup>23</sup>

W Polsce wdrażanie rozwiązań nanotechnologicznych jest na początkowym etapie rozwoju. Firmy działające na rynku w tym obszarze od kilku lat udoskonalają swoje dotychczasowe technologie i produkty przez wykorzystanie nanotechnologii.

W wyniku przeprowadzonej analizy zidentyfikowano ponad 70 firm wykorzystujących nanotechnologie i nanomateriały w produkcji rynkowej. Ankieta przeprowadzona wśród polskich przedsiębiorstw produkcyjnych i handlowych wykazała zainteresowanie krajowych firm komercjalizacją prac badawczych i rozwojowych w podstawowych obszarach wdrożeniowych nanotechnologii.

Większość firm działających na terenie Polski w dziedzinie nanotechnologii to przedstawiciele handlowi firm zagranicznych, dystrybutorzy produktów, w których zastosowano nanotechnologie.

<sup>23</sup> „The 2005 European NanoBusiness Survey”. European NanoBusiness Association, [www.nanoeurope.org](http://www.nanoeurope.org), lipiec 2005.



Najwięcej firm produkcyjnych z udziałem polskiego kapitału wytwarza produkty w obszarze chemii oraz elektroniki. Funkcjonują również przedsiębiorstwa wdrażające rozwiązania nanotechnologiczne do produktów związanych z medycyną, budownictwem, energetyką. Największą popularność w zastosowaniach przemysłowych zyskują nanomateriały funkcjonalne, np.: zastosowania nanotechnologii do modyfikacji włókien tekstylnych oraz podwyższenia właściwości warstw wierzchnich na narzędziach i elementach maszyn.

Przeszkody we wdrażaniu i promocji innowacji przemysłowych w dziedzinie nanotechnologii to przede wszystkim:

- bariery w komunikacji pomiędzy środowiskiem naukowym a biznesem (a także instytucjami wsparcia publicznego, instytucjami finansowymi, władzami samorządowymi, rządowymi instytucjami nadzorującymi),
- brak krajowej jednostki koordynującej działania w sferze współpracy między przedsiębiorcami a naukowcami w dziedzinie nanotechnologii,
- brak aktualnej i interaktywnej informacji (np.: w formie zintegrowanego portalu www) o ofercie środowiska naukowego dla biznesu,
- niska świadomość w środowisku naukowym w zakresie metod kształtowania procesów innowacyjnych w gospodarce,
- niedostateczna aktywność parków naukowo-technologicznych, inkubatorów i akceleratorów technologicznych,
- znikoma prezentacja technologii na ogólnopolskich imprezach targowych i wystawach innowacyjności,
- słabe przygotowanie naukowców do komunikacji z przemysłem,
- przewlekłe procedury patentowania wyników badań.

### **Wymiar społeczny**

Rozwój nanotechnologii, szeroki zakres zastosowań oraz brak wyczerpującej informacji o konsekwencjach społecznych i zdrowotnych wykorzystywania nanotechnologii sprawia, że w wielu krajach świata podejmowane są działania mające na celu przygotowanie stosownych zapisów normujących rozwój nowych, zaawansowanych technologii. Kongres Stanów Zjednoczonych uchwalił ustawę zwaną *Nanotechnology Research and Development Act*, która stanowi podstawę prawną koordynacji działań mających na celu rozwój nanotechnologii. Ustawa ta określa formalne ramy dyskusji nad nanotechnologią i jej wpływem na społeczeństwo. Ponadto powołano instytucje o charakterze ogólnokrajowym, których działalność jest koordynowana przez rząd, jak np.: *The National Nanotechnology Coordination Office* i *Environmental Protection Agency*. Celem tych instytucji jest informowanie społeczeństwa o potencjalnych zagrożeniach, wynikających ze stosowania nanotechnologii, jak również koordynowanie prac instytucji naukowo-badawczych i działań sektora przemysłowego. Obok inicjatyw

koordynowanych przez rząd istnieją w USA społeczne organizacje, np.: *The Center for Responsible Nanotechnology*, których statutowym celem jest monitorowanie zastosowań nanotechnologii.

W Unii Europejskiej, decyzją Komisji Europejskiej z dnia 3 marca 2004 r., powołano komitety naukowe, których zadaniem jest zapewnienie bezpieczeństwa konsumentów, ochrona zdrowia publicznego i środowiska<sup>24</sup>. Określenie potencjalnego ryzyka związanego, między innymi, z nanotechnologią jest celem działania *Komitetu Naukowego ds. Pojawiających się i Nowo Rozpoznawalnych Zagrożeń dla Zdrowia*. Etyczne aspekty zastosowań nanotechnologii bada *Europejska Grupa ds. Etyki*.

W Polsce dotychczas nie istnieją uregulowania prawne, dotyczące bezpiecznego wykorzystania nanotechnologii. Prowadzone w tym zakresie prace powinny być skorelowane z działaniami unijnymi oraz uwzględniać potrzeby i warunki polskie.

W celu minimalizacji zagrożeń wynikających z wykorzystania nanotechnologii należy:

- kontynuować badania wpływu nanotechnologii na człowieka i środowisko naturalne,
- prowadzić dialog społeczny na temat nanotechnologii,
- zwiększyć wiedzę społeczeństwa o korzyściach i zagrożeniach nanotechnologii,
- powołać organizacje, mające na celu rozpoznawanie ryzyka związanego z zastosowaniem nanotechnologii,
- rozwinąć współpracę międzynarodową, mającą na celu wypracowanie jednolitych uregulowań prawnych, określających zasady prowadzenia badań nad nanotechnologią i sposoby wykorzystywania norm i baz danych.

Wszelkie działania w zakresie uregulowań dotyczących zastosowania nanotechnologii, ze szczególnym uwzględnieniem kwestii etyki, powinny być prowadzone z udziałem zarówno środowiska naukowego, przedstawicieli przemysłu, jak i społeczeństwa.

### ***Analiza SWOT rozwoju nanotechnologii w Polsce***

Wynikiem przeprowadzonej analizy stanu rozwoju nanotechnologii w kluczowych pięciu obszarach w wybranych gospodarkach świata i w Polsce jest analiza SWOT dokonana przez Zespół, wskazująca na mocne i słabe strony oraz szanse i zagrożenia rozwoju tej dziedziny wiedzy w naszym kraju.

<sup>24</sup> COMMISSION DECISION of 3 March 2004 setting up Scientific Committees in the field of consumer safety, public health and the environment, System Informacji Prawnej Lex.

Tab. 2. Analiza SWOT rozwoju nanotechnologii w Polsce

<b>Silne strony</b>	<b>Słabe strony</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- stosunkowo wysoki poziom badań podstawowych i stosowanych w wybranych zespołach badawczych i instytutach,</li> <li>- specjalizacja i silna pozycja międzynarodowa w obszarze nanomateriałów,</li> <li>- wysoka dynamika wzrostu liczby projektów badawczych w dziedzinie nanotechnologii oraz jeszcze wyższa dynamika wzrostu budżetów tych projektów,</li> <li>- rosnąca liczba innowacyjnych rozwiązań nanotechnologicznych (zwiększające się doświadczenie technologiczne),</li> <li>- dobre wyposażenie niektórych laboratoriów szczególnie w zakresie badań nanomateriałów,</li> <li>- uruchomienie Programu Foresight dla obszaru materiały, entuzjazm uczonych w obszarach specjalizacji nano w kierunku rozwoju dydaktyki i badań naukowych,</li> <li>- stosunkowo duży potencjał kadrowy wyższych uczelni i ośrodków PAN w badaniach podstawowych,</li> <li>- realizacja dużych projektów badawczych (PBZ) i programów wieloletnich (PW) w tym obszarze wiedzy,</li> <li>- dynamicznie rozwijające się powiązania z zagranicznymi instytucjami naukowymi i badawczo-rozwojowymi,</li> <li>- dobre wyposażenie informatyczne i umiejętność wykorzystania komunikacji internetowej,</li> <li>- duży rynek wewnętrzny i szybki rozwój gospodarczy kraju.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bardzo niski poziom finansowania badań w dziedzinie nanonauki nanotechnologii ze środków budżetowych,</li> <li>- duże rozproszenie finansowe i tematyczne, projekty przyczynkowe, a nie rozwiązujące ważne problemy,</li> <li>- bardzo niski poziom nakładów przemysłu na prace rozwojowe w obszarze nano,</li> <li>- słaba i rozproszona infrastruktura aparaturowa oraz niepełne wykorzystanie posiadanej infrastruktury,</li> <li>- brak sieci instytucji specjalizujących się w nanonaukach i nanotechnologii,</li> <li>- rozproszenie specjalistycznej kadry i ośrodków,</li> <li>- brak powiązań nauki z przemysłem - niedostosowanie badań do potrzeb przemysłu,</li> <li>- początkowe stadium rozwoju krajowego przemysłu wykorzystującego nanotechnologie,</li> <li>- brak mechanizmów i uregulowań prawnych dla powstawania firm odpryskowych komercjalizujących wyniki badań – brak masy krytycznej dla rozwoju przemysłu w obszarze nano,</li> <li>- niski poziom wiedzy naukowców na temat przedsiębiorczości, w tym sposobów komercjalizacji nanotechnologii,</li> <li>- niski poziom wiedzy przedsiębiorców na temat możliwości związanych z rozwojem nanotechnologii,</li> <li>- słaba baza naukowa i laboratoryjna dla kształcenia w obszarze nanotechnologii, brak szkoleń, kursów, studiów podyplomowych,</li> <li>- brak zintegrowanego portalu internetowego o tematyce nanotechnologii – badania, przemysł , kształcenie kadr, infrastruktura, wymiar społeczny,</li> <li>- mała liczba organizowanych konferencji z dziedziny nanotechnologii,</li> <li>- zbyt mała reprezentacja i aktywność polskich przedstawicieli w strukturach decyzyjnych UE – promowanie tematyki badań oraz lobbying projektów,</li> <li>- brak wsparcia w przygotowaniu wniosków i prowadzeniu projektów międzynarodowych,</li> <li>- brak wykwalifikowanych kadr do interdyscyplinarnego kształcenia w obszarze nano,</li> <li>- brak wsparcia dla młodych naukowców,</li> <li>- niska efektywność działania struktur transferu technologii</li> <li>- niewielka wiedza techniczna i technologiczna w dziedzinie nanotechnologii zarządzających przedsiębiorstwami produkcyjnymi.</li> </ul>
<b>Szanse</b>	<b>Zagrożenia</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- możliwości związane z finansowaniem badań wynikające z unijnych programów badawczych i szczególnie funduszy strukturalnych ( wykorzystanie infrastruktury),</li> <li>- potencjalnie duże możliwości zaangażowania inwestycyjnego branży materiałowej w rozwój nanotechnologii,</li> <li>- rozwój struktur transferu wiedzy i technologii, np.: Centra Transferu Technologii oraz kształcenia specjalistów w dziedzinie komercjalizacji wyników badań,</li> <li>- uwzględnienie nanonauki i nanotechnologii jako jednej z dziedzin priorytetowych w Założeniach polityki naukowej, naukowo-technicznej i innowacyjnej państwa do 2020 r.</li> <li>- nowa ustawa o nauce dająca większe możliwości dużych projektów i pracy skoordynowanej,</li> <li>- wzrost liczby studentów nauk ścisłych i technicznych,</li> <li>- akceptacja strategii rozwoju nanotechnologii oraz osiągnięcie wysokiego światowego poziomu badań w strategicznych kierunkach,</li> <li>- utworzenie miejsc pracy w przedsiębiorstwach zaawansowanych technologii,</li> <li>- wzrost rynku i szybki wzrost gospodarczy.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ryzyko inwestycji w obszary, w których nie uda się uzyskać przewagi konkurencyjnej,</li> <li>- przejmowanie polskich pomysłów przez firmy zagraniczne, penetracja rynku badań przez kraje przodujące w obszarach zastosowań nano,</li> <li>- zmniejszająca się liczba studentów kontynuujących karierę naukową po studiach technicznych,</li> <li>- emigracja zarobkowa wysoko wykwalifikowanych specjalistów oraz młodych pracowników nauki.</li> </ul>

**STRATEGIA WZMOCNIENIA SFERY  
POLSKICH BADAŃ NAUKOWYCH  
I PRAC ROZWOJOWYCH  
W DZIEDZINIE NANONAUK  
ORAZ NANOTECHNOLOGII**

**N**anonauki i nanotechnologie stanowią obecnie najszybciej rozwijającą się dziedzinę twórczej działalności człowieka i stają się motorem napędowym gospodarki światowej. W najbliższych dziesięcioleciach nanotechnologia będzie priorytetowym kierunkiem rozwoju nauki i technologii na świecie, znajdującym wysoce efektywne ekonomicznie zastosowania gospodarcze. W Polsce, ze względu na posiadany potencjał naukowy i infrastrukturalny, dobrze wykształconą i doświadczoną kadre, nanotechnologia powinna być intensywnie rozwijana jako priorytetowy kierunek nauki i gospodarki.

Celem niniejszego dokumentu jest przedstawienie propozycji narodowej strategii dla Polski w dziedzinie nanotechnologii. Głównym powodem opracowania strategii rozwoju tej dziedziny jest konieczność sprostania przez Polskę wyzwaniom światowej konkurencji naukowej i technologicznej i tym samym zapewnienie Polsce znaczącego miejsca w gospodarce globalnej. Zaprezentowano strategiczne cele do osiągnięcia, wyznaczono priorytetowe kierunki badań, zaproponowano mechanizmy realizacji zadań, mających na celu rozwój nanonauk i nanotechnologii w Polsce. Aby osiągnąć sukces w tej dziedzinie wiedzy i praktyki, potrzebne jest podejście multidyscyplinarne oraz współpraca rządu, ośrodków naukowych i przemysłu.

Głównym celem narodowej strategii w dziedzinie nanonauk i nanotechnologii jest osiągnięcie przez Polskę znaczącego w skali europejskiej potencjału konkurencyjnego we wskazanych kierunkach badań i aplikacji do roku 2013. Nanotechnologie powinny w istotny sposób przyczynić się do rozwoju gospodarczego i naukowego kraju.

Priorytetem strategii nanonauk i nanotechnologii w Polsce jest rozwój, koordynacja i zarządzanie krajowym systemem badań, infrastruktury, edukacji i przemysłu w tej dziedzinie, w perspektywie krótko-, średnio- i długookresowej<sup>25</sup> w celu zmaksymalizowania pozytywnych skutków gospodarczych, naukowych i społecznych. Efektywne wdrożenie strategii wymaga podjęcia zintegrowanych, systemowych działań, obejmujących wszystkie wymienione obszary aktywności oraz intensyfikację współpracy międzynarodowej.

Zaproponowana strategia uwzględnia wyniki przeprowadzonej analizy SWOT<sup>26</sup>, wskazującej na mocne i słabe strony nanonauk i nanotechnologii w Polsce oraz możliwości i zagrożenia rozwoju tego obszaru wiedzy i praktyki w naszym kraju.

### ***Strategiczne uwarunkowania rozwoju nanotechnologii w Polsce***

- Nanotechnologia na świecie znajduje się w stadium intensywnego rozwoju i uznawana jest za sektor o dużej atrakcyjności zarówno badawczej, jak i komercyjnej. Należy zatem oczekiwać dynamicznego pojawiania się nowych obszarów aktywności w tej dziedzinie wiedzy, kreujących szanse dla polskiej nauki i gospodarki nadrobienia zapóźnienia technologicznego i zdobycia przewagi konkurencyjnej w wybranych strategicznych obszarach.

<sup>25</sup> Krótki okres – 1–3 lata, średni okres 3–7 lat, długi okres – powyżej 7 lat.

<sup>26</sup> Analiza SWOT stanowi załącznik w przypadku wykorzystywania opisu strategii jako samodzielnego dokumentu.

- Mamy realne możliwości zwiększenia zakresu finansowania rozwoju sektora nanotechnologii w Polsce ze środków budżetowych i biznesowych, szczególnie funduszy strukturalnych. Istnieją obszary nanotechnologii niewymagające dużych nakładów na wdrożenia, co zapewnia potencjalne możliwości szybkiego dołączenia do czołówki światowej.
- Dysponujemy w kraju solidnie wykształconą i doświadczoną kadrą w zakresie nauk podstawowych (matematyka, fizyka, chemia, informatyka), która stanowi bazowy potencjał intelektualny dla rozwoju nanotechnologii w Polsce.
- Aplikacje rozwiązań nanotechnologicznych, szczególnie w obszarze nanomateriałów, wymagają stosunkowo niewielkich nakładów kapitałowych (choć obciążonych wysokim stopniem ryzyka) i mogą być uruchamiane nawet w dużej skali zarówno w sektorze małych i średnich przedsiębiorstw (MSP), jak i w większych firmach.
- Istniejąca infrastruktura wykorzystywana dotychczas w inżynierii materiałowej, mikroelektronice, chemii i biologii molekularnej oraz informatyce może być z powodzeniem zastosowana do badań w dziedzinie nanotechnologii.

### **Cele do osiągnięcia w wyniku realizacji strategii (do roku 2013)**<sup>27</sup>

- Opracowanie kilkudziesięciu produktów o wysokiej wartości dodanej, wykorzystujących nanotechnologie, konkurencyjnych w skali światowej.
- Opracowanie i wprowadzenie na rynki światowe kilkudziesięciu technologii i urządzeń produkcyjnych do wytwarzania nanomateriałów.
- Stworzenie systemu edukacji w dziedzinie nanotechnologii, pozwalającego na wykształcenie kilkuset specjalistów rocznie.
- Kształcenie na poziomie europejskim ok. 20–30 doktorów rocznie w specjalizacji nanotechnologia.
- Stworzenie systemu kształcenia ustawicznego w obszarze nanotechnologii (kilkadziesiąt kursów rocznie) na potrzeby szkolnictwa wyższego oraz rozwijającego się przemysłu wykorzystującego nanotechnologie.
- Uruchomienie specjalistycznych laboratoriów będących zapleczem dydaktycznym dla nauki oraz sektora przedsiębiorstw (w tym 1–2 pomieszczenia o wysokiej czystości – *clean rooms*, dysponujące wyposażeniem analitycznym i technologicznym o najwyższym standardzie światowym).
- Powołanie kilku sieci współpracy złożonych z jednostek sektora badań, przemysłu, instytucji finansowych itd., związanych z nanotechnologią w celu zapewnienia efektywnej współpracy między nauką i gospodarką.
- Zintegrowanie rozproszonej aktywności ośrodków badawczych wokół wspólnego programu rozwoju nanotechnologii koordynowanego przez, przewidziany do powołania, instytut nanotechnologii lub inną jednostkę centralną.

<sup>27</sup> Zakończenie 7. Programu Ramowego UE, „Narodowy Plan Rozwoju na lata 2007–2013”, KBN. Warszawa 2004.

### **Korzyści wynikające z dynamicznego rozwoju nanotechnologii w Polsce**

Ze względu na specyfikę nanotechnologii, przejawiającą się głównie wysokim wkładem intelektualnym, dużą indywidualizacją poszczególnych przedsięwzięć, niewielką skalą wytwarzania, generującą jednak ogromną innowacyjność uzyskiwanych rozwiązań, możliwe do uzyskania w skali kraju efekty gospodarcze, społeczne i finansowe będą bardzo znaczące, m.in.:

- Dynamiczny rozwój gospodarki opartej na wiedzy.
- Efekty ekonomiczne wynikające ze sprzedaży, w skali krajowej i globalnej, produktów (np. nanomateriałów), zastosowania nowatorskich technologii (np. warstwy wierzchniej), wytwarzania specjalnych urządzeń technologicznych.
- Możliwość wykorzystania utworzonej infrastruktury, do prowadzenia badań w innych transdyscyplinarnych dziedzinach np. biotechnologii oraz upowszechnienie sieciowego charakteru współpracy pomiędzy ośrodkami badawczymi.
- Wzrost znaczenia Polski na arenie międzynarodowej dzięki zwiększonemu uczestnictwu w projektach i inicjatywach europejskich oraz nawiązaniu współpracy z instytucjami badawczymi, szkoleniowymi i przemysłem europejskim.
- Wzrost poziomu nauczania na polskich uczelniach dzięki inwestowaniu w rozwój kadry naukowej i dydaktycznej oraz ścisłej współpracy w tym zakresie z ośrodkami europejskimi (np. stworzenie systemu stypendiów zagranicznych w dziedzinie nanotechnologii).
- Wzrost popytu na produkty wykorzystujące wyniki badań w dziedzinie nanotechnologii dzięki zwiększeniu świadomości społecznej dotyczącej szans i zagrożeń płynących z ich wdrażania.

Opracowana Strategia dla Polski jest spójna z głównymi kierunkami rozwoju nanonauk i nanotechnologii wytyczonymi przez Unię Europejską w obszarach: badania i rozwój, infrastruktura, rozwój kadr, innowacje przemysłowe i wymiar społeczny.

### **Badania i rozwój**

Analiza stanu rozwoju nanonauk i nanotechnologii w Polsce na tle osiągnięć światowych i Unii Europejskiej wskazuje, że potencjał polskiej nauki jest skupiony głównie w dwóch obszarach badawczych: „Nanomateriały i kompozyty” oraz „Zjawiska i procesy w nanoskali”<sup>28</sup>.

Obszar „Nanomateriały i kompozyty” obejmuje zarówno badania podstawowe, jak i stosowane, natomiast obszar „Zjawiska i procesy w nanoskali” odnosi się przede wszystkim do badań podstawowych. O takiej strukturze potencjału polskiej nauki w zakresie nanonauk i nanotechnologii świadczy zarówno tematyka zrealizowanych w latach 2000–2005 projektów badawczych (ok. 75% projektów realizowanych w tych obszarach dotyczy nanomateriałów oraz badań podstawowych zjawisk i procesów), jak i liczba nadanych w latach 1998–2005 stopni naukowych (doktora: nauki techniczne – 60%, nauki fizyczne – 24%; doktora habilitowanego: nauki techniczne –

<sup>28</sup> Klasyfikacja opracowana przez Zespół stanowi załącznik w przypadku wykorzystania opisu strategii jako samodzielnego dokumentu.

44%, nauki fizyczne – 56%). Także udział polskich zespołów badawczych w międzynarodowej współpracy naukowej w dziedzinie nanonauk i nanotechnologii, w ramach 6 Programu Ramowego UE, dotyczy głównie problematyki zjawisk i procesów w nanoskali oraz nanomateriałów.

Postuluje się zatem, aby podstawą narodowej Strategii dla Polski w zakresie rozwoju nanonauk i nanotechnologii było skoncentrowanie działań organizacyjnych i wsparcia finansowego w najbardziej dotychczas znaczących obszarach badawczych: „Nanomateriały i nanokompozyty” oraz „Zjawiska i procesy w nanoskali”. Bezpośrednim oddziaływaniem strategicznym proponuje się objąć także nowe obszary: „Nanostruktury” oraz „Urządzenia w nanoskali”, ponieważ podobnie jak obszar „Nanomateriały i kompozyty” bazują na zaawansowanych badaniach podstawowych, otwierając jednocześnie szeroką perspektywę praktycznego wykorzystania wyników w wielu sektorach gospodarki.

Proponowane podstawowe obszary wsparcia strategicznego nanotechnologii są zatem następujące:

- Zjawiska i procesy w nanoskali,
- Nanostruktury,
- Nanomateriały i kompozyty,
- Urządzenia w nanoskali

oraz

- Nanoanalitika i nanometrologia,
- Procesy i urządzenia produkcyjne.

w zakresie niezbędnym do realizacji podstawowych obszarów strategicznych.

Szybkie uzyskanie światowego poziomu badań we wskazanych obszarach strategicznych jest warunkiem efektywnego rozwoju polskich nanonauk i nanotechnologii w ogóle oraz radykalnej poprawy innowacyjności polskiej gospodarki.

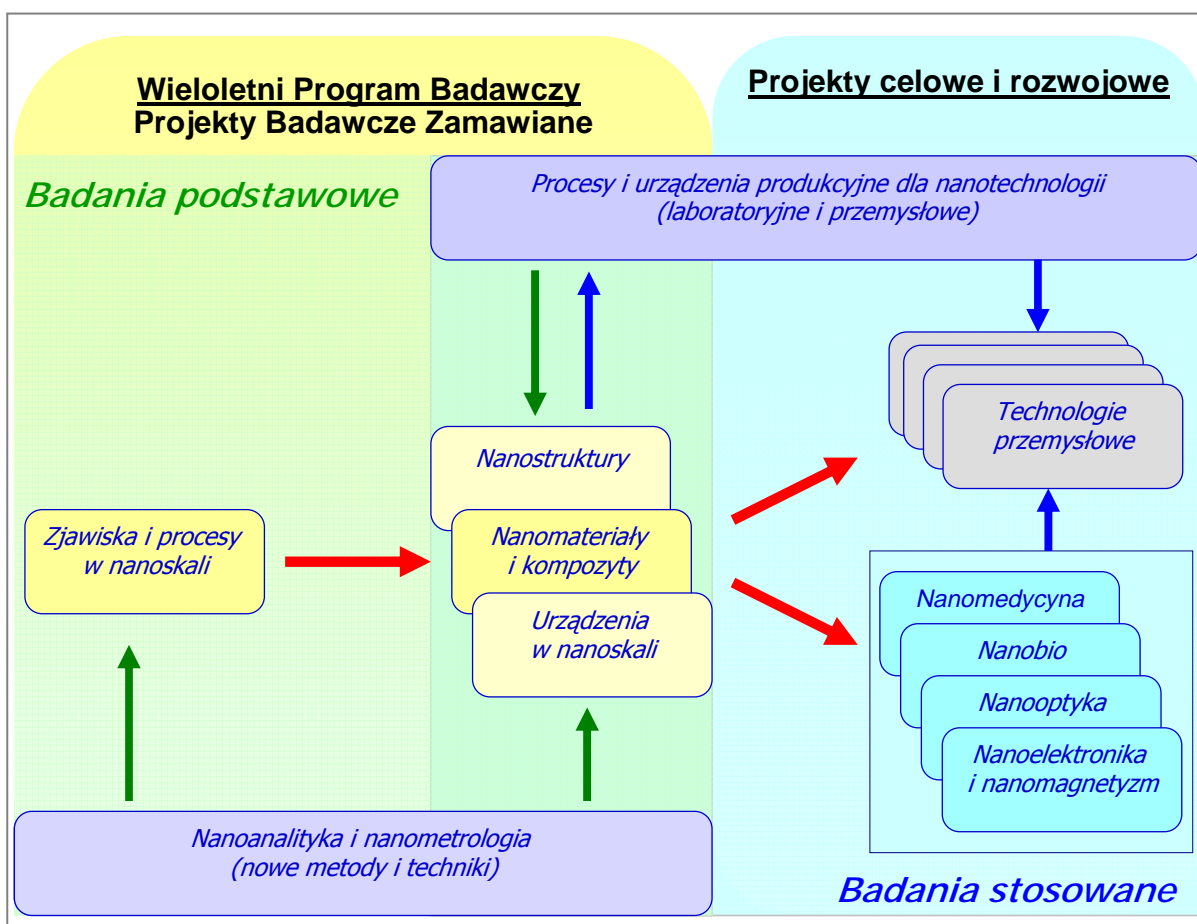
Priorytetowe kierunki badań podstawowych w obszarze nanonauk i nanotechnologii należy wspierać strategicznym mechanizmem w postaci programu wieloletniego i projektów zamawianych, a w obszarze potencjalnych aplikacji projektami celowymi i rozwojowymi.

Proponowaną strategię badań w zakresie nanotechnologii w Polsce przedstawiono na rys. 10.

Powiązania między strategicznymi obszarami badań są następujące: badania w obszarze „Zjawisk i procesów w nanoskali” tworzą podstawy badań w obszarach „Nanostruktury”, „Nanomateriały i kompozyty” oraz „Urządzenia w nanoskali”.

Rozwiązania uzyskane w obszarach „Nanostruktury”, „Nanomateriały i kompozyty” i „Urządzenia w nanoskali” mogą być bezpośrednio zastosowane w gospodarce lub w obszarach „Nanoelektronika i nanomagnetyzm”, „Nanooptyka”, „Nanobio” oraz „Nanomedycyna”. Wyniki osiągnięte w tych obszarach powinny być zastosowane na skalę przemysłową.





Rys. 10. Powiązania pomiędzy obszarami badawczymi w dziedzinie nanonauk i nanotechnologii

Za priorytetowe kierunki w poszczególnych obszarach przyjęto:

### 1. Zjawiska i procesy w nanoskali

- fizykochemiczne podstawy syntezy nanomateriałów i nanostruktur, o kontrolowanej architekturze i właściwościach,
- inżynieria wiązań atomowych i molekularnych,
- modele i teorie wyjaśniające właściwości nanomateriałów,
- podstawy informatyki kwantowej,
- zjawiska samoorganizacji w syntezie nanomateriałów i nanostruktur,
- zjawiska magnetyczne w nanostrukturach półprzewodnikowych i metalicznych.

### 2. Nanostruktury

- wytwarzanie nanostruktur funkcjonalnych (np.: membrany, kropki, druty i studnie kwantowe, nanorurki),
- nanostruktury specjalne (hybrydowe lub złożone, porowate),
- technologie wytwarzania nanocząstek.

### 3. Nanomateriały i nanokompozyty

- technologie wytwarzania nanomateriałów konstrukcyjnych (nanometali i nanokompozytów o pożądanych właściwościach),
- technologie wytwarzania nanomateriałów funkcjonalnych (magnetycznych, optycznych, elektrycznych, katalitycznych, włókienniczych),
- technologie wytwarzania nanowarstw i nanopokryć (nanokompozytowe, z barierą cieplną, przeciwzużyciowe i hydrofobowe, biokompatybilne).

### 4. Urządzenia w nanoskali

- urządzenia fotoniczne (np.: źródła światła, światłowody i kryształy fotoniczne),
- sensory i biosensory,
- manipulatory nanocząstek,
- nanofiltry.

### 5. Nanoanalitika i nanometrologia

- metody i urządzenia charakteryzacji nanostruktur i nanomateriałów.

### 6. Procesy i urządzenia produkcyjne dla nanotechnologii

- do syntezy nanocząstek i krystalitów,
- do produkcji nanometali,
- do produkcji nanokompozytów,
- do wytwarzania nanostruktur powierzchniowych,
- do produkcji nanostruktur półprzewodnikowych,
- zaawansowane podzespoły uniwersalne (źródła plazmy, źródła jonów, układy próżniowe, układy mikrofalowe, rozproszone systemy sterowania).

Wyróżnione strategiczne obszary badań należy wspierać działaniami z obszaru nauk społecznych i ekonomicznych, w których zgodnie z konwencją przyjętą przez Unię Europejską proponuje się wyróżnienie następującego pakietu badań:

### 7. Rozwój systemów badań i wdrożeń w dziedzinie nanotechnologii

- prognozowanie rozwoju nanonauk i nanotechnologii – *foresight* technologiczny,
- rozwój metod transformacji wiedzy i szybkiego transferu nanotechnologii w procesach projektowania i wytwarzania oraz integracji z innymi dziedzinami wiedzy,
- opracowanie i walidacja nowych modeli organizacji badań i strategii przemysłowych w zastosowaniach nanotechnologii,

- opracowanie metodologii tworzenia systemów informacyjnych oraz projektowanie i budowa otwartych baz danych w dziedzinie nanotechnologii,
- zarządzanie zaawansowanymi procesami badań i aplikacji nanotechnologii w wirtualnych sieciach współpracy,
- badanie efektywności kosztowej, ocena ryzyka i wpływ nanonauk i nanotechnologii na środowisko,
- rozwój systemów kształcenia ustawicznego i metod doskonalenia kwalifikacji w dziedzinie nanotechnologii,
- badania oddziaływania nanotechnologii na społeczeństwo.

Wymienione kierunki badawcze i aplikacyjne wyróżnione w ramach przyjętych obszarów strategicznych rozwoju nanonauk i nanotechnologii w Polsce powinny być objęte kompleksowym programem wieloletnim (2007–2013 r.), utworzonym przez Radę Ministrów RP.

W programie wieloletnim zostaną zaproponowane i wybrane w drodze konkursu i selekcji najważniejsze pytania naukowe integrujące duże grupy badawcze oraz zespoły wdrażające uzyskane wyniki badań w dziedzinie nanotechnologii.

### **Infrastruktura**

Przeprowadzona analiza wykazała, że na świecie występują dwa trendy w odniesieniu do rozwoju oraz zarządzania i wykorzystania infrastruktury w dziedzinie nanotechnologii, tj. podejście scentralizowane oraz rozproszone. Dotychczasowe doświadczenia wykazują, że największą efektywnością charakteryzuje się system, w którym powołuje się jednego krajowego koordynatora ds. rozwoju infrastruktury na potrzeby nanotechnologii. Jednakże ze względu na tradycję dużej samodzielności polskich ośrodków naukowych zrealizowanie podejścia scentralizowanego uznano za mało realne. Proponuje się zatem podejście mieszane, obejmujące:

- Utworzenie sieci specjalizowanych laboratoriów w obszarach uznanych za priorytetowe, spełniających wymogi certyfikacji wg standardów międzynarodowych. Laboratoria te, utworzone w wiodących ośrodkach badań z dziedziny nanonauki i nanotechnologii, powinny objąć zasięgiem swojej specjalizacji główne kierunki badawcze wyznaczone w Strategii oraz stanowić system komplementarny.
- Utworzenie scentralizowanego zaplecza doświadczalno-technologicznego, umożliwiającego weryfikację uzyskanych rozwiązań badawczych w skali półtechnicznej lub technicznej, usytuowanego w centrum zaawansowanych technologii (nanotechnologii) stanowiącego, ze względów organizacyjnych i finansowych, część większej jednostki, np. państwowego instytutu badawczego specjalizującego się w technologiach przemysłowych.

Istotnym elementem inicjatywy na rzecz rozwoju polskiej nanotechnologii jest identyfikacja informacji o posiadanej aparaturze i infrastrukturze laboratoryjnej. W tym celu należy zaprojektować i zaimplementować bazy danych integrujące informacje

o dostępnej w kraju aparaturze oraz zasadach jej użytkowania i wykorzystania. Należy stworzyć centralną bazę danych dotyczącą planowanych zakupów aparatury na potrzeby nanonauk i nanotechnologii ze środków budżetowych i unijnych funduszy strukturalnych. Niezbędne jest opracowanie systemu zakupów aparatury o najwyższych w skali światowej parametrach jakościowych i przeciwdziałanie dublowaniu wyposażenia w kilku ośrodkach oraz nabywaniu aparatury niskiej jakości.

Za priorytetowe zadanie strategii w obszarze infrastruktury uznano również stworzenie podwalin projektowania oraz produkcji aparatury badawczej (analitycznej i testowej) i specjalizowanych urządzeń technologicznych na potrzeby badań i aplikacji rozwijanych w ramach kierunków uznanych za strategiczne dla rozwoju polskiej nanotechnologii. Działalność projektowa i wytwórcza aparatury badawczej, dotychczas wyraźnie zaniedbywana w naszym kraju, kryje ogromne potencjalne możliwości koncepcyjne i wykonawcze, a przede wszystkim komercyjne, zwłaszcza w obszarze zaawansowanych nanotechnologii produktowych i procesowych.

Zgodnie ze strategią tworzenia społeczeństwa informacyjnego, niezbędne jest zaprojektowanie portalu informacyjnego, zarządzanego i rozwijanego centralnie, a także mającego powiązania operacyjne z podobnymi systemami informacyjnymi w Unii Europejskiej i na świecie. Serwis internetowy, od strony merytorycznej, zawierałby informacje specjalistyczne według przyjętego podziału, tj. badania, kształcenie, infrastruktura, działalność innowacyjna i produkcyjna, wymiar społeczny, w tym informację patentową oraz zagadnienia społeczne, organizacyjne itd. i powinien być prowadzony przez wskazane ośrodki specjalizujące się w danej problematyce.

Kompleksowa koordynacja działań w dziedzinie nanonauk i nanotechnologii powinna być realizowana centralnie w ramach wirtualnego instytutu nanotechnologii, którego komitet zarządzający powinien składać się z przedstawicieli wszystkich znaczących jednostek w kraju, członków sieci współpracy, reprezentujących priorytetowe kierunki badawcze, a także platform technologicznych, specjalizujących się w tematyce nanotechnologicznej lub pokrewnej. Komitet zarządzający i centrum koncepcyjne powinny być usytuowane, w planowanym do powstania, Narodowym Centrum Badań i Rozwoju lub innej Jednostce o wysokiej pozycji naukowej oraz silnym zapleczu organizacyjnym i finansowym, np. państwowym instytucie badawczym lub wiodącej placówce PAN.

### ***Rozwój kadr***

Najważniejszym elementem inicjatywy rozwoju nanonauk i nanotechnologii są działania strategiczne w obszarze kształcenia i doskonalenia kadr, stanowiące kluczowy czynnik sukcesu rozwoju nanotechnologii w Polsce.

Na świecie trwa ostra walka konkurencyjna o przyciągnięcie najlepszych kadr i młodych utalentowanych badaczy do pracy w nanotechnologii. Głównym celem rozwoju kadr jest, aby Polska również była atrakcyjnym miejscem pracy dla młodych ludzi i ekspertów z nanotechnologii w wybranych strategicznych kierunkach. Wymaga to przedstawienia atrakcyjnej oferty stypendialnej dla najlepszych studentów i doktorantów, wsparcia socjalnego, prowadzenia wykładów w języku angielskim oraz pozyskiwania kadr za granicą. Konieczne jest też ustanowienie grantów dla młodych naukowców posiadających potencjał do tworzenia wokół siebie grup naukowych.

Konieczne jest wykształcenie młodych kadr z solidnymi podstawami w zakresie nauk ścisłych i technicznych. W krótkiej perspektywie czasu możliwa jest modyfikacja systemu edukacji w postaci dołączenia do kanonu wiedzy ogólnoinżynierskiej kształcenia w zakresie zjawisk i procesów w nanoskali. Z kolei na kierunkach materiałowych oraz specjalnościach dotyczących zaawansowanych technologii jako wymóg określony w standardach dydaktycznych, powinien być wykładany przedmiot poświęcony nanotechnologiom. Na uczelniach wyższych niezbędna jest korekta standardów nauczania. Podstawy nanonauk i nanotechnologii powinny być wykładane na kursach magisterskich, a dalsza edukacja kontynuowana na studiach doktoranckich. Osiągnięcie tego celu wymaga dłuższego okresu zarówno ze względu na stworzenie nowych programów kształcenia, jak i dobór odpowiednio wykwalifikowanej kadry dydaktycznej. Należy uruchomić studia międzywydziałowe i studia doktoranckie w ośrodkach specjalnie przystosowanych do kształcenia w dziedzinie nanotechnologii, a także przedmiotów pokrewnych, np.: technologii wysokiej próżni.

W porównaniu ze Stanami Zjednoczonymi i krajami Unii Europejskiej, w Polsce mamy proporcjonalnie zbyt małą liczbę kursów dokształcających w dziedzinie nanotechnologii. Należy zapewnić, z uwzględnieniem strategicznych priorytetów badawczych, możliwość ustawicznego kształcenia kadr w zespołach interdyscyplinarnych poprzez organizację kursów i szkoleń z dziedziny nanotechnologii zarówno przez uczelnie wyższe, jak i jednostki badawcze.

Jeśli kształcenie naukowców odbywa się w ośrodkach zagranicznych, to istnieje problem reintegracji (powrotu kadry naukowej do rodzimego środowiska naukowego). Powinno się więc stworzyć w Polsce system czasowych (2–3 lata) stypendiów zagranicznych, zachęcających do powrotu i kontynuowania pracy naukowej w kraju. Należy także doskonalić kadrę dydaktyczną poza granicami kraju, a więc zapewnić możliwości uczestnictwa w kursach, szkoleniach, konferencjach, studiach doktoranckich itd. W krótkiej perspektywie należy zorganizować kursy on-line.

Za niezbędne należy uznać szybkie utworzenie edukacyjnego serwisu stanowiącego część krajowego portalu w zakresie problematyki nanotechnologii. Należy usprawnić dostęp do informacji o organizowanych kursach i szkoleniach, na przykład w postaci aktualności w edukacyjnym portalu internetowym. Zaleca się wyznaczenie jednostki (np.: państwowy instytut badawczy) odpowiedzialnej za zakres informacyjny i aktualizację treści umieszczanych w portalu dotyczącym nanotechnologii. Zaprojektowanie i wykonanie edukacyjnego serwisu internetowego nie wymaga dużych nakładów finansowych i może zostać zrealizowane w krótkim czasie.

W celu zwiększenia liczby publikacji w dziedzinie nanonauk i nanotechnologii należy w większym stopniu premiować pisanie podręczników i monografii na ten temat. Konieczne jest również bezpłatne udostępnianie publikacji w Internecie. W ramach inicjatywy rozwoju nanonauk i nanotechnologii w obszarze kształcenia i doskonalenia kadr należy zwrócić uwagę na konieczność podnoszenia świadomości społeczeństwa w dziedzinie nanotechnologii począwszy od najmłodszych.

Strategia w wymiarze edukacyjnym obejmuje nie tylko perspektywy średnio- i długoterminowe, których rezultaty widoczne będą dopiero w dłuższej perspektywie czasu, istotne są również działania natychmiastowe, np. stworzenie portalu internetowego.

## **Innowacje przemysłowe**

Nową sytuacją w polskim przemyśle jest coraz większa liczba firm stawiających na zaawansowane technologie jako warunek przetrwania w konkurencyjnej globalnej gospodarce.

Nadrzędnym więc celem rozwoju badań i wdrażania rozwiązań nanotechnologicznych w polskim przemyśle powinno być opracowanie i wprowadzenie na rynek nowych wyrobów z tego obszaru. Nanotechnologie i powstałe w wyniku ich zastosowania produkty mieszczą w sobie: zaawansowaną wiedzę technologiczną, konfigurowalną funkcjonalność wyrobów i materiałów oraz kreują wysoką wartość dodaną.

Realizacja strategii stworzy sytuację, w której zainteresowane polskie firmy będą znajdowały wsparcie technologiczne w polskich laboratoriach, co spowoduje powstanie nowych, wysoko specjalizowanych miejsc pracy.

Bardzo ważnym działaniem we wszystkich rozwiniętych krajach w zakresie implementacji zaawansowanych technologii jest integracja sektora badań i sektora przemysłu. Również w Polsce należy zacieśnić współpracę między tymi dwoma sektorami. W celu nawiązania współpracy postuluje się uruchomienie programów badawczych, prowadzonych przez jednostki naukowo-badawcze oraz obligatoryjnie przez przedstawicieli sektora MSP i większych przedsiębiorstw, z zagwarantowanym udziałem finansowym, podobnie jak ma to miejsce w programach ramowych UE. Skutecznym mechanizmem powinien być ukierunkowany na nanotechnologie program wieloletni, wiążący potrzeby przemysłu z potencjałem sektora naukowo-badawczego. Stworzenie systemu projektów zorientowanych na transfer technologii ze skali laboratoryjnej na przemysłową przyczyni się do zwiększenia liczby wdrożeń w dziedzinie nanotechnologii. Jednostki, które z powodzeniem zrealizują niewielkie projekty zakończone praktycznym wdrożeniem wyników, powinny uzyskać priorytet w realizacji zadań o znacznie większym dofinansowaniu budżetowym.

Dla stworzenia odpowiednich warunków finansowych do prowadzenia badań ukierunkowanych na wykorzystanie w małych i średnich przedsiębiorstwach potrzebne są rozwiązania systemowe, pociągające za sobą np. zmiany w prawie podatkowym, a więc ulgi podatkowe dla przedsiębiorców podejmujących współpracę z sektorem badań lub prowadzących badania naukowe. Należy promować i popierać prezentację wyników badań w czasie giełd technologii. Działalność szkoleniowa i skuteczne transfery nanotechnologii do firm zwiększą chłonność przemysłu na nowe technologie i przyczynią się do wzrostu świadomości korzyści wynikających ze współdziałania sektora nauki i przemysłu.

Wyniki badań w zakresie nanotechnologii będą również wdrażane w jednostkach organizacyjnych tworzonych przy instytutach badawczych, w firmach typu *spin-off*, przedsiębiorstwach działających w parkach technologicznych, centrach zaawansowanych technologii, centrach przemysłowych, państwowych instytutach badawczych oraz zainteresowanych MSP.

Proponuje się stworzenie bazy danych w celu bieżącego informowania sektora nauki o generowanych przez przemysł potrzebach zarówno w dziedzinie innowacyjnych badań rozwojowych, jak i konieczności uzupełnienia podstaw teoretycznych wykorzystywanych przy opracowywaniu nanotechnologii produkcyjnych. Informacje na

temat wdrożeń rozwiązań z zakresu nanotechnologii do praktyki przemysłowej oraz firm wdrażających je powinny być dostępne w ramach zintegrowanego portalu internetowego.

W wyniku analiz stwierdzono, że nie ma potrzeby powoływania jednostki do koordynacji działań w przemyśle, funkcję tę powinny spełniać platformy technologiczne, a w wymiarze regionalnym klastry technologiczne. Należy więc integrować i koordynować działania oraz cele badawcze o charakterze krajowym i regionalnym (RSI)<sup>29</sup>, co pozwoli na właściwe wykorzystanie funduszy strukturalnych.

Należy uruchomić promocyjne, specjalizowane ekspozycje w dziedzinie nanotechnologii na najbardziej prestiżowych wystawach innowacji i nowych technologii (np. specjalna oferta na Międzynarodowych Targach Poznańskich, Innowacje-Maszyny-Technologie).

Za najważniejsze elementy postępu w innowacjach przemysłowych w dziedzinie nanotechnologii uznano: wymianę informacji (giełdy, targi, szkolenia, wizyty), kształcenie ustawiczne (naukowcy o biznesie i przemysł o badaniach w dziedzinie nanotechnologii), system finansowy (podatki stymulujące dynamiczny rozwój przedsiębiorstw w tym obszarze) oraz mobilizację przemysłu dla formułowania przyszłych kierunków badań.

### **Wymiar społeczny**

W Polsce powinny zostać opracowane uregulowania prawne, normujące rozwój nanonauk i nanotechnologii, uwzględniające istniejące polskie przepisy prawne, określające warunki pracy laboratoriów i jednostek przemysłowych, a jednocześnie wykorzystujące w tym zakresie doświadczenie innych krajów. Uregulowania prawne w Polsce powinny m.in.: określać zasady prowadzenia badań w laboratoriach, wykorzystania ich wyników oraz zobowiązać producentów wyrobów wykorzystujących nanotechnologię do informowania klientów o skutkach korzystania z oferowanych produktów.

Należy wprowadzić przedstawicieli Polski do europejskich komitetów naukowych w dziedzinie bezpieczeństwa konsumentów, zdrowia publicznego i ochrony środowiska oraz etyki. Należy również powołać zespół (koordynowany np. przez państwowy instytut badawczy) w celu opracowania propozycji polskich aktów prawnych oraz norm w tym zakresie. W skład zespołu powinni wejść naukowcy, przemysłowcy oraz prawnicy. W celu zapewnienia dostępu do informacji o wszystkich aspektach nanotechnologii oraz wypracowania spójnych uregulowań prawnych niezbędna jest współpraca zespołu z zagranicznymi instytucjami o podobnym charakterze. Akty krajowe muszą być spójne z uregulowaniami UE, które należy śledzić na bieżąco i adaptować do polskiego systemu prawnego.

Istotne znaczenie ma także, skierowana do społeczeństwa, szeroko zakrojona akcja informacyjna, dotycząca szans i zagrożeń rozwoju nanotechnologii. Ma ona sprzyjać tworzeniu korzystnego klimatu dla rozwoju tej dziedziny wiedzy. Akcja może być prowadzona z wykorzystaniem środków przekazu, poprzez udział w targach, organi-

<sup>29</sup> Regionalne Strategie Innowacji.

zację konferencji i warsztatów adresowanych nie tylko do naukowców, ale przede wszystkim do przedstawicieli przemysłu, rządu, mediów itd.

Najważniejszym elementem w tym obszarze zainteresowań nanotechnologii są zatem: stworzenie spójnego systemu prawnego zgodnego z wymogami unijnymi i własne inicjatywy w tym zakresie oraz włączenie nauk społecznych i ekonomicznych w tematykę nanotechnologii.

### **Propozycje działań organizacyjnych**

Dla zrealizowania założonych celów, w ramach wymienionych pięciu obszarów aktywności dla dynamicznego rozwoju nanotechnologii w skali kraju, niezbędne jest podjęcie odpowiednich działań organizacyjnych.

Proponuje się zatem:

- **Przeprowadzenie pełnego rozpoznania stanu nanotechnologii w Polsce.** Niniejszy dokument stanowi opracowanie eksperckie. W ramach Programu Wieloletniego PW-004<sup>30</sup> (w zakresie zadań Służb Państwowych) oraz uruchamianego programu „Foresight materiałowy” należy kontynuować identyfikację, badania analityczne i syntezę oraz doprowadzić do zaprojektowania portalu internetowego. Należy powołać PBZ skierowany specjalnie na stworzenie dalekosiężnej wizji rozwoju nanotechnologii w Polsce, np. pod nazwą *Roadmapping&Foresight Nano*. Ekspertyza ta powinna ująć szczególnie kwestię integracji ze środowiskiem medycznym, biofizycznym i biochemicznym (*krótki okres – sukcesywnie do końca 2007 r.*).
- **Powołanie ośrodka sterującego – instytutu nanotechnologii** utworzonego przy istniejącym (np.: państwowym instytucie badawczym, specjalistycznym ośrodku PAN). Instytut taki w początkowym okresie, a może również docelowo, powinien mieć formułę sieci wirtualnej (*krótki okres – do końca 2007 r.*).
- **Uruchomienie strategicznego programu finansowania nanotechnologii z budżetu państwa** (w ramach np. programu wieloletniego obejmującego wybrane kierunki priorytetowe) o strukturze zbliżonej do Programów Ramowych UE (podobna tematyka, udział przemysłu w projektach, podobne mechanizmy). W Programie należy postawić warunek doświadczalnej weryfikacji wyników w praktyce gospodarczej. Program Wieloletni powinien mieć zapewnione finansowanie na poziomie zbliżonym do występującego w innych krajach unijnych – 200–300 mln PLN w okresie 5–7 lat. Program taki może m.in. przejmować tematy, które zostały pozytywnie ocenione, ale nie przyjęte do finansowania przez Komisję Europejską. Zarys tematyki badawczej takiego Programu Wieloletniego NANO powinien być opracowany i złożony w Ministerstwie Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ciągu kilku miesięcy (*krótki okres – do połowy 2007 r.*).

<sup>30</sup> Pod nazwą „Doskonalenie systemów rozwoju innowacyjności w produkcji i eksploatacji w latach 2004–2008” ustanowionej Uchwałą Nr 97/2004 Rady Ministrów z dnia 21 kwietnia 2004 r.



- **Powołanie Interdyscyplinarnego Zespołu Roboczego do spraw Nanonauki i Nanotechnologii przy Ministerstwie Nauki i Szkolnictwa Wyższego.** W skład takiego zespołu weszliby specjaliści reprezentujący różne kierunki badań w obszarze nanotechnologii oraz kierunków interdyscyplinarnych. Do głównych zadań Zespołu należałaby: koordynacja Programu Wieloletniego NANO, wyznaczanie priorytetów badawczych w obszarze nanonauk i nanotechnologii, podział budżetu, ocena projektów (*krótki okres – do połowy 2007 r.*).
- **Uruchomienie programów badawczych realizowanych wspólnie i w skoordynowany sposób przez kilka ośrodków badawczych, jak i przemysł.** Należy stworzyć podstawy formalne uruchamiania i realizacji projektów rozwojowych i badawczych zamawianych przez zespoły składające się z przedstawicieli nauki i gospodarki. Niezbędne jest wprowadzenie do Krajowego Programu Ramowego priorytetów dotyczących nanotechnologii oraz ustanowienie takich priorytetów w obszarze projektów celowych (*średni okres – sukcesywnie – 3–5 lat*).
- **Utworzenie sieci specjalizowanych laboratoriów badawczych.** Laboratoria te powinny objąć zasięgiem swojej specjalizacji główne kierunki Strategii, powinny być komplementarne w zakresie przyjętych kierunków strategicznych i udostępniać posiadaną aparaturę uczestnikom sieci na warunkach preferencyjnych, a innym potencjalnym użytkownikom na warunkach w pełni komercyjnych (*średni okres – sukcesywnie do 2010 r.*).
- **Utworzenie centralnego banku danych o infrastrukturze badawczej i aparaturze.** W banku należy zgromadzić informacje dotyczące dostępnej w kraju aparatury, umożliwiającej realizację zadań z dziedziny nanonauk i nanotechnologii. Baza danych powinna obejmować również informacje o planowanych zakupach w celu eliminacji ich dublowania lub podejmowania wspólnych przedsięwzięć inwestycyjnych, dotyczących zakupu lub wytworzenia aparatury o wyższych parametrach jakościowych (*krótki okres – sukcesywnie do końca 2007 r.*).
- **Utworzenie zintegrowanego portalu internetowego oraz baz danych związanych z tematyką nanotechnologii.** Portal powinien obejmować kompleksowe informacje z obszarów: badania i rozwój, infrastruktura, rozwój kadr, innowacje przemysłowe oraz wymiar społeczny, a także dane dotyczące działalności patentowej i praw własności intelektualnej. Od strony narzędziowej (informatycznej) powinien być administrowany centralnie (np. państwowy instytut badawczy), od strony merytorycznej prowadzony przez ośrodki wyspecjalizowane w poszczególnych obszarach tematycznych (*krótki okres – sukcesywnie do połowy 2007 r.*).
- **Stworzenie systemu międzynarodowych studiów doktoranckich i procedur ich finansowania.** Wprowadzenie systemu przyznawania grantów dla wybitnie zdolnych naukowców, jak np. niemieckie nagrody Leibniza oraz grantów na powroty z zagranicy, a także systemu studiów doktoranckich wprowadzonego na wzór Wielkiej Brytanii – Interdisciplinary Research Collaborations (IRCs) (*średni okres – sukcesywnie do 2010 r.*).
- **Opracowanie i wdrożenie systemu współpracy Zespołu Roboczego do spraw Nanonauki i Nanotechnologii z Krajowym Punktem Kontaktowym,** pozwalającego na uzyskanie z KPK informacji nt. projektów w dziedzinie nanotechnologii składanych z udziałem zespołów polskich w trybie *on line* oraz przekazywanie przez KPK pro-

pozycji polskiego środowiska naukowego do *workprogramme'ów* kształtowanych w Programach Ramowych UE (*krótki okres – sukcesywnie do połowy 2007 r.*).

- **Stworzenie systemu zwiększania udziału Polski w gremiach decyzyjnych Programów Ramowych UE** (*krótki i średni okres – sukcesywnie w ciągu najbliższych 3–5 lat*).
  - zwiększenie liczby przedstawicieli Polski w gremiach doradczych i decyzyjnych UE (aktywni, dobrze poinformowani o stanie i potrzebach w zakresie nano w Polsce i możliwościach organizacyjnych i finansowych programów europejskich) oraz usprawnienie i rozszerzenie ich współpracy z polskim środowiskiem naukowym (wymiana informacji, wprowadzenie do *workprogramme'ów* tematyki spójnej z polityką naukową UE, w której Polska posiada istotne osiągnięcia);
  - wprowadzenie przejrzystego systemu dot. kompetencji, zadań, sprawozdawczości i rozliczania polskich przedstawicieli w strukturach UE;
  - podjęcie działań na rzecz poprawy jakości przygotowywanych wniosków projektów międzynarodowych (np.: organizacja szkoleń w pisaniu projektów, utworzenie klubu uczestników programów ramowych doświadczonych w składaniu, a szczególnie realizacji projektów unijnych oraz klubu recenzentów projektów europejskich);
  - budowanie sojuszy z przedstawicielami innych krajów dla wzmocnienia pozycji przetargowej przy wyznaczaniu i zatwierdzaniu priorytetów w programach ramowych;
  - promowanie zawierania bilateralnych umów międzynarodowych w dziedzinie nanotechnologii;
  - podwyższenie efektywności działania wyspecjalizowanych jednostek na uczelniach, w instytutach oraz placówkach PAN w zakresie poszukiwania partnerów do podejmowania i współfinansowania badań oraz realizacji wdrożeń;
  - wprowadzenie specjalnego systemu premiowania (na okres przejściowy, np. 5 lat) zespołów badawczych, realizujących projekty nanotechnologiczne w skali międzynarodowej, np. przy okazji parametryzacji jednostek.
- **Zmiana struktury finansowania badań** (*krótki i średni okres – sukcesywnie w ciągu 3–5 lat*)
  - zwiększenie prywatnych inwestycji w innowacje w dziedzinie nanotechnologii. Wprowadzenie systemu podatkowego wiążącego interesami przedsiębiorstwa sektora MSP z nauką, np. wprowadzenie ulg podatkowych dla firm stale wydających duże sumy na prace badawczo-rozwojowe oraz podejmujących wdrożenia innowacji, a nie tylko ulg w danym roku dla firm, które zwiększyły swoje wydatki na B+R w porównaniu z poprzednim rokiem;
  - uruchomienie skutecznych mechanizmów stymulujących przedsiębiorstwa do uczestnictwa i partycypowania w kosztach projektów wdrożeniowych w dziedzinie nanotechnologii, np. obligatoryjne uczestnictwo przemysłu w projektach badawczo-rozwojowych zapewni lepsze ukierunkowanie opracowywanych technologii na ich komercyjne wykorzystanie;
  - wprowadzenie ulg podatkowych dla zachęcenia pracodawców do zapewnienia swoim pracownikom możliwości kształcenia ustawicznego oraz współpracy

z naukowcami – inicjatywy promujące uczenie się w ciągu trwania całej kariery dla sprostania gwałtownie zachodzącym zmianom w nauce, technologiach i spełnienia nowych wymogów rynku pracy.

Z innych zalecanych działań organizacyjnych należy wymienić:

- eliminowanie barier biurokratycznych, które powinny być tak modyfikowane, aby zapewnić maksymalną szybkość działań (np. ustanowienie formuły „projektów błyskawicznych” – na wzór Wielkiej Brytanii – których rozpatrzenie trwa nie dłużej niż 1 miesiąc);
- przyspieszenie i poprawę jakości recenzowania projektów (max. 3 miesiące na decyzję o przyjęciu lub odrzuceniu projektu, zwiększenie obiektywności oceny projektów poprzez udział recenzentów zagranicznych);
- zwiększenie konkurencyjności środowiska naukowego przez zatrudnianie naukowców z zagranicy oraz powracających do kraju po stażach zagranicznych oraz podwyższenie wymagań zawodowych, m.in. poprzez rotację kadr na uczelniach i w instytutach oraz konsekwentny system emerytalny;
- radykalne usprawnienie systemu przyznawania patentów.

Opracowana strategia powinna być na bieżąco, dynamicznie dostosowywana do nowych wyzwań gospodarczych, nowych odkryć naukowych, nowych warunków politycznych i społecznych, nowych propozycji środowiska uczonych i specjalistów-praktyków. Jej wdrożenie powinno służyć budowie zaawansowanego społeczeństwa wiedzy i zapewnieniu Polsce czołowego miejsca wśród krajów rozwijających nanonauki i czerpiących znaczące korzyści ekonomiczne z aplikacji rozwiązań nanotechnologicznych w skali globalnej.

**PROPOZYCJA ZWIĘKSZENIA UDZIAŁU POLSKI  
W 7. PROGRAMIE RAMOWYM  
W DZIEDZINIE NANONAUK I NANOTECHNOLOGII**

**P**rzeprowadzone analizy<sup>31</sup> wykazały, że znaczący spadek zainteresowania polskich zespołów uczestnictwem w programach ramowych wynika przede wszystkim z następujących przesłanek:

- niskich współczynników sukcesu w 5. i 6. PR, szczególnie w zakresie wysokości finansowania badań,
- bardzo dużej czasochłonności poznania procedur opracowania i realizacji projektów międzynarodowych oraz pracochłonności przygotowania wniosków,
- braku znajomości zasad oceny, rozliczania i finansowania projektów europejskich,
- niedostatecznego doświadczenia polskich organizacji badawczych w przygotowaniu projektów oraz lobbowaniu w Komisji Europejskiej ważnych dla Polski kierunków badań,
- problemów z wygenerowaniem wkładu własnego w przypadku realizacji kilku projektów europejskich,
- niedostatku sprawdzonych partnerów chętnie podejmujących współpracę w projektach europejskich,
- słabych związków nauki z gospodarką i małego zainteresowania przemysłu uczestnictwem w badaniach rozwojowych (prace realizowane są głównie na rzecz jednostek przemysłowych spoza kraju),
- braku strategicznych zintegrowanych inicjatyw przemysłu,
- trudności z dopasowaniem problematyki *workprogramme*’ów do potrzeb naszego kraju.

Zaproponowane w opracowanej Strategii kierunki rozwoju nanotechnologii w Polsce są w pełni zbieżne z priorytetami Unii Europejskiej, przede wszystkim wyznaczonymi w czwartym priorytecie 7. Programu Ramowego, pn.: *Nanonauki, nanotechnologie, materiały i nowe technologie produkcyjne*. Wśród tematów objętych priorytetami 7. Programu Ramowego, proponowanych, zgodnie z opracowaną strategią, do intensywnego rozwoju w Polsce, należy wymienić:

- zjawiska i procesy w nanoskali (pełna zbieżność z propozycjami strategii),
- nanostruktury oraz nanomateriały i kompozyty (istotna zbieżność z propozycjami strategii),
- urządzenia w nanoskali (pełna zbieżność z propozycjami strategii),
- nanoanalitka i nanometrologia (istotna zbieżność z propozycjami strategii),

---

<sup>31</sup> A. Siemaszko, J. Supel, „Uczestnictwo polskich zespołów w Programach Ramowych Badań, Rozwoju Technologii i Wdrożeń UE”. Tezy do dyskusji na konferencję „Uczestnictwo w Programach Ramowych UE” Analiza uczestnictwa w 6.PR – przygotowania do 7.PR. Krajowy Punkt Kontaktowy Programów Badawczych UE. Warszawa, kwiecień 2006.

- procesy i urządzenia produkcyjne dla nanotechnologii (istotna zbieżność z propozycjami strategii).

Przewidziane w Strategii kierunki aplikacyjne w ramach nanoelektroniki i nanomagnetyzmu, nanooptyki, nanobio i nanomedycyny w 7. Programie Ramowym zostały zaprogramowane jako działania sektorowe i międzysektorowe, co również oznacza zgodność z opracowaną Strategią.

W celu efektywnego zwiększenia polskiego udziału nanonauk i nanotechnologii w programach unijnych, przede wszystkim w programach ramowych, niezbędne jest przeprowadzenie działań o charakterze merytorycznym oraz organizacyjnym i politycznym.

Działania o charakterze merytorycznym dotyczą głównie rozpoznania i bieżącego śledzenia stanu wiedzy w dziedzinie nanotechnologii na świecie, rozpoznania zakresu tematycznego prowadzonych prac oraz potencjału kluczowych instytucji w dziedzinie nanotechnologii, uzyskania dostępu do dotychczas opracowanych raportów z tej dziedziny, a przede wszystkim solidnego opracowania wniosków projektowych oraz budowy komplementarnych i interdyscyplinarnych konsorcjów do realizacji projektów.

Do najważniejszych prac o charakterze organizacyjnym, ukierunkowanych na zwiększenie udziału polskich zespołów w programach ramowych, należą działania prowadzone ze wsparciem powołanych w kraju (Krajowy Punkt Kontaktowy) lub planowanych do powołania w najbliższej przyszłości (Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Instytut Nanotechnologii) instytucji statutowo wspierających procesy transformacji wiedzy i transferu zaawansowanych technologii, w tym nanotechnologii i współpracę zagraniczną.

Działania struktur organizacyjnych powinny obejmować propozycje ujęte w narodowej strategii wzmocnienia aktywności naukowej i aplikacyjnej w dziedzinie nanonauk i nanotechnologii, w tym w szczególności:

- przeprowadzenie szerokiej i skutecznej akcji informacyjno-szkoleniowej,
- wzmocnienie współpracy między sferą badań i przedsiębiorstwami w kraju, a także włączanie polskiego przemysłu w europejskie inicjatywy badawczo-technologiczne; zagadnienie to nabiera szczególnego znaczenia ze względu na nasilanie się w kolejnych programach ramowych trendu koncentracji nakładów na inicjatywy podporządkowane europejskiemu przemysłowi,
- skoncentrowanie się na wybranych zintegrowanych inicjatywach technologicznych, zogniskowanych na polskich potrzebach gospodarczych, przekazanie ich do dalszego rozpoznania do polskich platform technologicznych, a następnie, poprzez inicjatywy podjęte w platformach europejskich, wprowadzenie ważnej dla Polski tematyki do 7. PR,
- integrację istniejących w Polsce Centrów Doskonałości i włączenie ich w sieci europejskie,
- większe wykorzystanie funduszy strukturalnych do budowy infrastruktury polskiej sfery badawczej i aplikacyjnej w dziedzinie nanotechnologii,

- wspieranie istniejących i wprowadzanie nowych form kształcenia młodych naukowców,
- budowę środowiska organizacyjnego, prawnego i finansowego sprzyjającego podejmowaniu współpracy zagranicznej i pogłębianiu integracji europejskiej,
- silniejsze merytoryczne wsparcie dla zespołów przygotowujących projekty europejskie oraz skuteczna pomoc w tworzeniu konsorcjów międzynarodowych.

W zakresie działań o charakterze administracyjnym i politycznym prowadzonych przez przedstawicieli Polski w strukturach unijnych, do najważniejszych zagadnień należą:

- podniesienie skuteczności działania przedstawicieli Polski, udzielanie im wsparcia merytorycznego i informacyjnego w strukturach doradczych UE, w tym m.in. opracowanie i wdrożenie zasad kontaktów ze środowiskiem naukowym, umożliwiających uwzględnienie jego potrzeb w priorytetach programów ramowych oraz efektywne upowszechnianie informacji stanowiących wynik prac członków struktur europejskich,
- lobbing tematyki badań istotnej z punktu widzenia polskiej nauki i przemysłu oraz promowanie projektów z udziałem polskich zespołów przez przedstawicieli Polski w gremiach decyzyjnych UE oraz za pośrednictwem polskich eurodeputowanych, w oparciu o opracowaną strategię,
- włączenie przedstawicieli Polski do gremiów recenzujących projekty (szczególnie na etapach finalnych) i podejmujących decyzje o przyjęciu projektów do finansowania przez Komisję Europejską oraz efektywne wykorzystanie doświadczeń tych przedstawicieli, np. przez utworzenie ich klubu w celu wymiany i przekazywania doświadczeń krajowym jednostkom naukowym i badawczo-rozwojowym,
- włączenie polskich przedstawicieli do grup roboczych i organów zarządzających w kluczowych dla Polski Europejskich Platformach Technologicznych,
- włączenie polskich pracowników do etatowej pracy w Dyrektoracie Generalnym ds. Badań<sup>32</sup> szczególnie w obszarze priorytetu czwartego 7. PR, obejmującego m.in. tematykę nanotechnologii.

Dla zapewnienia większej reprezentacji polskich zespołów badawczych i przemysłowych w projektach unijnych niezbędne jest przede wszystkim składanie, przez znaczące w danej dziedzinie konsorcja, profesjonalnie przygotowanych wniosków projektów. Istotne znaczenie ma także zaproponowane w strategii skorelowanie tematyki prowadzonych w Polsce prac w dziedzinie nanotechnologii z priorytetami najważniejszych unijnych programów badawczych oraz podjęcie działań umożliwiających wpływ na wyznaczanie priorytetów tematycznych w programach europejskich w przyszłości. Dla realizacji tych celów niezbędny jest rozwój kompetencji zespołów opracowujących projekty i ścisła współpraca z krajowymi strukturami wspomagającymi polskie zespoły w występowaniu o środki unijne oraz z reprezentantami Polski w gremiach decyzyjnych UE.

<sup>32</sup> Ang. *Directorate-General for Research*.

**STRATEGY FOR THE REINFORCEMENT  
OF POLISH RESEARCH AND DEVELOPMENT  
AREA IN THE FIELD OF NANOSCIENCES  
AND NANOTECHNOLOGIES**



Nanosciences and nanotechnologies constitute one of the greatest developing areas of the human creative activity nowadays, and they have become the driving force for the world economy. In the next decades nanotechnology will be the priority direction in the development of science and technology in the world and will find highly effective economic applications in the economy. In Poland, due to scientific and infrastructure potential and well-educated and professionally experienced staff, nanotechnology should be developed as the priority direction of science and economy.

The aim of our document is to present the proposal of a national strategy of nanotechnology for Poland. The main reason for the elaboration of this strategy is that Poland has to face the challenges of the world scientific and technological competitors in order to gain a meaningful position in the global economy. In the document, the strategic aims to be achieved were proposed, priority directions of scientific research were presented and mechanisms for the realisation of tasks aimed at the development of nanosciences and nanotechnologies in Poland were proposed. In order to achieve success in this field of knowledge and practice, a multidisciplinary approach, as well as the co-operation of the government, scientific institutions and industry is needed.

The main objective of the strategy in the field of nanosciences and nanotechnologies is to achieve a significant competitive potential in the European arena in the indicated directions of research and applications by the year 2013<sup>1</sup>. Nanotechnologies should contribute considerably to the economic and scientific development of the country.

The priority of the strategy of nanosciences and nanotechnologies in Poland is the development, co-ordination and management of the national system of research, infrastructure, education and industry in this field in the short-, medium- and long-term perspective.<sup>2</sup> This will allow the maximisation of positive economic, scientific and social objectives. However, an effective implementation of the strategy requires integrated systemic activities comprising, first of all, the indicated field of activity and the intensification of the international co-operation.

The proposed strategy takes into consideration the results of the SWOT analysis (Appendix 1) that was carried out, which shows weak and strong points of nanosciences and nanotechnologies as well as opportunities and threats concerning the development of this area of knowledge and practice in Poland.

### ***Strategic conditions for the development of nanotechnology in Poland***

- In the world, nanotechnology is in the stage of an intensive development and is recognised as a highly commercially and scientifically attractive sector. Therefore, we can expect that new fields of activity in this area of knowledge will dynamically

---

<sup>1</sup> Completion of the EU FP7, "The National Development Plan for the years 2007–2013", State Committee for Scientific Research. Warsaw 2004.

<sup>2</sup> Short term – 1–3 years, medium term 3–7 years, long term – over 7 years.

appear. As a result, new opportunities for Polish science and economy will arise that will enable Poland to make up for technological backwardness and gain a competitive advantage in the selected strategic areas.

- There are real opportunities for increasing the range of the financing of the nanotechnology sector in Poland from budget and business resources, in particular from structural funds. There are nanotechnology areas that do not require large financial outlays for implementation and this makes it quite possible to quickly catch up with the world leaders.
- Poland has well-educated and experienced staff in the field of basic sciences (mathematics, physics, chemistry, computer science) who constitutes a fundamental intellectual potential for the development of nanotechnology in Poland.
- The applications of nanotechnology solutions, in particular in the field of nanomaterials, require relatively low financial means (despite the high degree of risk), and they can be introduced even on a large scale, both in the SME sector and in large corporations.
- The existing infrastructure used in material engineering, microelectronics, chemistry, molecular biology and computer science can be successfully applied in the field of nanotechnology.

#### ***Main objectives to be achieved as a result of strategy realisation (by 2013)***

- The development of several dozen products with high added value, making use of nanotechnologies and competitive at the world scale.
- The creation and commercialisation to world markets of several dozen technologies and manufacturing devices for the production of nanomaterials.
- The development of the education system in the field of nanotechnology that would make it possible to educate several hundred specialists yearly.
- Educating of about 20-30 doctors yearly in the specialisation of nanotechnology at the level meeting the highest educational standards in the world.
- The creation of a continuing education system in the field of nanotechnology (several dozen courses yearly) for the needs of higher education and the developing industry using nanotechnologies.
- Building of specialist laboratories which would constitute an educational backup for the science and industrial sector (including 1 or 2 clean rooms with analytical and technological equipment of highest world standard).
- Establishing several co-operation networks consisting of research and industrial units, financial institutions, etc. related to nanotechnology with the aim to ensure successful collaboration between science and economy.
- Integrating of dispersed activity of research units in a joint programme of nanotechnology development co-ordinated by a nanotechnology institute, the establishment of which is envisaged in the future or another central institution.

### ***The benefits resulting from the dynamic development of nanotechnology in Poland***

Due to the specificity of nanotechnology, which is manifested mainly in high intellectual input, considerable individualisation of particular undertakings and not very large scale of manufacturing, which, however, generates great innovativeness of the obtained solutions, the economic, social and financial results possible to be achieved in Poland will be of high importance, for example:

- Dynamic development of knowledge-based economy.
- Economic results from the sale of products in Poland and in the world (e.g. nanomaterials), from the application of advanced technologies (e.g. surface engineering) and from the development of special technological devices.
- The use of the created infrastructure for research in other transdisciplinary areas, e.g. biotechnology, and the dissemination of the network-type co-operation between research units.
- The increase of Poland's position in the international arena resulting from its greater participation in European projects and initiatives, as well as from the collaboration with European research, training and industrial partners.
- The increase in the standard of the teaching level in Polish universities as an effect of the investment in the development of the academic staff and close co-operation with European institutions active in this field (e.g. the creation of scholarship systems in the field of nanotechnology).
- Greater demand for products using the research findings in the field of nanotechnology, resulting from a greater social awareness of opportunities and threats concerning their implementation.

The strategy for Poland is consistent with the directions of the development of nanosciences and nanotechnologies established by the European Union in the following areas: research and development, infrastructure, staff development, industrial innovations and the social dimension.

### ***Research and development***

The analysis concerning the development stage of nanosciences and nanotechnologies in Poland against the backdrop of global and EU achievements indicates that the potential of Polish science is mainly concentrated in two research areas: "Nanomaterials and composites" and "Nanoscale phenomena and processes"<sup>3</sup>

The area "Nanomaterials and composites" comprises both basic and applied research, whereas the area "Nanoscale phenomena and processes" refers mainly to basic research. The proof of this structure in the potential of Polish science in the field of nanosciences and nanotechnologies is the subject matter of the research projects executed in the years 2000–2005 (about 75% of projects carried out in this areas concern nanomaterials and basic research of phenomena and processes) and the

---

<sup>3</sup> According to the classification of the nanosciences and nanotechnologies research areas given in Appendix 2

number of scientific degrees awarded in the years 1998–2005 (doctor's degree: technical sciences – 60%, physics sciences – 24%; associated professor: technical sciences – 44%, physics sciences – 56%). Moreover, the participation of Polish researchers in the international co-operation in the area of nanosciences and nanotechnologies, including 6th Framework Programme of the EU, concerns mainly the subject matter of nanoscale phenomena and processes and nanomaterials.

Therefore, it is postulated that the basis of the national Strategy for Poland in the field of nanosciences and nanotechnologies is the concentration of organisational operations and financial support in the most significant research areas: “Nanomaterials and composites” and “Nanoscale phenomena and processes”. It is also proposed to include new areas: “Nanostructures” and “Nanoscale devices”, because, similarly as the area “Nanomaterials and composites”, they are based on the advanced cognitive research and, at the same time, they open a great perspective for the practical application of the results in many economic sectors.

The proposed basic areas of strategic support for nanotechnology are the following:

- Nanoscale phenomena and processes,
- Nanostructures,
- Nanomaterials and composites,
- Nanoscale devices

and

- Nanoanalytics and nanometrology,
- Manufacturing processes and devices for nanotechnology (in the scope necessary for the realisation of basic strategic areas).

Fast achievement of the world's level of research in the indicated strategic areas is the condition for the effective development of Polish nanosciences and nanotechnologies in general and also the radical improvement of innovativeness of the Polish economy.

Priority directions of the basic research in the field of nanosciences and nanotechnologies should be supported by a strategic mechanism which is the multi-year programme and commissioned projects and in the field of potential applications by targeted projects and development projects.

The proposed strategy of research in the field of nanotechnology in Poland is depicted in Fig. 1.

Connections between the strategic research areas are the following: research in the field of “Nanoscale phenomena and processes” creates the foundation of research in the fields “Nanostructures”, “Nanomaterials and composites” and “Nanoscale devices.”

The solutions obtained in the areas “Nanostructures”, “Nanomaterials and nanocomposites” and “Nanoscale devices” can be directly applied in the economy or in the areas “Nanoelectronics and nanomagnetism”, “Nanooptics”, “Nanobio” and “Nanomedicine.” The results obtained in these areas should be applied on the industrial scale.

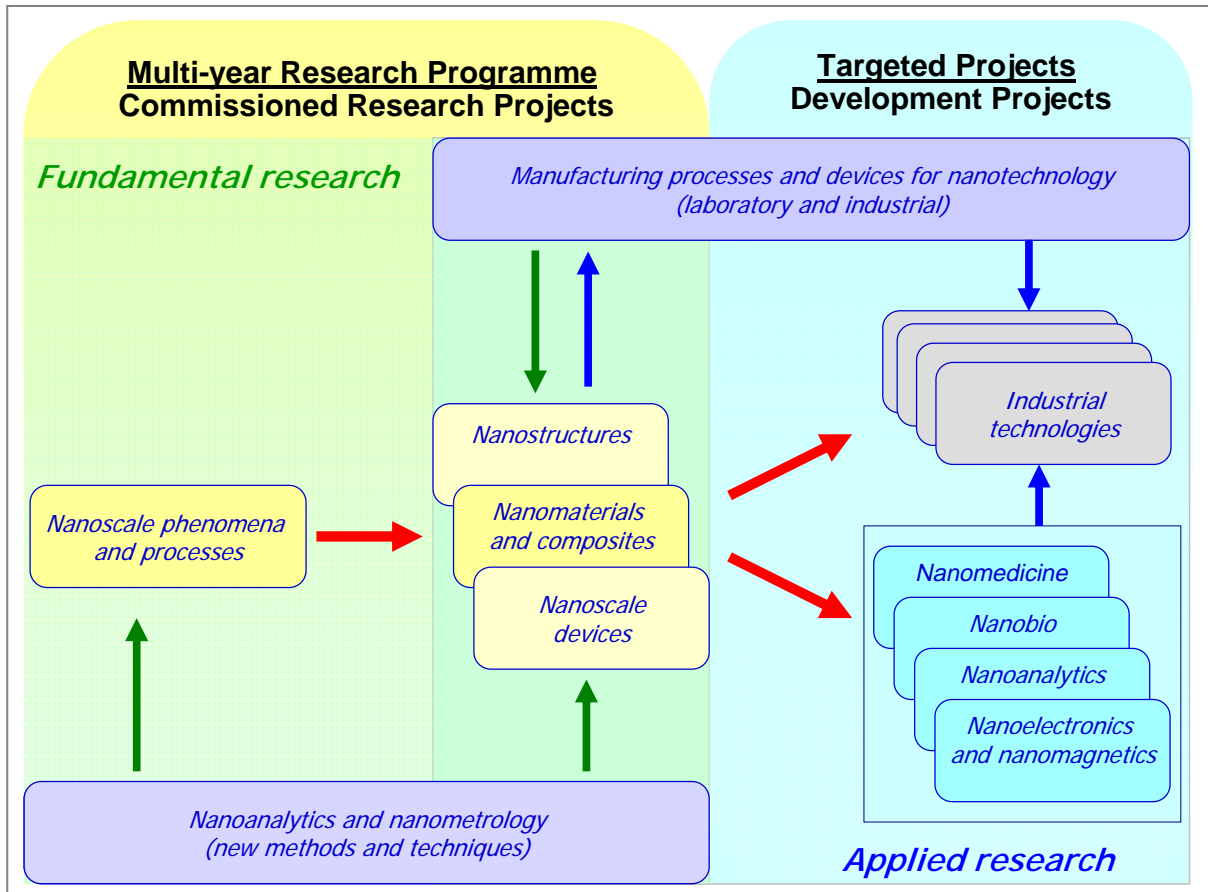


Fig. 1. Connections between research areas in the field of nanosciences and nanotechnologies

In particular areas, the following directions were recognised as priorities:

### 1. Nanoscale phenomena and processes

- physical and chemical foundations of the synthesis of nanomaterials and nanostructures of controlled structure and properties,
- engineering of atomic and molecular bonds,
- models and theories explaining properties of nanomaterials,
- foundations of quantum informatics,
- self-organisation phenomena in the synthesis of nanomaterials and nanostructures,
- magnetic phenomena in semiconductor and metallic nanostructures.

### 2. Nanostructures

- manufacturing of functional nanostructures (e.g. membranes, dots, wires and quantum wells, nanotubes),
- special nanostructures (hybrids or complex, porous),
- technologies for the manufacturing of nanoparticles.

### **3. Nanomaterials and nanocomposites**

- technologies for the manufacturing of structural nanomaterials (nanometals and nanocomposites of desired properties),
- technologies for the manufacturing of functional nanomaterials (magnetic, optical, electric, catalytic and textile),
- technologies for the manufacturing of nanolayers and nanocoatings (nanocomposites, with thermal barrier, antiwear and hydrophobic, biocompatible).

### **4. Nanoscale devices**

- photonic devices (e.g.: photonic light sources, light pipes and crystals),
- sensors and biosensors,
- nanoparticle manipulation devices,
- nanofilters.

### **5. Nanoanalytics and nanometrology**

- methods and devices for the characterisation of nanostructures and nanomaterials.

### **6. Manufacturing processes and devices for nanotechnology**

- for the synthesis of nanoparticles and crystallites,
- for the manufacturing of nanometals,
- for the manufacturing of nanocomposites,
- for the manufacturing of surface nanostructures,
- for the manufacturing of semiconductor nanostructures,
- advanced multi-purpose sub-assemblies (plasma sources, ion sources, vacuum systems, microwave systems, dispersed control systems).

The selected strategic research areas should be supported by the activities from the area of social and economic sciences in which, according to the convention adopted by the European Commission the following research package is distinguished:

### **7. The development of research systems and implementations in the field of nanotechnology**

- foreseeing the development of nanosciences and nanotechnologies – technological foresight,
- the development of knowledge transformation methods and fast nanotechnology transfer in the design and manufacturing processes and integration with other knowledge areas,

- the development and validation of new research organization models and industrial strategies in nanotechnology applications,
- the elaboration of methodology for the information systems creation as well as design and building of databases in the field of nanotechnology,
- the management of the advanced research processes and nanotechnology applications in virtual co-operation networks,
- the testing of cost effectiveness, risk assessment and the influence of nanosciences and nanotechnologies on environment,
- the development of continuing education and methods for improving qualifications in the field of nanotechnology,
- the investigation of the nanotechnology effects on society.

The enumerated research and application directions highlighted within the framework of the adopted strategic areas of the development of nanosciences and nanotechnologies in Poland should be encompassed by a complex multi-year programme (2007–2013) established by the Council of Ministers of the Republic of Poland.

In the multi-year programme, the most important scientific questions integrating large research groups and teams implementing the obtained research results in the nanotechnology field will be proposed and selected by competition.

### ***Infrastructure***

The executed analysis revealed that there are two trends referring to the development, management and use of infrastructure in the field of nanotechnology, i.e. centralised and dispersed approach. The former experiences show that the most effective system is the one in which one national co-ordinator for the development of infrastructure for the needs of nanotechnologies is chosen. However, due to the tradition of the very high independence of Polish scientific units, the centralised approach has been recognised as rather unrealistic. Therefore a blended approach is proposed comprising the following:

- The creation of a network of specialised laboratories in the fields acknowledged as priority, meeting the certification requirements according to the international standards. The laboratories, established in the leading institutions in the field of nanoscience and nanotechnologies, should include the main research directions indicated in the Strategy in its specialisation and constitute a complementary system.
- The creation of a centralised experimental and technological backup enabling the verification of the obtained research solutions in the semi-technical or technical scale, located in a centre of advanced technologies (nanotechnologies) and constituting, due to organisational and financial reasons, a part of a greater unit, e.g. a national research institute specialising in industrial technologies.

A significant element of the initiative for the development of Polish nanotechnology is the identification of information on the existing equipment and laboratory infrastructure. In order to do this, databases collecting information on the apparatus available in Poland and the rules of its use should be designed and implemented. It is recommended to establish a central database on the envisaged purchases of apparatus for the needs of nanosciences and nanotechnologies financed from the state budget and structural funds of the EU. It is also necessary to develop a system of the purchases of apparatus with the highest quality parameters and to counteract the overlap of the equipment in several units and the purchase of low quality apparatus.

Another priority task in the infrastructure strategy is the establishment of the foundations for the design and manufacturing of research apparatus (analytical and testing) and specialised technological devices for the needs of research and applications elaborated within the directions recognised as strategic ones for the development of Polish nanotechnology. The design and manufacturing activity, so far largely neglected in Poland, has great conceptual performance with commercial potential, especially in the field of advanced product and process nanotechnologies.

According to the strategy of creating an information society, it is essential to design an information portal, managed and developed centrally and also having operational links with similar operational systems in the European Union and in the world. With reference to the content, the Internet service would encompass specialist information according to the adopted division i.e. research, education, infrastructure, innovative and manufacturing activity, social dimension, including patent information, social and organisational issues, etc. and it should be co-ordinated by assigned institutions specialising in particular issues.

The complex co-ordination of the activities in the nanosciences and nanotechnologies field should be carried out centrally within the framework of a virtual nanotechnology institute, the steering committee of which should consist of the representatives of all leading scientific institutions in Poland, members of co-operation networks representing priority research directions and also technology platforms specialised in nanotechnology or related issues. The steering committee and the strategic centre should be situated in a National Research and Development Centre, which is to be established, or in another Unit with scientific position and significant organisational and financial backup, e.g. national research institute or a leading institution of Polish Academy of Sciences.

### ***Staff development***

The most important element of the nanosciences and nanotechnologies development initiative are strategic operations in the field of staff education and development that constitute a key success factor for the development of nanotechnology in Poland.

In the world there is great competition for attracting the best staff and talented young researchers to work in the nanotechnology field. The main aim of staff development is to make Poland an attractive place to work for young people and



nanotechnology experts in selected strategic fields. This requires an attractive scholarship offer for the best students and post-docs, social support, lectures conducted in English and attracting staff from abroad. It is also necessary to establish grants for early-career scientists who have potential to create scientific groups around themselves.

Another essential problem is educating the young staff with strong curriculum in natural and engineering sciences. In short term perspective, it is possible to modify the education system by complementing the general engineering education with education in the field of nanoscale phenomena and processes. Material studies and specialisations comprising advanced technologies should be extended by courses of study dedicated to nanotechnology. An essential problem is the revision of teaching standards at universities. The foundations of nanosciences and nanotechnologies should be lectured in postgraduate courses and further education should be continued at doctoral studies. The achievement of this aim requires a longer period, both with regard to the creation of new curricula and the selection of appropriately qualified teaching staff. Interdepartmental studies and doctoral studies should be introduced in units specially adapted to education in the nanotechnology field and related subjects as well, e.g. high-vacuum technology.

Compared with the United States and the EU countries, there are proportionally fewer training courses in nanotechnology in Poland. Continuous education in interdisciplinary teams, under consideration of strategic research priorities, should be provided by means of courses and training in the nanotechnology field, carried out both by universities and research units.

If the education of scientists takes place in foreign institutions the problem of reintegration arises (the return of scientific staff to native scientific environment). Therefore, a system of periodic (2–3 year) scholarships for study abroad encouraging students to return and continue their scientific carrier in Poland should be created. Another problem we should pay attention to is the development of teaching staff abroad by enabling them to participate in training courses, conferences, doctoral studies etc. In the nearest future on-line courses should be organised.

It is necessary to establish, as soon as possible, an educational service constituting a part of a national portal devoted to nanotechnology. The access to information on the available training courses, e.g. in the form of news in an educational Internet portal should be facilitated. It is advisable to determine an institution (e.g. national research institute) responsible for the quality and update of the content included in the portal on nanotechnology. The designing and building of the educational Internet service does not require large financial outlays and can be realised in a short time.

In order to increase the number of publications in the field of nanosciences and nanotechnologies, greater bonuses should be awarded to the activity of writing handbooks and monographs on nanotechnology. It is also essential to make the information on the Internet available free of charge. Within the initiative of nanosciences and nanotechnologies development, attention should be paid to the necessity of raising the awareness of society in the field of nanotechnology starting with the youngest.

The strategy in the educational dimension comprises not only medium- and long-term perspectives, the results of which will be visible in a longer term, but also immediate undertakings are necessary, e.g. the creation of an Internet portal.

### ***Industrial innovations***

A new situation in the Polish industry is the continuously growing number of enterprises that invest in advanced technologies as a condition of surviving in the global competitive economy.

The superior objective of research development and the implementation of nanotechnology solutions in Polish industry should be the elaboration and launching of new products in this field on the market. Nanotechnologies and products created as a result of nanotechnology application comprise the following: advanced technological knowledge and configurable functionality of products and materials. These generate a great added value.

The realisation of the strategy will contribute to the situation in which Polish enterprises interested in nanotechnology related issues will obtain technological support in Polish laboratories and, as a result, new highly specialised jobs will be created.

A very essential activity in all developed countries related to the implementation of advanced technologies is the integration of the research and industry sector. The co-operation between these two sectors should also be strengthened in Poland. In order to establish co-operation, it is postulated to introduce research programmes executed by scientific-research units and compulsory participation of the representatives of the SME sector and larger enterprises, with guaranteed level of co-financing, similarly as in the case of EU framework programmes. An efficient mechanism should be the multi-year programme oriented to nanotechnology combining the needs of industry with the potential of the scientific-research sector. The creation of a system for projects oriented to the transfer of technologies from the laboratory to industrial scale will increase the number of implementations in nanotechnology. Institutions that successfully execute large projects ending with the implementation of results should be given the priority in the realization of tasks with a considerably higher level of financing.

In order to create appropriate conditions for carrying out research whose results are to be applied in small and medium enterprises sector, solutions are needed that require e.g. changes in tax law such as tax allowances for entrepreneurs establishing co-operation with research sector or executing research. The presentation of research results during technology fairs should be promoted and supported. The training activity and efficient nanotechnology transfers to enterprises will increase the industry's absorption capacity for new technologies and will also contribute to the greater awareness of benefits resulting from the collaboration of the science and industry sector.

The research findings in the nanotechnology field will also be implemented in the organisational units created within the framework of research institutions, in spin-off

companies, in enterprises established at technology parks, advanced technology centres, industrial centres, national research institutes and SMEs interested in this type of activity.

It is proposed to design a database that would constantly inform the science and industry sector about the needs generated by industry, both in the field of innovative development research and about the necessity to implement the theoretical foundations used in the development of production nanotechnologies. The information on the implementations of nanotechnology solutions into industry and on the companies implementing them should be available within the integrated Internet portal.

The conducted analyses revealed that there is no need to establish a unit for the coordination of undertakings in industry, this role should be fulfilled by technology platforms and in the regional dimension by technology clusters. The undertakings and research objectives in national and regional (RIS)<sup>4</sup> dimension should be integrated and co-ordinated, and this will enable the proper use the structural funds.

Another proposal is to organise promotional specialised exhibitions in the nanotechnology field at most prestigious exhibitions of innovations and new technologies (e.g. special offer at Poznań International Fair, Innovations-Technologies-Machines).

The most significant elements of progress in industrial innovations in the field of nanotechnology have been recognised as follows: the exchange of information (fairs, training courses, visits), continuing education (scientists to be trained in business and industry managers to get familiar with research and development in the nanotechnology field), the financial system (taxes stimulating dynamic development of enterprises in this area) and industry mobility for defining future research directions.

### ***Social dimension***

Polish legal regulations should be complemented by regulations standardising the development of nanosciences and nanotechnologies which take into consideration the existing Polish legal regulations determining the work conditions of laboratories and industrial units, while being based on the experience of other countries in this field. The legal regulations should, among other things, determine the rules of conducting testing in laboratories, the application of testing results and oblige the producers using nanotechnology to inform their customers about the effects of the use of the offered products.

Polish representatives should be present in European scientific committees in the field of consumer safety, public health, environmental protection and ethics. A team (co-ordinated by e.g. national research institute) for the development of the proposal of Polish legal acts and standards in this area should be created. The team should consist of scientists, industrialist and lawyers. To ensure the access to information on all nanotechnology aspects and the elaboration of coherent legal regulations, the team's

---

<sup>4</sup> Regional Innovation Strategies.

co-operation with foreign institutions of similar kind is essential. The national acts have to be consistent with EU regulations that have to be observed constantly and adapted to Polish legal system.

Another important factor is an extensive information campaign on opportunities and threats of nanotechnology development. It should contribute to the creation of a favourable atmosphere for the development of this knowledge area. This campaign can be carried out by means of media, participation in fairs, organisation of conferences and workshops addressed not only to scientists but, first of all, to the representatives of industry, government, media, etc.

The most important element in this nanotechnology interest area is as follows: the creation of a coherent legal system consistent with the EU requirements and our own initiatives in this field and the inclusion of social and economic sciences in the issue of nanotechnology.

### ***Proposals of organisational activities***

In order to accomplish the intended aims within the enumerated five activity areas for the dynamic development of nanotechnology in Poland, it is necessary to undertake appropriate organisational tasks.

Therefore, it is proposed as follows:

- **Carrying out an comprehensive identification of the state of nanotechnology in Poland.** This document is an expert study. The identification, analytical studies and synthesis should be continued within the framework of the Multi-Year Programme PW-004<sup>5</sup> (in the field of civil service tasks), and the “Material foresight” which is being established presently and the Internet portal should be created. A commissioned research project should be established that would be specially oriented to the creation of the far-reaching development vision of nanotechnology in Poland; e.g. named *Roadmapping&Foresight Nano*. Such expert opinion should include, first of all, the problem of integration with the medical, biophysical and biochemical environment (*short term – successively by the end of 2007*).
- **The establishing of steering centre – nanotechnology institute** created within the framework of an existing one (e.g.: national research institute, specialist Polish Academy of Sciences unit). Such institute should have initially, and maybe even permanently, the form of a virtual network (*short term – by the end of 2007*).
- **The establishing of a strategic financing programme for nanotechnology from the state budget** (within the framework of e.g. multi-year programme comprising selected priority directions) with the structure similar to the EU Framework Programmes (similar subject matter, participation of industry in projects, similar mechanisms). The programme should include the condition of experimental

---

<sup>5</sup> Entitled „Development of innovativeness systems of manufacturing and maintenance 2004–2008” established by a resolution of the council of Ministers of the Republic of Poland No. 97/2004 dated 21<sup>st</sup> April 2004.

verification of the outcomes in economic practice. Financing of the multi-year programme should be at the level similar to other EU countries – 100–120 mln. USD in the period of 3–4 years. Such a programme can, for example, comprise projects that were positively assessed, but not awarded financing by the European Commission. The outline of the subject matter of such the nano Multi-Year Programme should be developed and submitted to the Ministry of Science and Higher Education within a few months (*short term – by mid-2007*).

- **The establishing of an Interdisciplinary Workgroup for Nanoscience and Nanotechnology at the Ministry of Science and Higher Education.** Such a workgroup would consist of specialists representing different research directions in the nanotechnology field as well as interdisciplinary directions. The main tasks of the group would be the following: the coordination of the NANO Multi-Year Programme, determining research priorities in the field of nanosciences and nanotechnologies, budget apportionment, projects assessment (*short term – by mid-2007*).
- **Setting up of research programmes conducted commonly and in a co-ordinated way by several research and industry units.** Formal foundations for the creation and execution of development projects and commissioned research project by teams consisting of the representatives of science and economy should be established. It is necessary to introduce priorities concerning nanotechnology into the National Framework Programme and establishing such priorities in the field of targeted projects (*medium term– successively – 3–5 years*).
- **Creating the network of specialised research laboratories.** These laboratories should encompass mainly the strategy directions in its specialisation. Moreover, they should be complementary in the scope of the adopted strategic directions and make its apparatus available to the network participants on preferential terms and to other potential users on fully commercial terms (*middle term– successively by 2010*).
- **Creating a central databank on the research infrastructure and apparatus.** The databank should contain the information on the apparatus available in the country that facilitates the realization of tasks in the field of nanosciences and nanotechnologies. The database should also comprise information on the envisaged purchase in order to eliminate overlap or to make common investment with regard to the purchase and manufacturing of apparatus with higher quality parameters. (*short term – successively by the end 2007*).
- **Creating an integrated Internet portal or databases connected with nanotechnology issues.** The portal should comprise complex information from the following fields: research and development, infrastructure, staff development, industrial innovations and social dimension, as well as data on patent activity and intellectual property rights. With reference to the technical side (information technology), the portal should be administered centrally (e.g. national research institute). The content of the portal should be managed by particular units specialising in particular thematic areas (*short term – successively by mid-2007*).

- **Creating a system of international doctoral studies and its financial procedures.** The introduction of a system of awarding grants for highly gifted scientists, e.g. the German Leibnitz awards or grants for return to the native country, as well as systems of doctoral studies introduced following the example of the UK – Interdisciplinary Research Collaborations (IRCs) (*middle term– successively by 2010*).
- **The elaborating and implementing of a co-operation system of the Workgroups for Nanosciences and Nanotechnologies with National Contact Point (NCP).** This would enable obtaining on-line information on projects in the field of nanotechnology conducted in co-operation with Polish teams that participate from the NCP and conveying by the NCP the proposals of Polish research milieu to workprogrammes created within the EU Framework Programmes (*short term – successively by mid-2007*).
- **Creating a system aimed at the increase of Poland's participation in the decision-making bodies of the EU Framework Programmes** (*short and medium term – successively in the nearest 3–5 years*).
  - increasing the number of Poland's representatives in the EU advisory and decision-making bodies (active, well informed about the state and the needs in the field of nanotechnologies and nanosciences in Poland and about organisational and financial possibilities of European programmes) as well as the improvement and widening of their co-operation with the Polish scientific milieu (exchange of information, introduction of issues consistent with the EU scientific policy in which Poland has significant achievements into the workprogrammes);
  - introducing a transparent system concerning the competencies, tasks, reporting and accounting of Polish representatives in the EU structures;
  - undertaking the activities aimed at the improvement of the quality of the international projects proposals (e.g. organising of training on writing projects, creating of a organisation of framework programmes participants experienced in submitting, and in particular, in the execution of the EU projects and a organisation of European projects reviewers);
  - building of alliances with the representatives of other countries in order to strengthen the bargaining position when determining and approving the priorities in framework programmes;
  - promoting the conclusion of bilateral international agreements in the field of nanotechnology;
  - increasing the operating effectiveness of specialised units at universities, institutes and Polish Academy of Sciences institutions in the scope of searching for partners to undertake and co-finance research and implementations realization;
  - introducing of a special bonus system (for a transition period, e.g. 5 years) for research teams carrying out nanotechnology projects on the international scale, e.g. when carrying out the assessment of the units.

– **Changing the financial structure of research** (*short and medium term – successively within 3–5 years*)

- increasing the private investments in innovations in the nanotechnology field. Launching of a tax system encouraging the SME sector to co-operate with academia, e.g. tax relief for companies which regularly invest in research and development;
- establishing efficient mechanisms stimulating the enterprises to participate in projects and to share in the costs of the implementation projects in the nanotechnology field, mandatory participation of industry in research and development projects will ensure a better orientation of the elaborated technologies to their commercial application;
- introducing tax relief aimed at encouraging the employers to provide their employees the possibilities of continuing training and co-operation with scientists – initiatives promoting learning during the whole career in order to manage sudden changes occurring in science, technologies and meeting new requirements on the labour market.

Other recommended organisational changes include the following:

- eliminating bureaucratic barriers which should be modified in a way to ensure the maximum rate of action (e.g.: by introducing the formula of “ad hoc projects” - following the example of the UK – the evaluation process of which lasts maximum one month);
- shortening the time of and improving the quality of projects review (maximum 3 months for the decision on approving or rejecting a project, increasing the objectivity of project evaluation by the participation of foreign reviewers);
- increasing the competitiveness of the scientific milieu by employing foreign scientists as well as Polish researchers returning after fellowships abroad and by rising professional requirements, for example, by staff rotation at universities and institutes as well as a stable pension system;
- improving the system of granting patents radically.

The developed strategy should be continuously updated, regularly adjusted to new economic challenges, new scientific inventions, new political and social conditions, new proposals of the scientific circles and specialists-practitioners. Its implementation should contribute to the creation of an advanced, knowledge-based society and ensure that Poland holds a significant position among the countries investing in nanosciences at the global scale and winning considerable economic profits from the applications of nanotechnology solutions.

## Appendix. 1. SWOT Analysis of the development of nanotechnology in Poland

<b>Strengths</b>	<b>Weaknesses</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- relatively high standard of fundamental and applied research in selected research teams and institutes,</li> <li>- specialisation and strong international position in nanomaterials,</li> <li>- high dynamics of growth in the number of research projects in nanotechnology together with even higher dynamics of growth of their budgets,</li> <li>- growing number of innovative nanotechnology solutions (increasing technological expertise),</li> <li>- high standard of research facilities in some laboratories, in particular in the field of nanomaterials,</li> <li>- launching of the Foresight Programme on materials research,</li> <li>- commitment of scientists specialising in nanotechnology with regard to education and scientific research,</li> <li>- relatively high human resources potential of universities and institutes of the Polish Academy of Sciences in fundamental research,</li> <li>- execution of large research projects (Commissioned Research Projects) and Multi-year Programmes in this domain,</li> <li>- dynamically developing links with foreign scientific and R&amp;D institutions,</li> <li>- high standard of ICT facilities and Internet skills,</li> <li>- large internal market and high economic growth of Poland.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- very low level of financing of the research in nanosciences and nanotechnologies from the state budget,</li> <li>- considerable fund and thematic dispersion, projects narrow in scope and not solving important problems,</li> <li>- very low level of industry expenditures on R&amp;D in nanotechnology,</li> <li>- poor and dispersed equipment infrastructure as well as partial use of the existing infrastructure,</li> <li>- lack of networks specialising in nanosciences and nanotechnologies,</li> <li>- dispersion of specialist staff and centres,</li> <li>- poor links between academia and industry – conducted research is not consistent with the needs of the industry</li> <li>- early stage of development of country nanotechnology industry,</li> <li>- lack of mechanisms and legal regulations supporting the establishment of spin-off companies commercialising research results – lack of critical mass for the development of nanotechnology industry,</li> <li>- poor business knowledge among scientists, including methods of the commercialisation of nanotechnology,</li> <li>- low level of knowledge of opportunities related to the development of nanotechnology among entrepreneurs,</li> <li>- poor scientific and laboratory basis for education in nanotechnology, shortage of training courses and post-graduate studies,</li> <li>- lack of an integrated internet portal on nanotechnology – research, industry, staff development, infrastructure, social dimension,</li> <li>- small number of conferences focusing on nanotechnology,</li> <li>- poor representation and initiative of Poland representatives in EU decision-making structures – promotion of research topics and lobbying of projects,</li> <li>- lack of support in preparing proposals for and managing international projects,</li> <li>- shortage of skilled personnel for interdisciplinary training in nanotechnology,</li> <li>- lack of support for young scientists,</li> <li>- low efficiency of technology transfer institutions,</li> <li>- low level of technical and technological knowledge of nanotechnology among companies management.</li> </ul>
<b>Opportunities</b>	<b>Threats</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- opportunities related to the financing of research resulting from EU research programmes and in particular from Structural Funds (use of infrastructure),</li> <li>- potentially significant opportunities of financial involvement in the materials sector in the development of nanotechnology,</li> <li>- development of knowledge and technology transfer structures, e.g.: Technology Transfer Centres and training of specialists in research results commercialisation,</li> <li>- taking nanosciences and nanotechnologies into account as one of the priority domains in the <i>Outlines of scientific, technical and innovative Policy of the State by the year 2020</i>,</li> <li>- new Act on Science giving better opportunities for large projects and co-ordinated work,</li> <li>- increase in the number of science and technology students,</li> <li>- acceptance of the strategy for the development of nanotechnology and the achievement of the world standard of research in strategic areas,</li> <li>- creation of jobs in companies based on advanced technologies,</li> <li>- fast market and economy growth.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- risk of investments in the areas in which Poland will not be able to achieve a competitive advantage,</li> <li>- Polish ideas taken over by foreign companies, penetration of the research market by the countries leading in nanotechnology,</li> <li>- a decreasing number of technical university students who continue their career in science,</li> <li>- economic emigration of highly-skilled specialists and young scientists.</li> </ul>



## Appendix 2. Nanosciences and nanotechnologies research areas

Basic areas	Detailed division	Examples
1. Nanoscale phenomena and processes	1.1. Nanophysics <sup>1)</sup> 1.2. Nanochemistry <sup>2)</sup> 1.3. Nanomechanics 1.4. Nanobiology 1.5. Nanoinformatics	1) e.g.: Modelling of object properties at the nanoscale ● Information, noise and fluctuation at the nanoscale ● Friction and wetting, nanoflows and surface diffusion ● Frontiers of miniaturisation ● Self-assembling and self-organisation phenomena; 2) e.g.: Modelling of molecular structure and chemical properties of nanoparticles and nanostructures ● Chemical activity of nanoparticles and nanostructures ● Physical and chemical foundations of the creation of self-organising systems
2. Nanostructures	2.1. Nanoparticles 2.2. Nanowires, nanofibres and nanotubes 2.3. Surface nanostructures 2.4. Three-dimensional nanostructures <sup>3)</sup>	3) e.g.: Nanocrystals, quantum dots and porous materials
3. Nanomaterials and composites	3.1. Functional nanomaterials <sup>4)</sup> 3.2. Structural nanomaterials <sup>5)</sup>	4) e.g.: Magnetic nanomaterials ● Nanomaterials for spintronics ● Nanomaterials for electronics and optoelectronics ● Nanomaterials for optics and photonics ● Nanomaterials for medicine ● Nanomaterials for sensors ● Nanomaterials for fuel cells and batteries ● Nanomaterials for catalysis ● Textile nanomaterials; 5) e.g.: Metallic nanomaterials ● Ceramic nanomaterials ● Polymer nanomaterials ● Nanohybrid materials
4. Nanoelectronics and nanomagnetics	4.1. Molecular electronics 4.2. Polymer electronics 4.3. Mass storage 4.4. Nanotechnology of semiconductors 4.5. Nanolithography and nanoimprinting 4.6. Nanomagnets <sup>6)</sup>	6) e.g.: Single-molecule magnets ● High-spin molecular nanomagnets
5. Nanooptics	5.1. Nanophotonics <sup>7)</sup> 5.2. Optoelectronics 5.3. Quantum optics 5.4. Nanometric optical surfaces 5.5. Plasmonics <sup>8)</sup> 5.6. New sources and detectors of radiation	7) e.g.: Photonic crystals ● Photonic light pipes ● Single-photon lights sources and correlated photon sources 8) e.g.: Plasmon light pipes ● Molecular plasmon detectors
6. Nanoscale devices	6.1. Single atom devices 6.2. Molecular manipulation devices 6.3. Sensors and biosensors	
7. Nanoanalytics and nanometrology	7.1. Devices <sup>9)</sup> 7.2. Methods <sup>10)</sup>	9) e.g.: Devices and software for microscopic measurements ● Scanned probe microscopes ● Scanning electron microscopes ● Transmission electron microscopes ● Chemical composition samplers ● Devices for manipulation of single objects at the nanoscale; 10) e.g.: Methods using synchrotron and free-electron laser radiation ● Analytical methods at the nanoscale
8. Nanobio	8.1. Subcellular sensors and nanotracers 8.2. Biomembranes 8.3. Nanocapsules 8.4. Biomimetic objects 8.5. Genetic improvers	
9. Nanomedicine	9.1. Targeted therapy 9.2. Molecular images 9.3. Biochips – diagnostic systems <sup>11)</sup> 9.4. Tissue engineering 9.5. Molecular machines	11) e.g.: Portable devices lab-on-a chip ● Biosensor implants
10. Manufacturing processes and devices for nanotechnology		