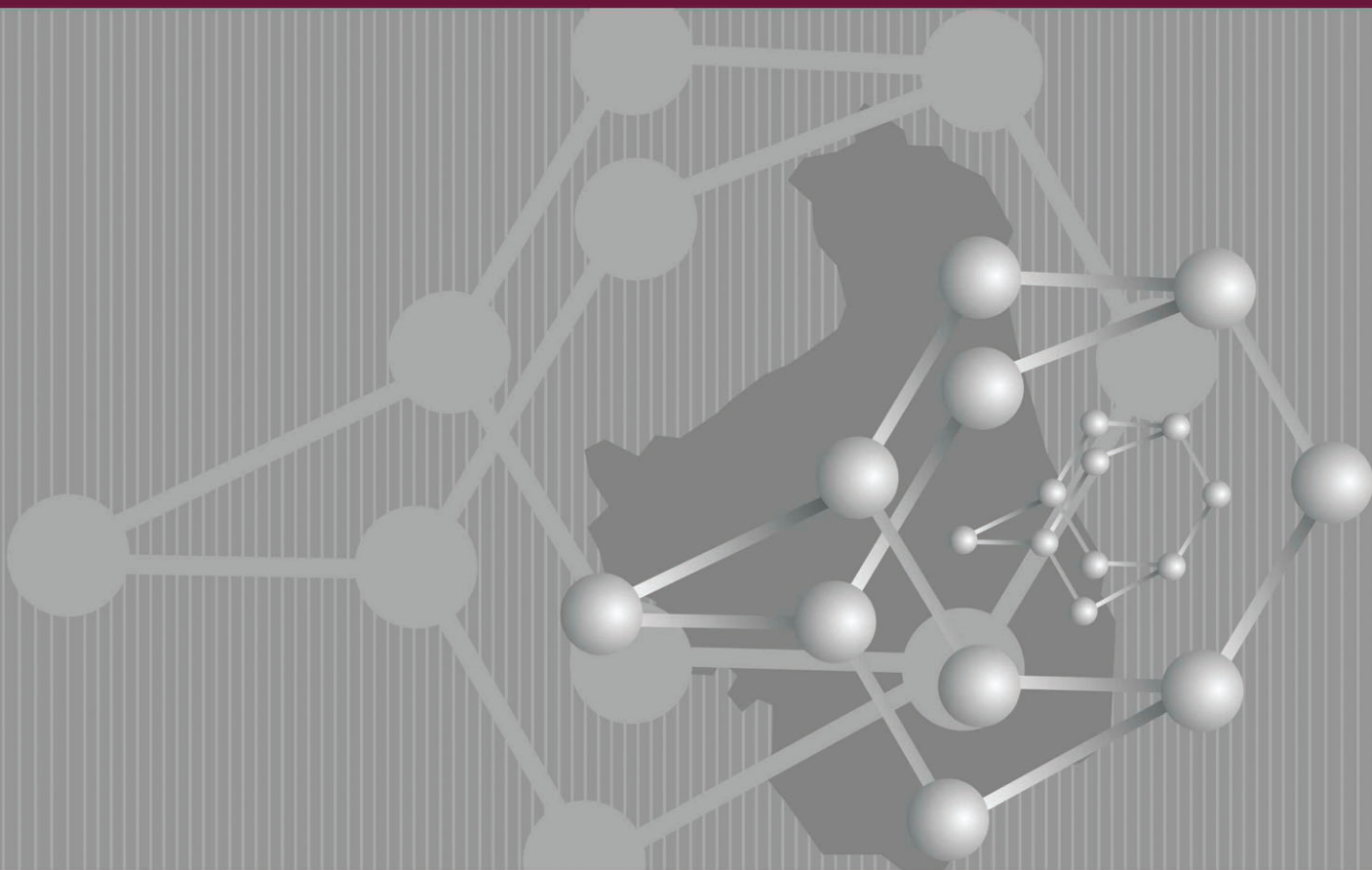


# KLUCZOWE NANOTECHNOLOGIE W GOSPODARCE PODLASIA



**INNOWACYJNA  
GOSPODARKA**  
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



WYDZIAŁ ZARZĄDZANIA  
POLITECHNIKI BIAŁOSTOCKEJ



**UNIA EUROPEJSKA**  
EUROPEJSKI FUNDUSZ  
ROZWOJU REGIONALNEGO



# KLUCZOWE NANOTECHNOLOGIE W GOSPODARCE PODLASIA



**KLUCZOWE NANOTECHNOLOGIE  
W GOSPODARCE PODLASIA**

Redakcja naukowa

**JOANICJUSZ NAZARKO**

**ANDRZEJ MAGRUK**

Białystok 2013

#### **recenzenci**

prof. dr hab. inż. Jan Michał Sieniawski  
dr hab. Roman Szewczyk, prof. nzw.

#### **© copyright by**

Politechnika Białostocka

Białystok 2013

#### **ISSN 0867-096X**

Rozprawy Naukowe Nr 243  
Biblioteka Nauk o Zarządzaniu

#### **redaktor wydawnictwa**

Janina Demianowicz

#### **projekt okładki**

Krzyszyna Krakówka

#### **projekt i skład komputerowy**



Agencja Wydawnicza Ekopress  
Andrzej A. Poskrobko  
tel. 601 311 838

#### **druk i oprawa**

Oficyna Wydawnicza  
Politechniki Białostockiej

#### **zespół autorów**

Joanicjusz Nazarko – *koordynator projektu*

Katarzyna Dębikowska

Joanna Ejdys

Alicja Gudanowska

Anna Kononiuk

Elżbieta Krawczyk-Dembicka

Krzysztof Kurzydłowski

Dorota Leończuk

Małgorzata Lewandowska

Witold Łojkowski

Andrzej Magruk

Anna Olszewska

Adam Skorek

Urszula Widelska

#### **współpraca**

Tomasz Trochimczuk

*Projekt współfinansowany ze środków  
Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego  
oraz środków budżetu państwa  
w ramach Programu Operacyjnego  
Innowacyjna Gospodarka*

## ZESPÓŁ EKSPERTÓW PANELU NANOTECHNOLOGIE W GOSPODARCE PODLASIA – POB1

prof. dr inż. **Adam Skorek** –  
*kierownik naukowy panelu*  
prof. dr hab. inż. **Jerzy Barglik**  
prof. dr hab. inż. **Jan R. Dąbrowski**  
prof. dr hab. inż. **Jan Dorosz**  
prof. dr hab. inż. **Mieczysław Hering**  
prof. dr hab. **Witold Łojkowski**  
prof. dr hab. n. med. **Jacek Małyszko**  
prof. dr hab. n. med. **Jolanta Małyszko**  
prof. dr hab. inż. **Joanicjusz Nazarko**  
prof. dr hab. n. med. **Zbigniew Puchalski**  
dr hab. inż. **Joanna Ejdyś**, prof. nzw.  
dr **Krzysztof Dziekoński**  
dr **Arkadiusz Jurczuk**  
dr **Iwona Nowicka**  
dr **Anna Olszewska**  
dr **Wiesław Urban**  
dr n. med. **Michał Zabłocki**  
**Andrzej Arefiew**  
**Magdalena Bałakier**  
**Józef Borowski**  
**Zbigniew Gołąbiewski**  
**Anna Gryko-Nikitin**  
**Jerzy Kaczan**

**Roman Kaleta**  
**Michał Korzeniecki**  
**Małgorzata Sylwia Kotarska-Ołdakowska**  
**Anna Kowalewska**  
**Mirosław Leśniewski**  
**Mariusz Łosiewicz**  
**Wiktor Mincer**  
**Andrzej Parafiniuk**  
**Lech Pilecki**  
**Elżbieta Puławska-Breś**  
**Wiktor Raczkowski**  
**Patryk Różański**  
**Katarzyna Rutkowska**  
**Marek Siergiej**  
**Ewa Stolarewska**  
**Antonii Stolarski**  
**Wojciech Strzałkowski**  
**Maciej Szumski**  
**Piotr Szutkiewicz**  
**Joanna Wasilewicz**  
**Marek Wasiuk**  
**Jerzy Wołkowycki**  
**Marta Zawistowska**

## ZESPÓŁ EKSPERTÓW PANELU MAPOWANIA TECHNOLOGII I KLUCZOWYCH TECHNOLOGII

prof. dr hab. inż. **Krzysztof Kurzydłowski** –  
*kierownik naukowy panelu*  
prof. dr hab. inż. **Jan R. Dąbrowski**  
prof. dr hab. inż. **Jan Dorosz**  
prof. dr hab. inż. **Leon Gradoń**  
prof. dr hab. inż. **Małgorzata Lewandowska**  
prof. dr hab. **Witold Łojkowski**  
prof. dr hab. **Andrzej Maziewski**  
prof. dr hab. inż. **Adam Mazurkiewicz**  
prof. dr hab. inż. **Urszula Narkiewicz**

dr hab. **Jarosław Grobelny**, prof. nzw.  
dr hab. inż. **Jerzy Smolik**, prof. nzw.  
dr hab. **Andrzej Wasiak**, prof. nzw.  
dr **Anna Boczkowska**  
dr **Anatoliusz Kopczuk**  
dr **Ludwika Lipińska**  
dr **Andrzej Magruk**  
dr inż. **Jakub Michalski**  
dr **Iwona Nowicka**  
**Alicja Gudanowska**



<b>Wprowadzenie</b>	9
<b>1. Opis metodyki badawczej</b>	11
1.1. Ogólny schemat metodyki badawczej	11
1.2. Schemat metodyki badawczej zastosowanej do opracowania bazy priorytetowych nanotechnologii kluczowych	13
1.3. Schemat metodyki badawczej w pracach panelu badawczego Nanotechnologie w gospodarce Podlasia	14
<b>2. Analiza potencjału rozwojowego przemysłu województwa podlaskiego w zakresie wykorzystania nanotechnologii</b>	19
2.1. Analiza potencjału technologicznego	19
2.2. Analiza potencjału ekonomicznego	24
2.3. Analiza potencjału wiedzy	27
2.4. Poziom konkurencyjności i innowacyjności podlaskich przedsiębiorstw w zakresie stosowania nanotechnologii	30
<b>3. Etapy identyfikacji priorytetowych nanotechnologii kluczowych</b>	36
3.1. Kryteria oceny technologii kandydujących	36
3.2. Proces identyfikacji technologii kluczowych pod względem przyjętych kryteriów	44
3.3. Charakterystyka technologii kluczowych	54
3.4. Priorytetyzacja technologii kluczowych	67
<b>4. Kluczowe nanotechnologie w gospodarce Podlasia</b>	74
4.1. Analiza potencjalnych obszarów zastosowań nanotechnologii priorytetowych w gospodarce Podlasia	74
4.2. Bariery i korzyści wdrażania nanotechnologii przez podlaskie przedsiębiorstwa	77
4.3. Możliwe źródła finansowania, wdrażania i stosowania nanotechnologii	79
4.4. Potencjalny wpływ kluczowych nanotechnologii na ludzi i środowisko przyrodnicze	83
<b>Podsumowanie</b>	87
<b>ANEKS</b>	
<i>Załącznik 1. Wzór ankiety na potrzeby oceny przydatności kryteriów oceny</i>	89
<i>Załącznik 2. Średnie oceny atrakcyjności i wykonalności technologii bez uwzględniania poziomu wiedzy ankietowanych</i>	91
<i>Załącznik 3. Średnie oceny atrakcyjności i wykonalności technologii z uwzględnieniem poziomu wiedzy ankietowanych</i>	94
<i>Załącznik 4. Wzór formularza na potrzeby priorytetyzacji</i>	97
<b>Bibliografia</b>	99
Wykaz rysunków	102
Wykaz tabel	103





W niniejszej monografii przedstawiono wyniki badań, odnoszące się do województwa podlaskiego i dotyczące kluczowych nanotechnologii, które w najwyższym stopniu przyczynią się do zrównoważonego rozwoju społeczno-gospodarczego województwa oraz potencjalnych możliwości wykorzystania nanotechnologii na rzecz istniejących oraz nowych branż przemysłu. Badania zostały wykonane w ramach projektu Foresight technologiczny «NT FOR Podlaskie 2020» Regionalna strategia rozwoju nanotechnologii. Projekt finansowany był ze środków Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, Priorytet I. Badania i rozwój nowoczesnych technologii, Działanie 1.1. Wsparcie badań naukowych dla budowy gospodarki opartej na wiedzy, Poddziałanie 1.1.1. Projekty badawcze z wykorzystaniem metody foresight. Beneficjentem projektu jest Politechnika Białostocka, a Instytucją Wdrażającą – Ośrodek Przetwarzania Informacji (OPI).

Technologie kluczowe posiadają wysoki potencjał wpływania na konkurencyjność kraju (regionu) oraz jakość życia [14]. Zgodnie z *Leksykonem własności przemysłowej i intelektualnej*, technologia jest to metoda przetwarzania dóbr naturalnych w dobra użyteczne (produkty), a także nauka stosowana o procesach tworzenia produktów z materiałów wyjściowych. Stosuje się następujące kryteria podziału technologii: a) rodzaj otrzymanych produktów (np. technologia papieru, technologia budowy maszyn), b) rodzaj przetwarzanego materiału (np. technologia drewna), c) zastosowana metoda (np. technologia chemiczna, technologia mechaniczna) [16]. Definicję tę można rozszerzyć zgodnie z angielskojęzycznym znaczeniem słowa *technology* i wówczas jest to zdolność do działań inżynierskich wynikająca z praktycznej aplikacji wiedzy naukowej, w tym podejścia bazującego na implementacji gotowych rozwiązań do nowych zastosowań [62].

Technologia jest współcześnie podstawą wzrostu produktywności i budowania konkurencyjności przedsiębiorstw oraz wyznacznikiem poziomu rozwoju ekonomicznego państw i regionów. Zasadniczą kwestią jest odpowiedź na pytanie, jakie technologie powinny być brane pod uwagę w rozwoju gospodarki krajowej i regionalnej w przyszłości i jak należy oceniać obiektywnie technologie, uwzględniając zarówno pożytek inwestorów, jak i społeczną akceptację [3].

Za jedną z technologii przełomowych XXI wieku, rozwijającą się w sposób gwałtowny i aktywizującą inne technologie, uznaje się obecnie nanotechnologię [2, 24]. Zdaniem autorów projektu «NT FOR Podlaskie 2020», nanoinnowacja może być kluczem do konkurencyjności podlaskich firm oraz główną siłą napędową wzrostu produktywności regionu, chroniąc jednocześnie jego niepowtarzalne walory środowiskowe. Innowacyjne nanotechnologie są szansą na unowocześnienie dotychczasowego potencjału endogenicznego regionu poprzez aplikację tych technologii do już istniejących w regionie branż (z wysokim potencjałem jej zastosowania). Implementacja rozwiązań nanotechnologicznych może również wpłynąć na proces dywersyfikacji specjalizacji regionalnej i budowy nowego potencjału dla gospodarki innowacyjnej [27].

Przemysł województwa podlaskiego jest związany głównie z dominującym rolnictwem, a kluczową pozycję w strukturze udziałowej przemysłu zajmują produkcja i przetwórstwo artykułów spożywczych. W regionie przetwarzane są głównie rodzime surowce. Przemysł: mięsny, owocowo-warzywny, piwowarski, spirytusowy i młynarski oraz, najlepiej rozwinięte – przetwórstwo mleka, mają podstawowe znaczenie w branży rolno-spożywczej. Podlaskie mleczarnie są największymi i najnowocześniejszymi wytwórniami produktów mlecznych w kraju. Część produkcji eksportuje się na bardzo wymagające rynki Europy Zachodniej.

Pomimo, iż przemysł to przede wszystkim produkcja i przetwórstwo artykułów spożywczych (55,9%), istotne znaczenie ma również produkcja maszyn i urządzeń (4,3% udziału w produkcji przemysłu), produkcja tkanin (7%) oraz drewna i wyrobów z drewna (11,8%). Stosunkowo niski jest jednak poziom technologiczny przemysłu. Z wyjątkiem przetwórstwa rolniczego, równomiernie rozmieszczonego w stosunku do bazy surowcowej, najliczniejsze zakłady przemysłowe znajdują się w największych miastach województwa: w Białymstoku – największym ośrodku przemysłowym regionu (z rozwiniętym przemysłem budowlanym, lekkim, elektromaszynowym i spożywczym) oraz w Łomży i Suwałkach [49].

Rozwój nanotechnologii w gospodarce województwa podlaskiego powinien być ściśle powiązany, z jednej strony z realizowanymi już kierunkami badań, z drugiej zaś ze strukturą gospodarki regionu. Istotny udział w gospodarce województwa podlaskiego takich branż przemysłu, jak: przemysł spożywczy, przemysł tworzyw sztucznych (głównie na potrzeby przemysłu spożywczego), przemysł maszynowy i przemysł drzewny wskazują na potencjalne obszary komercjalizacji wyników badań w obszarze nanotechnologii. Ponadto, na terenie województwa podlaskiego są zlokalizowane firmy wyspecjalizowane w obsłudze wąskiej grupy odbiorców, które dzięki unikalnym umiejętnościom i elastyczności potrafiły osiągnąć sukcesy na rynkach krajowych i zagranicznych. W tej grupie znajdują się między innymi producenci wyspecjalizowanych maszyn i urządzeń rolniczych, a także specjalistycznego sprzętu medycznego. Specjalizacja produkcji z obszaru nanotechnologii może być jednym ze sposobów podniesienia poziomu produktywności regionu.

Autorzy monografii pragną podkreślić niezmiernie istotny kontekst foresightowy przeprowadzonych analiz. Foresight pomaga w zrozumieniu przyszłości technologii, nauki, gospodarki, środowiska oraz społeczeństwa,

wykorzystując w tym celu zrozumienie podstawowych praw i czynników obserwowanych trendów, struktur i zjawisk [21], [41]. Ułatwia wybór najlepszego wariantu przyszłości, a zarazem, wobec jej niepewności, pozwala się przygotować do niespodziewanych zmian [23].

Monografia składa się z czterech rozdziałów. W rozdziale pierwszym opisano metodykę badawczą zastosowaną w projekcie do wyznaczenia kluczowych nanotechnologii. Rozdział drugi poświęcono analizie potencjału rozwojowego przemysłu województwa podlaskiego w zakresie wykorzystania nanotechnologii. W rozdziale trzecim scharakteryzowano kolejne etapy identyfikacji priorytetowych nanotechnologii kluczowych. Rozdział czwarty dotyczy kluczowych technologii w gospodarce województwa podlaskiego. Dokonano w nim analizy potencjalnych obszarów zastosowań nanotechnologii priorytetowych, określono bariery i korzyści wdrażania nanotechnologii przez podlaskie przedsiębiorstwa oraz wskazano możliwe źródła finansowania wdrażania i stosowania nanotechnologii. Zasygnalizowano również zagadnienia związane z potencjalnym wpływem wybranych nanotechnologii na ludzi i środowisko przyrodnicze.

Zdaniem autorów, monografia oprócz wartości aplikacyjnej, polegającej na opracowaniu katalogu priorytetowych nanotechnologii dla województwa podlaskiego, ma również istotną wartość naukową, polegającą na opracowaniu spójnej metodologii badawczej w zakresie wyłaniania i priorytetyzacji kluczowych technologii. To powoduje, że – mimo iż jest ona skoncentrowana na nanotechnologiach i województwie podlaskim – niesie o wiele szerszą wiedzę naukową i użyteczną. Autorzy wyrażają nadzieję, że publikacja – ze względu na oryginalny i unikalny charakter prezentowanych treści – zainteresuje osoby zaangażowane w kształtowanie polityki gospodarczej, przedsiębiorców, menedżerów, pracowników nauki oraz studentów.

## 1.1. Ogólny schemat metodyki badawczej

Proces badawczy w projekcie Foresight technologiczny «NT FOR Podlaskie 2020» Regionalna strategia rozwoju nanotechnologii prowadzony jest na podstawie oryginalnej autorskiej metodyki, której ogólne założenia zawarte zostały w studium wykonalności projektu [27, 56], a następnie uszczegółowione w opracowaniu Metodologia oraz procedury badawcze w projekcie Foresight technologiczny «NT FOR Podlaskie 2020» Regionalna strategia rozwoju nanotechnologii [25].

Zgodnie z przyjętą w projekcie ogólną metodyką badawczą, wykonanie zasadniczych zadań badawczych oparto na panelach eksperckich, których zadaniem jest wytworzenie, analiza i synteza wiedzy istotnej dla danego zagadnienia. Utworzone w projekcie panele eksperckie można podzielić na panele metodyczne oraz panele obszarów badawczych (rys. 1). W przyjętym modelu założono, że wyniki prac paneli obszarów badawczych są integrowane i syntetyzowane poprzez Kluczowy Zespół Badawczy (KZB), który również stanowi platformę przekazywania informacji i wiedzy wytworzonej w poszczególnych panelach eksperckich, będących podstawą prac innych paneli [56].

W projekcie wyróżniono trzy główne panele (obszary) badawcze:

- Nanotechnologie w gospodarce Podlasia (POB1).
- Badania naukowe w zakresie nanotechnologii na rzecz rozwoju Podlasia (POB2).
- Kluczowe czynniki rozwoju nanotechnologii podlaskiej (POB3).

Panele metodyczne, odpowiadające głównym metodom badawczym, na których jest oparta metodologia badawcza projektu stanowią:

- Panel analizy STEEPVL oraz SWOT (PASiS).
- Panel mapowania technologii i kluczowych technologii (PMTiKT).

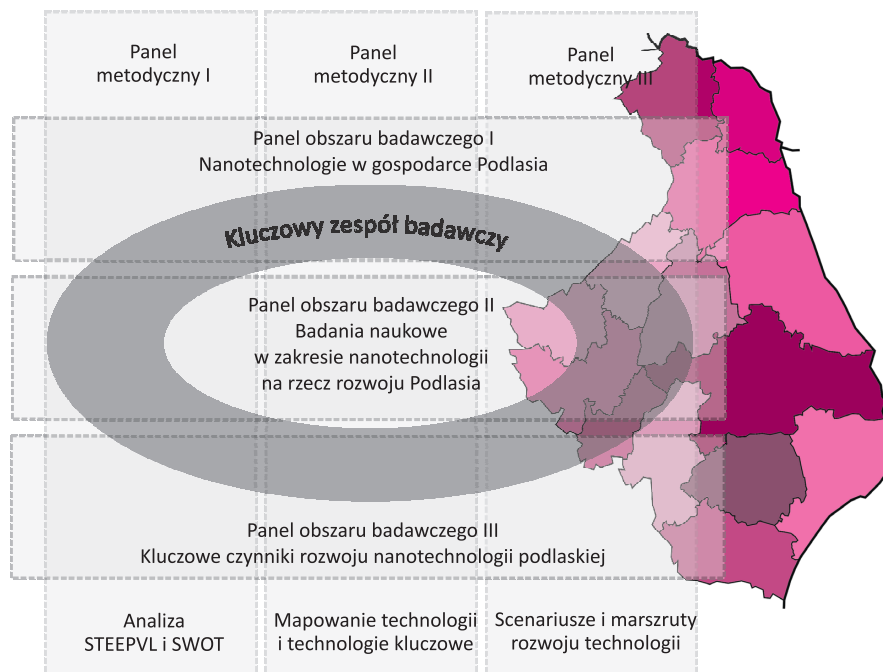
- Panel budowy scenariuszy i marszrut technologicznych (PBSiMT).

Przedmiotem niniejszej monografii są wyniki prac badawczych prowadzonych w ramach Panelu mapowania technologii i kluczowych technologii oraz panelu Nanotechnologie w gospodarce Podlasia.

Badania w ramach PMTiKT miały na celu wyodrębnienie katalogu nanotechnologii, które w najwyższym stopniu przyczynią się do zrównoważonego rozwoju społeczno-gospodarczego województwa podlaskiego (technologie kluczowe), a następnie ich priorytetyzację na podstawie kryterium dojrzałości technologicznej. Wyniki te stanowiły istotny wkład do prac badawczych panelu POB1 (rys. 2), w ramach którego zidentyfikowano podlaskie firmy stosujące bądź planujące zastosowanie nanotechnologii, co w rezultacie pozwoliło na utworzenie katalogu podlaskich przedsiębiorstw aktywnych w dziedzinie stosowania nanotechnologii. Przedmiotem zainteresowania były również zagrożenia związane z wykorzystaniem nanotechnologii.

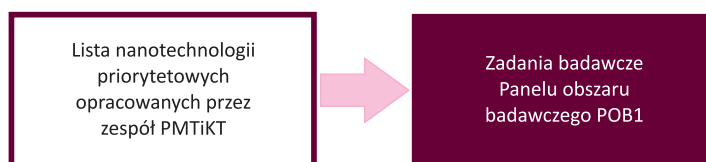
Metodą badawczą służącą do wyłonienia kluczowych – ze względu na rozwój województwa podlaskiego i jego konkurencyjność – nanotechnologii była metoda kluczowych technologii oparta na ocenie technologii kandydujących względem dwóch kryteriów: atrakcyjności oraz wykonalności [56]. Rozwinięciem takiego podejścia jest priorytetyzacja technologii kluczowych. W opracowaniu jako kryterium priorytetyzacji wykorzystano ocenę dojrzałości technologii (*Technology Readiness Level*), [20]. Wyłonione w wyniku przeprowadzonych badań nanotechnologie priorytetowe powinny zyskać szczególne wsparcie w polityce, ponieważ ich rozwój może mieć zasadnicze znaczenie dla technologicznego rozwoju województwa podlaskiego.

**Rys. 1.** Schemat współdziałania paneli eksperckich w projekcie Foresight technologiczny «NT FOR Podlaskie 2020» Regionalna strategia rozwoju nanotechnologii



Źródło: [27].

**Rys. 2.** Powiązanie wyników prac paneli PMTiKT i POB1



Źródło: opracowanie własne.

W monografii zaprezentowano również wyniki oceny poziomu konkurencyjności i innowacyjności podlaskich przedsiębiorstw, w szczególności tych, które stosują bądź planują zastosowanie nanotechnologii. Zidentyfikowano również korzyści i bariery wdrażania

nanotechnologii z punktu widzenia przedsiębiorstw oraz sposoby finansowania wdrażania nanotechnologii. Informacje te były możliwe do uzyskania głównie poprzez badania przeprowadzone wśród podlaskich przedsiębiorców.

## 1.2. Schemat metodyki badawczej zastosowanej do opracowania bazy priorytetowych nanotechnologii kluczowych

Na prace panelu PMTiKT, związane z utworzeniem bazy priorytetowych technologii kluczowych, składało się sześć następujących zadań badawczych [25]:

**ZADANIE 1.** Opracowanie wstępnego katalogu technologii.

**ZADANIE 2.** Opracowanie kryteriów oceny technologii.

**ZADANIE 3.** Wyłonienie technologii kluczowych.

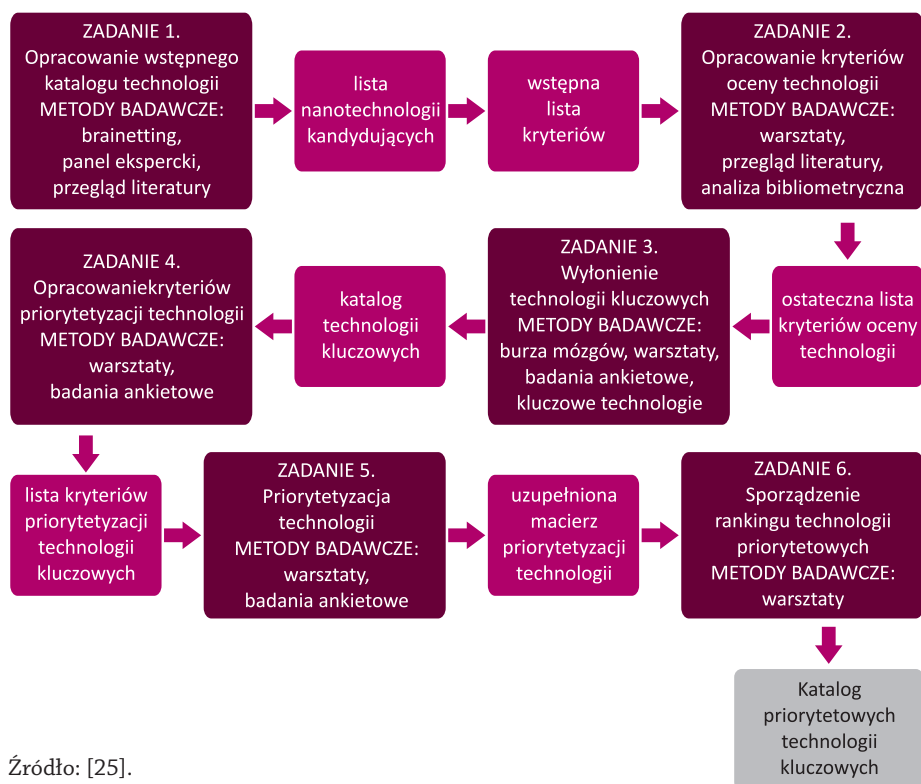
**ZADANIE 4.** Opracowanie kryteriów priorytetyzacji technologii.

**ZADANIE 5.** Priorytetyzacja technologii.

**ZADANIE 6.** Sporządzenie katalogu technologii priorytetowych.

Poszczególne zadania badawcze były wykonywane sekwencyjnie. Ich rezultaty stanowiły informację wejściową kolejnych zadań badawczych. Efekt końcowy stanowi opracowana baza technologii kluczowych wraz z ich priorytetyzacją. Do realizacji każdego zadania badawczego wykorzystano właściwe dla jego specyfiki metody badawcze (rys. 3). Doboru metod dokonano na podstawie studiów literaturowych oraz analizy wybranych dotychczas realizowanych projektów foresight. Zdefiniowane w ten sposób metody zastały następnie adaptowane na potrzeby prac Panelu mapowania technologii i kluczowych technologii.

**Rys. 3.** Schemat ogólnej metodyki badawczej Panelu mapowania technologii i kluczowych technologii w zakresie utworzenia priorytetowych technologii kluczowych



Źródło: [25].

Prace nad wyłonieniem kluczowych technologii z obszaru nano wymagały zaangażowania specjalistów (głównie naukowców oraz przedsiębiorców) z różnych dziedzin nauki i techniki związanych z nanotechnologiami

co pociągało za sobą konieczność zaangażowania ekspertów z różnych regionów, uwzględniając w analizach szeroki kontekst województwa podlaskiego.

### 1.3. Schemat metodyki badawczej w pracach panelu badawczego Nanotechnologie w gospodarce Podlasia

Na prace panelu badawczego Nanotechnologie w gospodarce Podlasia związane z zagadnieniami wykorzystania nanotechnologii w gospodarce województwa podlaskiego składało się siedem następujących zadań badawczych [25]:

**ZADANIE 1.** Analiza potencjalnych obszarów zastosowań nanotechnologii w gospodarce województwa podlaskiego.

**ZADANIE 2.** Identyfikacja potencjału rozwojowego przedsiębiorców województwa podlaskiego w zakresie nanotechnologii.

**ZADANIE 3.** Zbadanie poziomu konkurencyjności i innowacyjności podlaskich przedsiębiorstw wykorzystujących obecnie lub w przyszłości nanotechnologie.

**ZADANIE 4.** Próba określenia możliwych korzyści gospodarczych dla regionu wynikających z zastosowań nanotechnologii.

**ZADANIE 5.** Wskazanie możliwych źródeł finansowania wdrażania i stosowania nanotechnologii.

**ZADANIE 6.** Wskazanie przykładów wpływu proponowanych nanotechnologii na ludzi i środowisko przyrodnicze w fazie projektowania, użytkowania i fazy poeksploatacyjnej.

**ZADANIE 7.** Identyfikacja barier we wdrażaniu nanotechnologii (technologicznych, ekonomicznych, organizacyjnych, społecznych, informacyjnych).

Do realizacji każdego zadania badawczego wykorzystano właściwe dla jego specyfiki metody badawcze. Doboru metod dokonano na podstawie studiów literaturowych oraz analizy wybranych dotychczas realizowanych projektów foresight. Zdefiniowane w ten sposób metody zostały następnie zaadaptowane na potrzeby prac POB1 (rys. 4).

Punktem wyjścia do realizacji zadań badawczych była lista potencjalnych obszarów zastosowań nanotechnologii oraz lista nanotechnologii priorytetowych opracowana przez Panel mapowania technologii i kluczowych technologii.

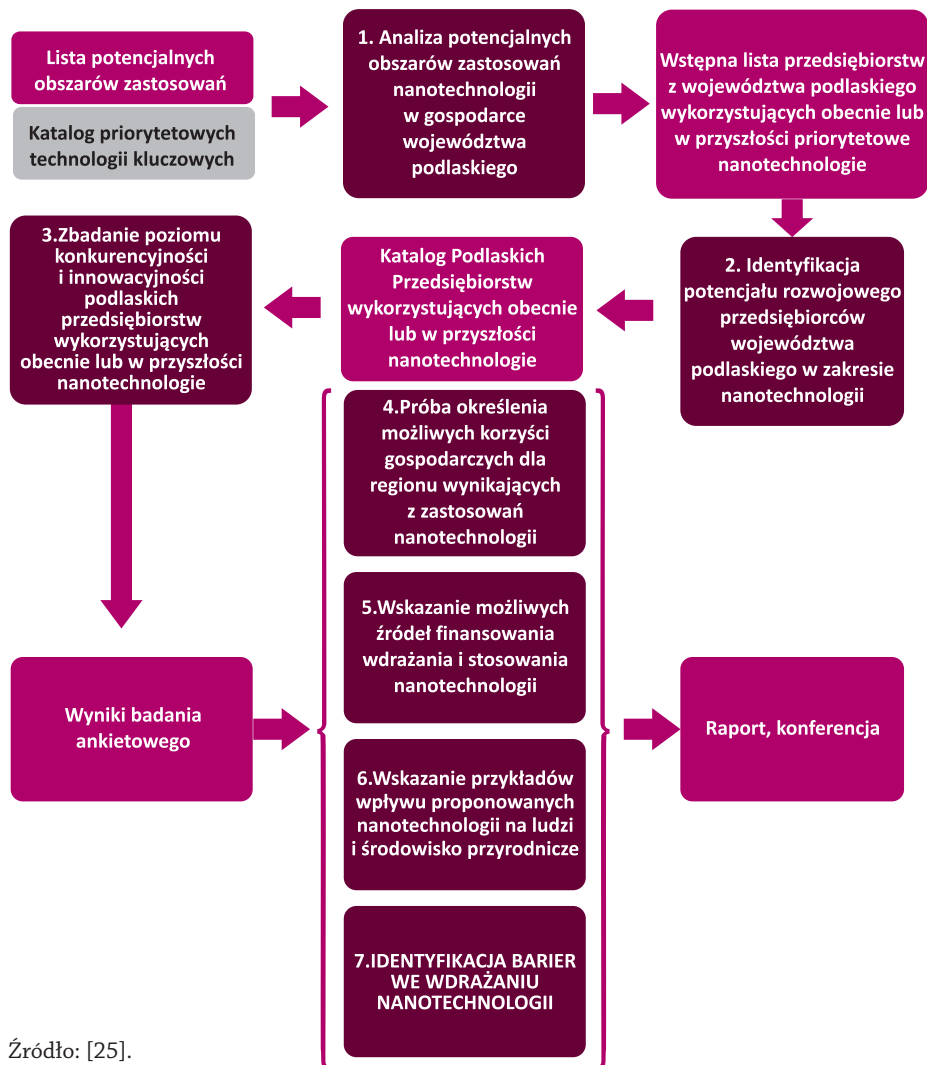
Po analizie potencjalnych obszarów zastosowań nanotechnologii w gospodarce województwa podlaskiego wyłoniono listę potencjalnych zastosowań nanotechnologii w gospodarce województwa podlaskiego oraz wstępną listę przedsiębiorstw z województwa podlaskiego wykorzystujących obecnie lub w przyszłości priorytetowe nanotechnologie. Po identyfikacji potencjału rozwojowego przedsiębiorstw w zakresie nanotechnologii stworzono katalog podlaskich przedsiębiorstw wykorzystujących obecnie lub w przyszłości nanotechnologie. Wyniki badań ankietowych pozwoliły między innymi na zbadanie poziomu konkurencyjności i innowacyjności podlaskich przedsiębiorstw wykorzystujących obecnie lub w przyszłości nanotechnologie.

Próba określenia możliwych korzyści gospodarczych dla regionu wynikających z zastosowań nanotechnologii była możliwa dzięki wynikom z badania ankietowego oraz analizom SWOT i STEEPVL przygotowanych przez wykonawców projektu, dotyczących uwarunkowań rozwoju nanotechnologii w województwie podlaskim zaprezentowanych w opracowaniu Uwarunkowania rozwoju nanotechnologii w województwie podlaskim. Wyniki analizy STEEPVL i SWOT [26].

Możliwe źródła finansowania wdrażania i stosowania nanotechnologii określono na podstawie wyników badań ankietowych, analiz dostępnych danych zastanych oraz wniosków z panelu eksperckiego.



**Rys. 4.** Schemat ogólnej metodyki badawczej Panelu nanotechnologie w gospodarce Podlasia



Źródło: [25].

Wpływ nanotechnologii na ludzi i środowisko przyrodnicze wskazano po przestudiowaniu literatury przedmiotu i przeprowadzeniu dyskusji ekspertów w toku panelu badawczego.

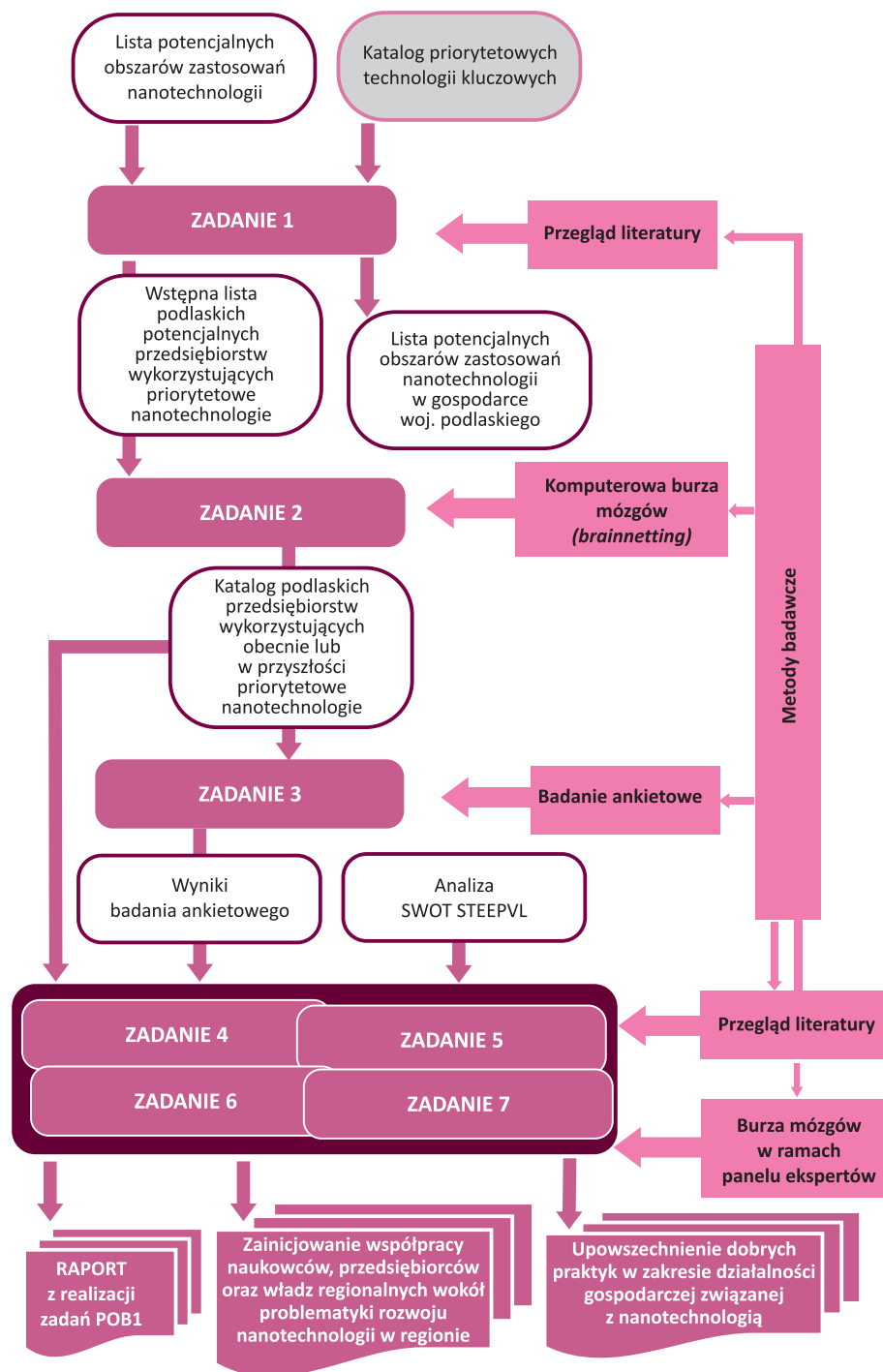
Próbę identyfikacji barier we wdrażaniu nanotechnologii (technologicznych, ekonomicznych, organizacyjnych, społecznych, informacyjnych) oparto na wynikach z badania ankietowego, analizach SWOT i STEEPVL przeprowadzonych przez wykonawców projek-

tu dotyczących uwarunkowań rozwoju nanotechnologii w województwie podlaskim oraz wynikach burzy mózgów ekspertów.

Realizacja zadań badawczych POB1 była możliwa dzięki wykorzystaniu wybranych metod jakościowych i ilościowych [44], (rys. 5). W rezultacie wykorzystano zostały cztery metody badawcze [28, 30, 33]: (1) przegląd literatury oparty na dokumentach, raportach, publikacjach dotyczących nanotechnologii i ich zastosowań, (2) badania ankietowe techniką



**Rys. 5.** Operacjonalizacja metodyki badawczej na potrzeby zadań badawczych Panelu nanotechnologie w gospodarce Podlasia



Źródło: [25].

CATI oraz PAPI z pytaniami zamkniętym i otwartymi skierowane do podlaskich przedsiębiorców, (3) burza mózgów przeprowadzona wśród ekspertów z zespołów badawczych PMTiKT, POB1, POB2 oraz POB3 w panelu eksperckim, (4) komputerowa burza mózgów (*brainnetting*) przeprowadzona z ekspertami POB1 w ramach panelu eksperckiego.

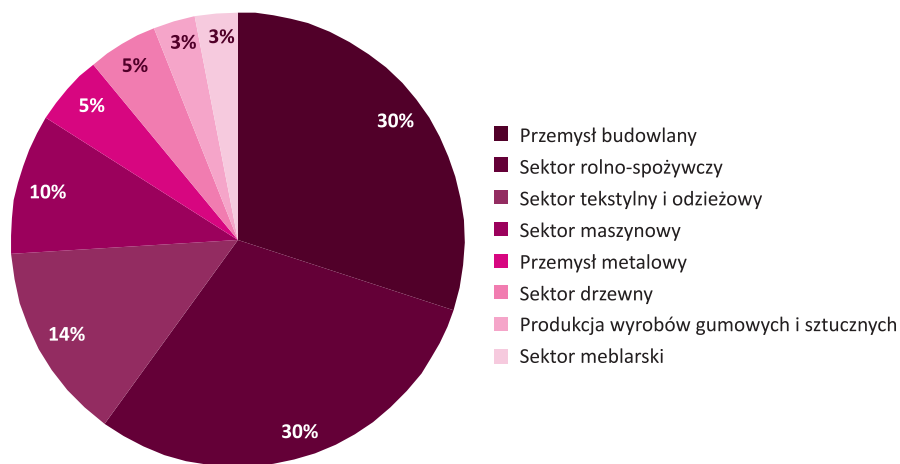
Przegląd literatury dotyczył ogólnodostępnych danych statystycznych i innych wtórnych źródeł wiedzy dotyczących zjawisk związanych z gałęziami przemysłu województwa podlaskiego. Ponadto, dokonano przeglądu dostępnych raportów, wyników badań dotyczących między innymi wykorzystania nanotechnologii, źródeł finansowania wdrażania i stosowania nanotechnologii, wpływu nanotechnologii na ludzi i środowisko przyrodnicze.

Badanie ankietowe zostało przeprowadzone w dwóch fazach. Początkowo, wykorzystując technikę CATI, przeprowadzono wywiady

telefoniczne z przedsiębiorstwami uczestniczącymi w projekcie Foresight technologiczny «NT FOR Podlaskie 2020» Regionalna strategia rozwoju nanotechnologii. Badaną grupę stanowiły przedsiębiorstwa uczestniczące w pracach POB1, POB2 oraz POB3. W rezultacie przeprowadzono 27 wywiadów telefonicznych, których wyniki miały zidentyfikować przedsiębiorstwa, stosujące lub planujące wykorzystanie nanotechnologii.

W drugiej fazie studenci Wydziału Zarządzania Politechniki Białostockiej, działający w ramach Grupy Wsparcia, przeprowadzili techniką PAPI badanie ankietowe na próbie 47 przedsiębiorstw reprezentujących wybrane kluczowe sektory gospodarcze województwa podlaskiego, w których jest możliwe wykorzystanie nanotechnologii (rys. 6). Największy udział w badaniu stanowiły przedsiębiorstwa reprezentujące przemysł budowlany oraz sektor rolno-spożywczy.

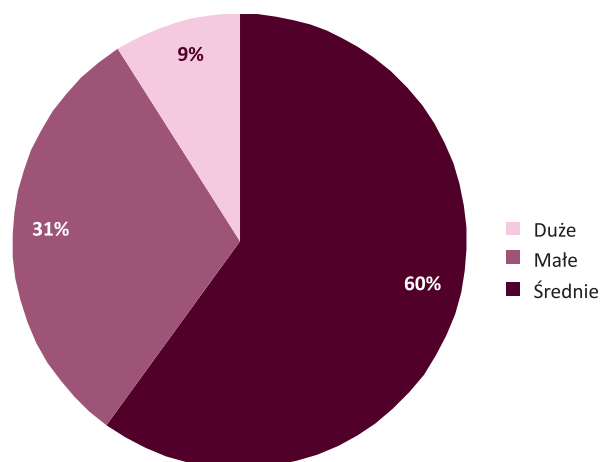
**Rys. 6.** Procentowy udział przemysłu i sektorów w badaniach ankietowych



Źródło: opracowanie własne.

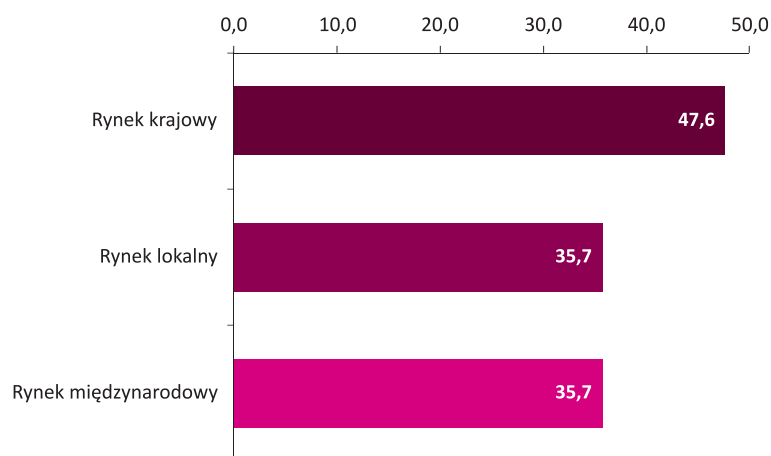
Przedsiębiorstwa były zróżnicowane ze względu na liczbę zatrudnionych (rys. 7). Najwięcej było firm średnich, zatrudniających od 50 do 149 pracowników.

**Rys. 7.** Struktura badanych przedsiębiorstw ze względu na wielkość zatrudnienia



Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 8.** Zasięg działalności badanych przedsiębiorstw [%]



Źródło: opracowanie własne.

Badane przedsiębiorstwa prowadziły działalność przede wszystkim na rynku krajowym (47,7%) (rys. 8). Realizację przedsięwzięć na rynku międzynarodowym i lokalnym deklaroowało po 35,7% badanych.

Badania ankietowe wśród przedsiębiorców pozwoliły przede wszystkim określić konkurencyjność i innowacyjność przedsiębiorstw z województwa podlaskiego, ich stan wiedzy na temat nanotechnologii i możliwości ich wykorzystania.

## 2. Analiza potencjału rozwojowego przemysłu województwa podlaskiego w zakresie wykorzystania nanotechnologii

### 2.1. Analiza potencjału technologicznego

Potencjał technologiczny każdego przedsiębiorstwa uzależniony jest od: czynników wewnętrznych i zewnętrznych. Do czynników wewnętrznych można zaliczyć:

- poziom posiadanego parku technicznego;
- rodzaj wdrażanych technologii;
- poziom oraz zakres informatyzacji przedsiębiorstwa;
- sposób organizacji procesów produkcyjnych;
- rodzaj i złożoność oferowanych produktów;
- zakres specjalizacji;
- sposób zarządzania przedsiębiorstwem, w tym skłonność kadry zarządczej do generowania innowacji;
- sytuację finansową przedsiębiorstwa;
- potencjał i umiejętności pracowników organizacji.

Wewnętrzny potencjał organizacji określający jego rozwój technologiczny jest w silnym stopniu uzależniony od czynników zewnętrznych, na które składają się:

- ogólny poziom rozwoju technicznego i technologicznego w danym sektorze;
- polityka państwa w zakresie wsparcia innowacji technologicznych;
- stopień dostępności do nowych technologii;
- zakres oraz poziom zmienności potrzeb rynków docelowych;
- konkurencja;
- ogólna sytuacja gospodarcza;
- uwarunkowania prawne.

Istotna jest również sytuacja w najbliższym otoczeniu przedsiębiorstwa, determinowana specyfiką oraz poziomem rozwoju gospodarczego regionu, w którym przedsiębiorstwo funkcjonuje oraz gotowość podmiotów do utrzymywania bliskich relacji z dostawcami oraz odbiorcami produktów. Trwałość tych

związków jest często uzależniona od posiadanego potencjału technologicznego. Szczególnie w odbiorze klientów jest to czynnik niejednokrotnie decydujący o poziomie zaufania wobec przedsiębiorstwa.

Obecnie nanotechnologie mogą być rozpatrywane jako stymulanty rozwoju potencjału technologicznego przedsiębiorstwa w kategoriach uwarunkowań wewnętrznych, jak i zewnętrznych. Wdrożona nanotechnologia to zasób, kreator wartości dodanej. Wdrożenie nanotechnologii jest także warunkowane rozwojem konkurencji, potrzebami rynków docelowych i tempem rozwoju innowacji w danym sektorze.

Nanotechnologie w rozwoju potencjału technologicznego można analizować z punktu widzenia pojedynczego przedsiębiorstwa, ale także zbiorowości przedsiębiorstw, kształtujących wizerunek poszczególnych branż czy regionów. Są one ściśle utożsamiane z rozwiązaniami o charakterze stricte technologicznym. Na poziomie regionu do czynników technologicznych należy zaliczyć [26]:

- dostęp do światowych nanotechnologii;
- infrastrukturę B+R w regionie;
- stan badań wdrożeniowych w zakresie nanotechnologii w regionie;
- stan transferu technologii z nauki do gospodarki regionu;
- potencjał zastosowań nanotechnologii w gospodarce regionu;
- poziom nowoczesności technologii w kluczowych sektorach gospodarki regionu;
- potencjał krajowy w dziedzinie nanotechnologii;
- stan badań podstawowych w zakresie nanotechnologii w regionie;

- infrastrukturę techniczną regionu;
- infrastrukturę ICT w regionie;
- oddziaływanie na środowisko.

Badania związane z budowaniem potencjału technologicznego przez przedsiębiorstwa w związku z wdrażaniem nanotechnologii miały wymiar zewnętrzny, to znaczy określały związki pomiędzy zbiorowością przedsiębiorstw a otoczeniem. Duże znaczenie w określeniu poziomu potencjału technologicznego ma także poznanie opinii pojedynczych przedsiębiorstw w zakresie wdrożenia lub też planowanego wdrażania nanotechnologii. We wnioskowaniu posłużono się wynikami ankiet przeprowadzonych wśród wybranych podlaskich przedsiębiorstw. Analiza potencjału technologicznego w związku z wdrażaniem nanotechnologii została oceniona na podstawie:

- sprawdzenia, jak wiele przedsiębiorstw stosuje nanotechnologie w procesie produkcyjnym;
- określenia gotowości przedsiębiorstw do zastosowania nanotechnologii w przyszłości;
- wskazania głównych determinant decydujących o wdrażaniu nanotechnologii.

Spośród badanych przedsiębiorstw tylko 19% udzieliło twierdzącej odpowiedzi odnośnie wdrażania nanotechnologii (rys. 9).

Nanotechnologie jako wyznacznik potencjału technologicznego charakteryzują nieliczne firmy, co może wynikać z:

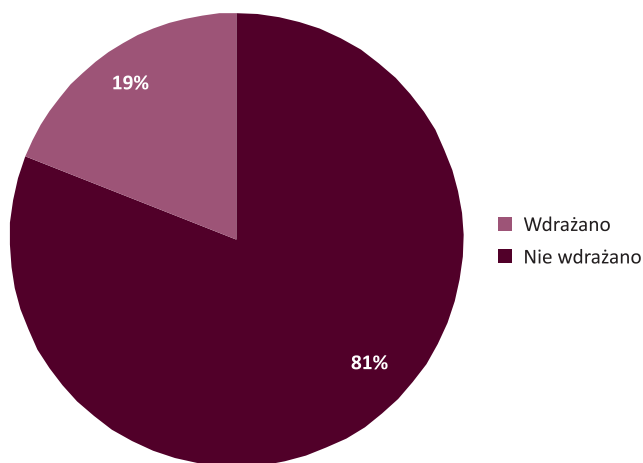
- niskiego poziomu wiedzy przedsiębiorców w zakresie nanotechnologii,
- posiadanego parku technologicznego,
- ograniczonej dostępności do nowych technologii,
- barier finansowych,
- niskiej świadomości w zakresie innowacyjności.

Praktyka gospodarcza pokazuje, że istnieją silne związki pomiędzy wielkością przedsiębiorstwa a jego strategią. Małe przedsiębiorstwa, często funkcjonujące na potrzeby lokalnych rynków, są ostrożne w realizacji strategii polegających na ekspansji rynkowej. Innowacje mają w takich przypadkach charakter ulepszeń, a ich celem jest zachowanie dotychczasowej pozycji rynkowej.

W badanych przedsiębiorstwach najczęściej wykorzystywano następujące rodzaje nanotechnologii:

- układy scalone;

**Rys. 9.** Procent badanych przedsiębiorstw pod względem wdrażanych nanotechnologii



Źródło: opracowanie własne.

- jony srebra w bawelnie;
- inne materiały z jonami srebra;
- nici srebrne w odzieży;
- jony srebra w włóknach polimerowych;
- metale i lekkie stopy;
- farby;
- technologie wykorzystywane w maszynach do obróbki płyt metalowych.

Wykorzystuje się niewiele nanotechnologii. Rozwijają się one przede wszystkim w branży odzieżowej (bieliźniarstwie) oraz branży metalowej. Na podstawie przeprowadzonych wyników badań można wnioskować także, iż potencjał technologiczny oparty na nanotechnologiach jest determinowany zdolnościami kooperacyjnymi oraz wymianą doświadczeń. Potwierdzeniem jest inicjatywa klastrowa w podlaskim sektorze bieliźniarskim, która ułatwia działania innowacyjne, co przekłada się bezpośrednio na potencjał technologiczny przedsiębiorstw.

Uczestniczące w badaniu przedsiębiorstwa, które potwierdzały wykorzystywanie nanotechnologii w procesie produkcyjnym, deklarowały dalszy ich rozwój. Zamiar poszerzenia zakresu wdrażanych nanotechnologii głównie o układy mikroprocesowe i nanotech-

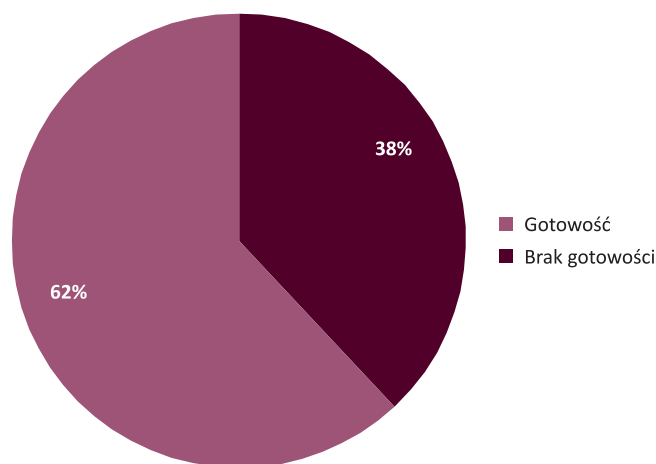
nologii oparte na kofeinie zamiast jonów srebra potwierdziło 62% spośród badanych firm (rys. 10).

Dla większości przedsiębiorstw wdrażanie nanotechnologii jest procesem cyklicznym. Zastosowanie nanotechnologii wpłynęło nie tylko na potencjał technologiczny przedsiębiorstwa, ale także było przedsięwzięciem mającym bezpośrednie przełożenie na osiągnięte wyniki ekonomiczne, wielkość obsługiwanych rynków, pozycję konkurencyjną oraz atrakcyjność oferowanych produktów, a tym samym poziom zadowolenia klientów.

Badania potwierdziły również, iż nanotechnologie są ściśle rozprzetywane na gruncie innowacji o charakterze typowo technologicznym, decydującym w największym stopniu o rozwoju parku maszynowego i technologicznego. Przedsiębiorstwom zadano także pytanie odnośnie zmian, których wymaga wdrażanie nanotechnologii. Jako główne obszary wskazano (rys. 11):

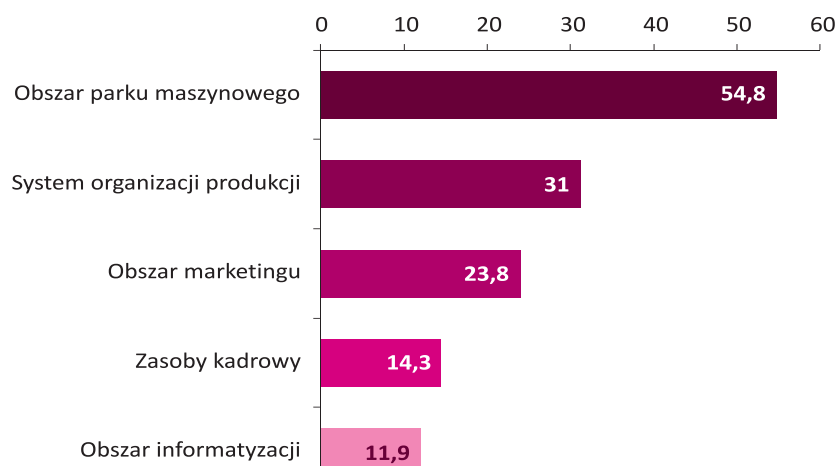
- park maszynowy;
- informatyzację;
- marketing;
- zasoby kadrowe;
- system organizacji produkcji.

**Rys. 10.** Gotowość przedsiębiorstw stosujących nanotechnologie do ich rozszerzenia o nowe rodzaje



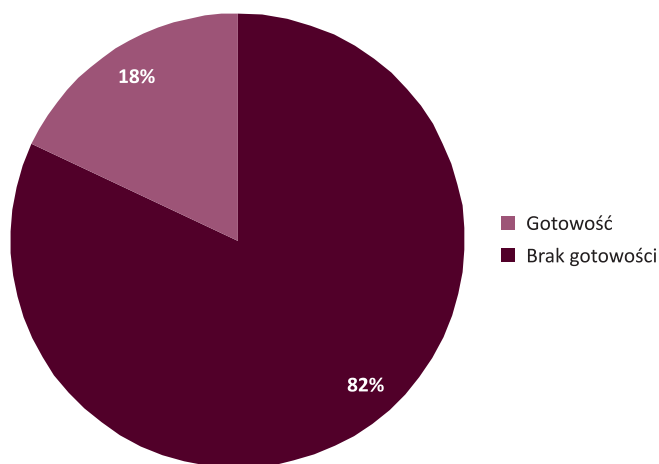
Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 11.** Obszary zmian w przedsiębiorstwie w związku z zastosowaniem nanotechnologii



Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 12.** Gotowość badanych przedsiębiorstw nie stosujących do tej pory nanotechnologii do wdrożenia nanorozwiązań



Źródło: opracowanie własne.

Zdecydowana większość uczestniczących w badaniu, wskazała na konieczność zmian w obszarze parku maszynowego. Za obszar o dużym znaczeniu uznano także system organizacji produkcji. Z jednej strony, może to potwierdzać znaczenie nanotechnologii jako czynnika

stricte krejującego potencjał technologiczny, jednak z drugiej strony, widoczny jest brak postrzegania nanotechnologii jako czynnika popytotwórczego, wspomagającego procesy oferty produktu.

Niższą skłonność do stosowania nanotechnologii, a tym samym rozwoju potencjału opartego na nanotechnologiach, wykazują przedsiębiorstwa, które dotychczas nie miały żadnych doświadczeń w tym zakresie. W świetle wyników badań, zdecydowana większość z nich, bo aż 82% nie zamierza wdrożyć rozwiązań tego typu (rys. 12).

Taki rozkład odpowiedzi może wynikać z niskiego poziomu wiedzy na temat nanotechnologii i postrzeganiu tego czynnika w kategoriach nowości, która nie spowoduje szybkiej poprawy sytuacji rynkowej przedsiębiorstwa. Wiele podlaskich przedsiębiorstw, w związku z silną dynamiką rynku skupia się na aktualnej sytuacji przedsiębiorstwa, a nie dokonuje wyborów o charakterze długookresowym. Niedostatecznie uwypuklana jest również zależność pomiędzy poziomem rozwoju technologicznego a atrakcyjnością oferty rynkowej.

Przedsiębiorstwa, które w toku procesu badawczego wskazały na plany rozwoju potencjału technologicznego opartego na nanotechnologiach odkładają zamierzenie w czasie. Wśród firm deklarujących stosowanie nanotechnologii w przyszłości 60% nie ma sprecyzowanych planów w tym zakresie. W okresie dłuższym niż trzy lata nanotechnologie zamierza wprowadzić 10% badanych firm. Taki sam

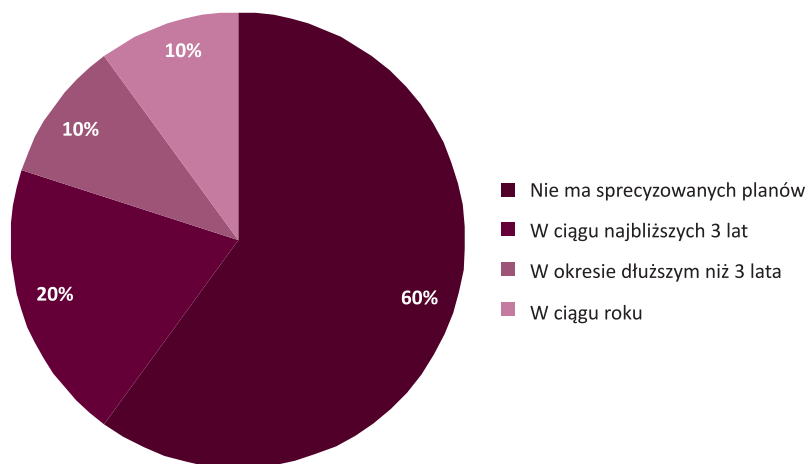
odsetek zamierza wdrożyć innowacyjne technologie w ciągu roku. 20% spośród ankietowanych firm planuje wdrożenie nanotechnologii w przeciągu trzech lat (rys. 13). Brak sprecyzowanych planów oraz wyraźne odkładanie przedsięwzięcia w czasie potwierdza wcześniejszą interpretację wyników badań, wskazujących, iż potencjał wiedzy oraz świadomość menedżerów w zakresie nanotechnologii jest niska.

Ten fakt potwierdzają również odpowiedzi udzielone przez menedżerów w zakresie rodzajów nanotechnologii planowanych do wdrożenia w procesie produkcyjnym w najbliższej przyszłości. Niewielu spośród badanych potrafiło zdefiniować nanotechnologie. Powtarzały się odpowiedzi „widoczny jest brak danych w tej dziedzinie” i „oczekujemy propozycji w tym zakresie”.

Odnosząc się do konkretnych rozwiązań innowacyjnych wskazano na następujące rodzaje nanotechnologii:

- nowatorskie powłoki antybakteryjne dla aparatury produkcyjnej w przemyśle spożywczym;
- kofeina w tkaninie jako produkt wyszczuplający;
- wykorzystanie bawełny w tkaninie;
- zasilanie napędu łodzi.

**Rys. 13.** Planowany czas wdrażania nanotechnologii w badanych przedsiębiorstwach



Źródło: opracowanie własne.



Nanotechnologie w opinii badanych przedsiębiorstw są znaczącym czynnikiem sprawczym, decydującym o rozwoju potencjału technologicznego przedsiębiorstw. Świadczy to o jednokierunkowym postrzeganiu nanotechnologii tylko w kategoriach technologicznych. W mniejszym stopniu dostrzega się ten rodzaj usprawnień jako czynnik popytowy, wpływający na poziom zaspokojenia potrzeb rynków docelowych.

Wiedza na temat nanotechnologii jako czynnika decydującego o rozwoju potencjału technologicznego jest w dużym stopniu ograniczona. Przedsiębiorcy często oceniają zjawiska posługując się uogólnieniami. Jest to po-

twierdzeniem luki informacyjnej w tym zakresie oraz szansą dla sfery nauki w poszukiwaniu możliwości jej zapelnienia.

Większą skłonność do wykorzystywania nanotechnologii mają przedsiębiorstwa, które posiadają już ten rodzaj usprawnień. Należy wnioskować, iż nanotechnologie w opinii większości badanych firm je wykorzystujących mają bezpośrednie przełożenie na osiągnięte efekty produkcyjne i rynkowe.

Przedsiębiorstwa wdrażające nanotechnologie po raz pierwszy w większości przypadków nie są w stanie wskazać ram czasowych przedsięwzięcia.

## 2.2. Analiza potencjału ekonomicznego

Potencjał ekonomiczny przedsiębiorstwa generowany jest poprzez jego zdolność do pokrywania bieżących potrzeb firmy oraz skuteczność ekspansji rynkowej. Rozwój potencjału ekonomicznego przedsiębiorstwa zależy od wielu czynników, wśród których można wymienić:

- wielkość i chłonność rynków zbytu;
- atrakcyjność oferty rynkowej;
- zdolność do dostarczania klientom wartości dodanej;
- kapitał relacyjny;
- skuteczny marketing;
- skuteczne zarządzanie przedsiębiorstwem we wszystkich obszarach funkcjonalnych.

Przy ocenie rozwoju potencjału ekonomicznego przedsiębiorstwa oparteo na nanotechnologiach ważna wydaje się być identyfikacja pewnych zależności, jakie mogą mieć miejsce w procesie wdrażania i stosowania nanotechnologii – stąd w badaniu ankietowym posłużono się następującymi pytaniami:

1. Jaka jest ocena sytuacji ekonomicznej w poszczególnych firmach?
2. W jaki sposób zastosowanie nanotechnologii wpłynęło (lub może wpłynąć) na sytuację ekonomiczną firmy?
3. Jakie przewidywane są najważniejsze strategiczne kierunki rozwoju przedsiębiorstwa w związku z zastosowaniem lub możliwością zastosowania nanotechnologii?

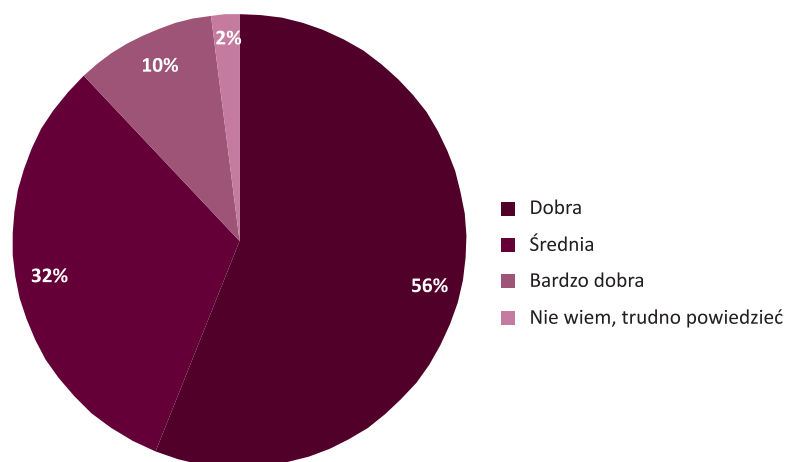
4. Jakie były/mogą być źródła finansowania nanotechnologii w przedsiębiorstwie?

Jak wskazują wyniki, zdecydowaną większość przedsiębiorstw charakteryzuje dobra sytuacja ekonomiczna. Tak twierdzi 56% badanych firm, 10% spośród ankietowanych ocenia sytuację ekonomiczną jako bardzo dobrą, a 32% jako średnią (rys. 14).

Powyższy rozkład odpowiedzi może wynikać przede wszystkim z atrakcyjności sektorów, w których działają badane firmy. Reprezentowane branże zaliczają się bowiem do sektorów wzrostowych. Należy też pamiętać, iż menedżerowie niechętnie udzielają odpowiedzi na pytania, które dotyczą sytuacji ekonomicznej i częściej wybierają wariant bardziej optymistyczny.

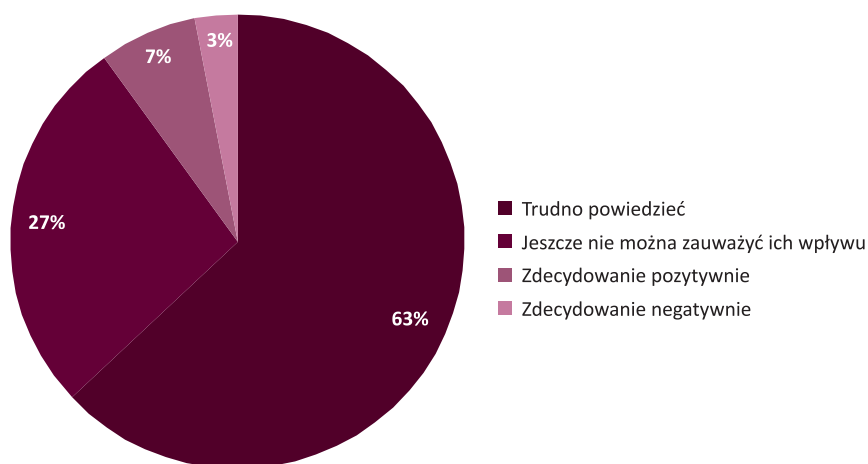
Szczególnie istotne w procesie badawczym było uzyskanie odpowiedzi na pytanie: „w jaki sposób nanotechnologie mogą wpłynąć na sytuację ekonomiczną przedsiębiorstw?” (rys. 15). Większość przedsiębiorstw, bo aż 63%, nie potrafiło udzielić jednoznacznej odpowiedzi na tak postawione pytanie. Najczęściej pojawiającym się wariantem odpowiedzi było „trudno powiedzieć”. W opinii 27% badanych przedsiębiorstw jest za wcześnie na jednoznaczne deklaracje. Tylko 7% ankietowanych postrzega nanotechnologie jako czynnik mający jednoznacznie pozytywny wpływ na sytuację ekonomiczną przedsiębiorstwa

**Rys. 14.** Ocena sytuacji ekonomicznej w opinii badanych przedsiębiorstw



Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 15.** Wpływ nanotechnologii na sytuację ekonomiczną przedsiębiorstwa



Źródło: opracowanie własne.

Taki rozkład odpowiedzi wynika także z faktu, iż nanotechnologie, szczególnie w regionie podlaskim, są zjawiskiem stosunkowo nowym. Efekty tego typu przedsięwzięć rozpatruje się w długim okresie. Ponadto, stan wiedzy o nanotechnologiach wśród podlaskich

przedsiębiorców jest raczej niski. Analiza związków przyczynowo-skutkowych nie była więc we wszystkich przypadkach rzetelna.

Sytuacja ekonomiczna przedsiębiorstwa, a tym samym jego potencjał ekonomiczny, zależy w dużym stopniu od strategicznych kie-

runków rozwoju firmy. W trakcie procesu badawczego przedsiębiorstwa poproszono o wskazanie tych kierunków rozwoju, których realizacja zależy może w największym stopniu od nanotechnologii. Wybór odpowiedzi ograniczał się do następujących wariantów:

- wzrost udziału w rynku;
- wzrost wielkości produkcji;
- nowe inwestycje w park maszynowy;
- wzmocnienie relacji z dostawcami;
- wejście na nowe rynki zbytu;
- zwiększenie eksportu;
- rozszerzenie ofert produktowej;
- uruchomienie nowych kanałów dystrybucji.

Wyniki badań wskazują, iż nanotechnologie mogą wpłynąć na rozwój potencjału ekonomicznego przedsiębiorstwa, przede wszystkim umożliwiając wejście na nowe rynki zbytu, wpływając na wzrost wielkości produkcji oraz wzrost udziału w rynku (po 24%). Rozszerzenia oferty produktowej oraz inwestycje w park maszynowy wskazało po 19% badanych. Najmniej spośród badanych firm dostrzegło wpływ nanotechnologii na rozwój eksportu,

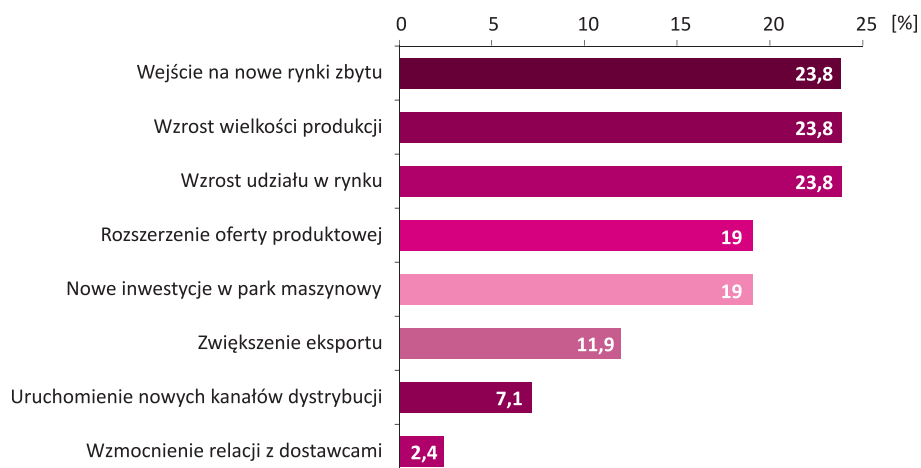
poszerzenie sieci dystrybucji oraz wzmocnienie relacji z dostawcami (rys. 16).

Brak wyraźnie zarysowanych tendencji we wskazanych odpowiedziach po raz kolejny potwierdza brak ściśle ukierunkowanej wiedzy o nanotechnologiach. Należy domniemywać, iż wskazania mają w wielu wypadkach charakter przypuszczeń.

Potencjał ekonomiczny to także zdolność do finansowania innowacyjnych przedsięwzięć. Na pytanie, jakie były lub też mogą być źródła finansowania nanotechnologii, najczęściej wskazań (79%) dotyczyło środków unijnych. Zaangażowanie środków własnych na rozwój nanotechnologii zadeklarowało 29% badanych firm. Najmniej firm w finansowaniu tego typu przedsięwzięć zamierza skorzystać z kredytu (rys. 17).

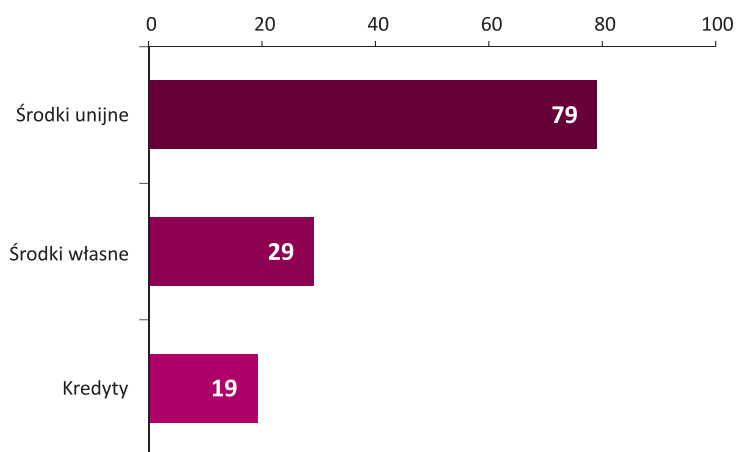
Podlaskie firmy dostrzegają pozytywny wpływ nanotechnologii na rozwój potencjału ekonomicznego. Korzystny charakter oddziaływania nanotechnologii jest jednak oceniany na poziomie dużej ogólności, co świadczy o konieczności systematycznego monitorowania zmian postaw i opinii firm w tym zakresie.

**Rys. 16.** Możliwe kierunki rozwoju przedsiębiorstwa opartego na nanotechnologiach



Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 17.** Źródła finansowania nanotechnologii w opinii podlaskich przedsiębiorstw [%]



Źródło: opracowanie własne.

### 2.3. Analiza potencjału wiedzy

Wiedza to kapitał współczesnej organizacji. Potencjał wiedzy jest wyznacznikiem zdolności przedsiębiorstwa do jej zdobywania, analizowania i wykorzystywania w celu umocnienia dotychczasowej lub zwiększenia pozycji konkurencyjnej. Potencjał wiedzy firmy jest wyznaczany poziomem generowania przez nią nowych technologii nie tylko w kategoriach ich absorpcji, ale przede wszystkim tworzenia rozwiązań decydujących o wyróżnianiu się przedsiębiorstwa na tle innych. W takich właśnie kategoriach należy rozpatrywać nanotechnologie.

Przeprowadzone badania ankietowe potwierdzają niski poziom wiedzy przedsiębiorstw w zakresie nanotechnologii. Wynika to z następujących przesłanek:

- przedsiębiorstwa w toku ankietyzacji posługiwały się raczej wiedzą ogólną; wyraźne trudności związane były przykładowo ze wskazywaniem określonych nazw po-

szczególnych nanotechnologii właściwych dla określonych branż;

- ogólny poziom wiedzy decydował także o udzielaniu odpowiedzi opartych na przypuszczeniach a nie na faktach;
- przedsiębiorstwa wskazywały na pozytywne aspekty wynikające z zastosowania nanotechnologii, ale nie potrafiły wskazać na konkretne związki przyczynowo-skutkowe. Budowanie potencjału wiedzy opartego na nanotechnologiach ograniczają:
  - specyfika nanotechnologii jako zjawiska stosunkowo nowego, mającego szeroki zakres i zasięg;
  - ciągły rozwój nanotechnologii wymagający systematycznego poszerzania wiedzy;
  - konieczność wprowadzania zmian w wielu sferach funkcjonowania przedsiębiorstwa w związku z wprowadzaniem nanotechnologii, co wskazuje na wieloaspektowość analizowanej problematyki.

Należy pamiętać, iż potencjał wiedzy uzależniony jest także od umiejętności jej pozyskiwania, także w aspekcie poszukiwania właściwych źródeł wiedzy. Istotnego znaczenia nabiera w tym aspekcie potencjał wiedzy pracowników, wymiana doświadczeń oraz współpraca praktyki z nauką. Wiedza to także czerpanie z dokonań innych firm oraz umiejętność gromadzenia informacji rynkowych.

Dla określenia zdolności podlaskich przedsiębiorstw w tym zakresie ważne okazało się uzyskanie odpowiedzi na następujące pytania:

1. Czy w procesie wdrażania nanotechnologii wykorzystywany jest benchmarking?
2. Jakie przedsiębiorstwa są odniesieniem dla firm w związku z wdrażaniem nanotechnologii?
3. Czy były przeprowadzane testy produktów konkurencyjnych?
4. Czy wprowadzanie nanotechnologii było poprzedzone badaniami rynku?

Wyniki przeprowadzonych badań pokazują, iż wykorzystanie benchmarkingu w zakresie wdrażania nanotechnologii nie jest rozwiązaniem powszechnym. Tylko 17% spośród badanych firm potwierdza zastosowanie tej metody (rys. 18).

Polskie przedsiębiorstwa częściej deklarują czerpanie doświadczenia od przedsiębiorstw krajowych niż od firm zagranicznych (rys. 19). Być może jest to spowodowane tym, iż sytuacja przedsiębiorstw krajowych jest bardziej porównywalna. Zbliżone są także uwarunkowania funkcjonowania przedsiębiorstw w bliższym i dalszym otoczeniu.

Badania ankietowe wskazują, iż przedsiębiorstwa nie testowały produktów firm konkurencyjnych w związku z wdrażaniem nanotechnologii. Nie jest to traktowane w kategoriach znaczącego źródła wiedzy nie tylko o produktach, ale także o dokonaniach rynkowych bezpośrednich konkurentów. 40% firm, które wdrożyły lub też planują wdrożyć nanotechnologie, nie wykorzystywały testów jako źródła wiedzy (rys. 20).

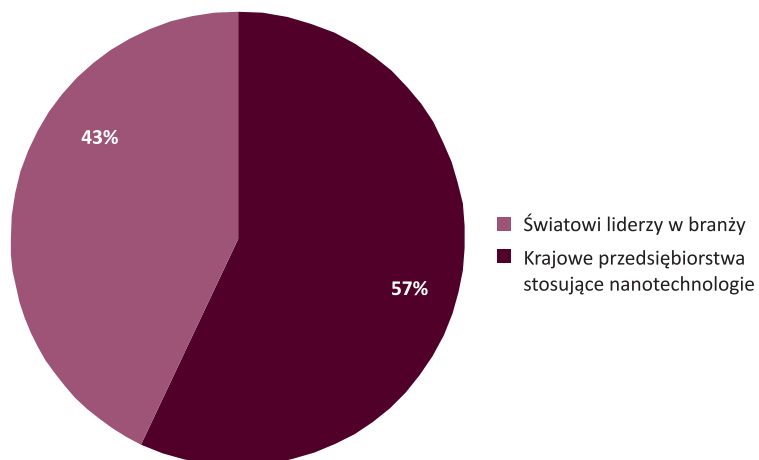
Potencjał wiedzy budowany jest na bazie systemu pozyskiwania informacji w procesie badań rynkowych. Wyniki badań wskazują, iż 67% firm posiadających wdrożone nanotechnologie lub planujących ich zastosowanie w przyszłości, wykorzystuje badania marketingowe (rys. 21).

**Rys. 18.** Stopień wykorzystywania benchmarkingu w procesie wdrażania nanotechnologii



Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 19.** Krajowe i zagraniczne przedsiębiorstwa jako punkty odniesienia w procesie benchmarkingu dla podlaskich przedsiębiorstw



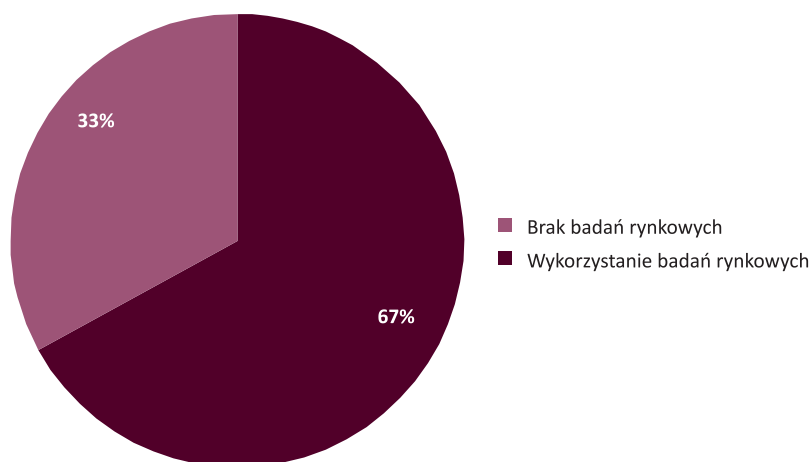
Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 20.** Testy produktów jako źródło wiedzy



Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 21.** Stopień wykorzystania badań rynku w procesie wdrażania nanotechnologii



Źródło: opracowanie własne.

Należy dostrzec bezpośrednie zależności pomiędzy potencjałem wiedzy a zastosowaniem nanotechnologii. Po pierwsze, właściwie zgromadzona wiedza zmniejsza ryzyko porażki rynkowej. Po drugie, nanotechnologie są zjawiskiem stosunkowo nowym, wymagają

więcej wiedzy bieżącej i aktualizowanej. Luka informacyjna jest szansą dla uczelni i instytutów naukowo-badawczych, co może być ważnym czynnikiem powodującym zacieśnianie związków pomiędzy nauką i praktyką gospodarczą.

## 2.4. Poziom konkurencyjności i innowacyjności podlaskich przedsiębiorstw w zakresie stosowania nanotechnologii

Wyniki zaprezentowane w poniższym podrozdziale odnoszą się do badań w następujących trzech obszarach:

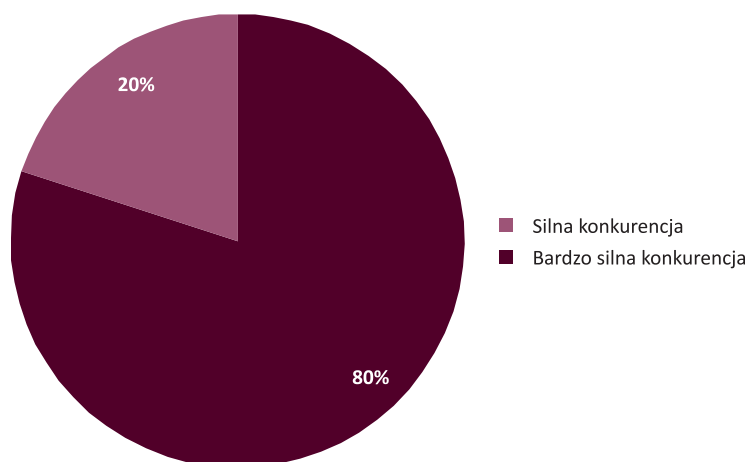
1. Konkurencyjność i innowacyjność przedsiębiorstw stosujących nanotechnologie.
2. Konkurencyjność i innowacyjność przedsiębiorstw planujących zastosowanie nanotechnologii w przyszłości.
3. Konkurencyjność i innowacyjność przedsiębiorstw w opinii firm, które nie stosują nanotechnologii.

W świetle przeprowadzonych badań, zdecydowana większość przedsiębiorstw stosujących

nanotechnologie, ocenia konkurencję w swojej branży jako bardzo silną. Taką opinię wyraża 80% firm. Zdaniem pozostałej części (20%) konkurencję należy ocenić jako silną (rys. 22).

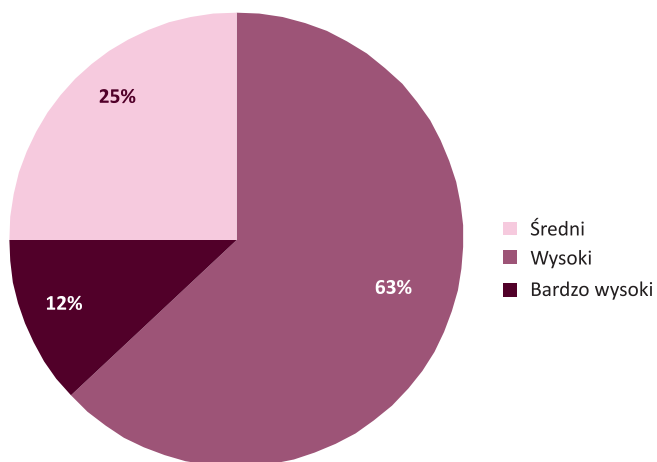
Takie postrzeżenie konkurencji w sektorze wymusza konieczność stosowania nowych instrumentów konkurowania. Zastosowanie nanotechnologii w tej grupie przedsiębiorstw, może potwierdzać fakt, iż taki rodzaj usprawnień jest jednym ze skutecznych narzędzi konkurowania. Silna konkurencja wymusza niestandardowe metody wyróżniania się na rynku, stąd rola nanotechnologii.

**Rys. 22.** Ocena poziomu konkurencji w sektorze w opinii przedsiębiorstw stosujących nanotechnologie



Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 23.** Ocena poziomu innowacyjności branży przez przedsiębiorstwa stosujące nanotechnologie



Źródło: opracowanie własne.

Zdecydowana większość badanych przedsiębiorstw (rys. 23), (63%) ocenia poziom innowacyjności sektora, w którym działa jako wysoki. W opinii 13% badanych poziom innowacyjności jest bardzo wysoki. Zdaniem 25%

firm z badanej grupy, poziom innowacyjności należy uznać jako średni. Na tej podstawie można wnioskować, iż zastosowanie nanotechnologii może być rezultatem relacji zachodzących pomiędzy przedsiębiorstwami w sek-



torze. Konkurowanie o rynki zbytu wymusza innowacyjność, a nanotechnologie stanowią ważną alternatywę w tym zakresie.

Na podstawie uzyskanych odpowiedzi dotyczących oceny poziomu konkurencyjności i innowacyjności, można uznać, że przedsiębiorstwa stosujące nanotechnologie, są organizacjami o większym stopniu świadomości rynkowej.

Na pytanie, czym przejawia się lub przejawiać się może wzrost konkurencyjności firmy w sektorze w związku z zastosowaniem nanotechnologii, odpowiedziano (rys. 24):

- nanotechnologie w największym stopniu wpływają na zwiększenie jakości produktu (75% stosujących nanotechnologie);
- nanotechnologie zwiększają szansę wejścia na nowe segmenty rynku (38% stosujących nanotechnologie);
- nanotechnologie mogą dynamizować procesy sprzedaży (38% stosujących nanotechnologie);
- nanotechnologie mogą wpływać na poprawę wizerunku (38%) oraz rozszerzenie oferty asortymentowej (38%).

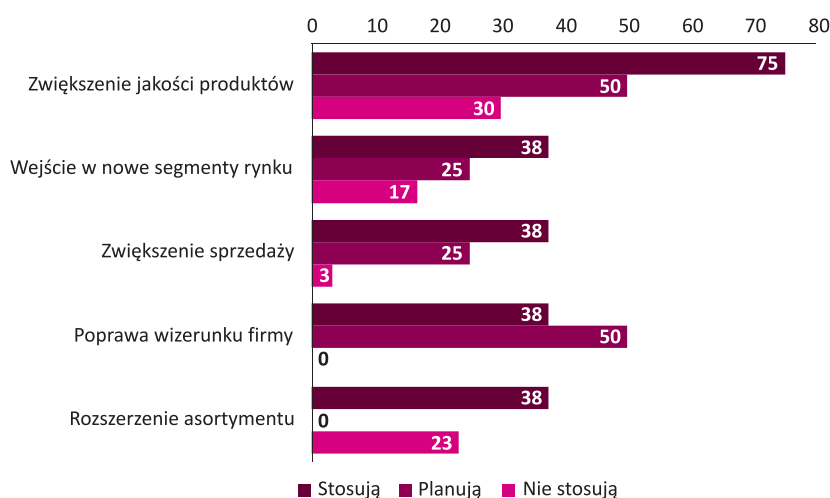
Przedsiębiorstwa, które planują wykorzystanie nanotechnologii w przyszłości postrze-

gają konkurencję w swoich branżach zupełnie inaczej niż firmy, które już stosują nanotechnologie. Połowa przedsiębiorstw deklarujących zamiar wdrożenia tego typu usprawnień w przyszłości, ocenia konkurencję w sektorze jako słabą, 25% jako silną i tyle samo jako bardzo silną (rys. 25). Można więc wnioskować, iż relacje wytworzone pomiędzy przedsiębiorstwami z analizowanej grupy nie są wystarczającym bodźcem do kreowania przedsięwzięć nakierowanych na konieczność wyróżniania się w świadomości klientów oraz na tle firm w sektorze. Stąd wynika odkładanie decyzji o zastosowaniu nanotechnologii w czasie.

Zdecydowana większość reprezentantów analizowanej grupy przedsiębiorstw ocenia poziom innowacji branży, w której funkcjonuje jako średni (75% wskazań). W opinii 25% badanych poziom innowacyjności sektora należy uznać jako słaby (rys. 26).

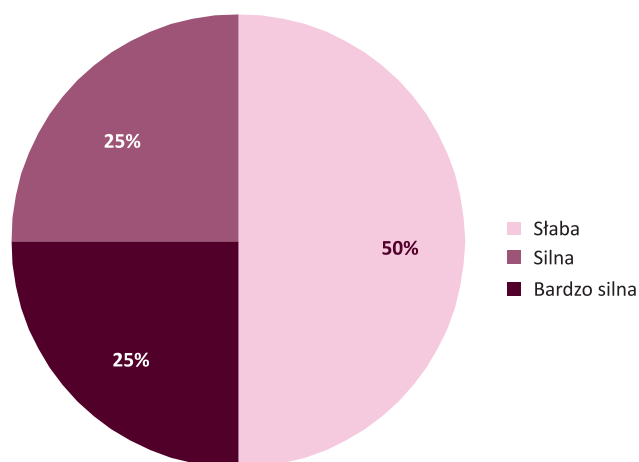
W tym wypadku także można wnioskować, iż poziom rywalizacji pomiędzy firmami w sektorze nie wymusza wyraźnych postaw proinnowacyjnych. Należy uznać, iż relacje zachodzące pomiędzy badanymi firmami nie są wyznacznikiem postaw proinnowacyjnych i nie zwiększają skłonności do zmian.

**Rys. 24.** Symptomy wzrostu konkurencyjności przedsiębiorstw w związku z zastosowaniem nanotechnologii



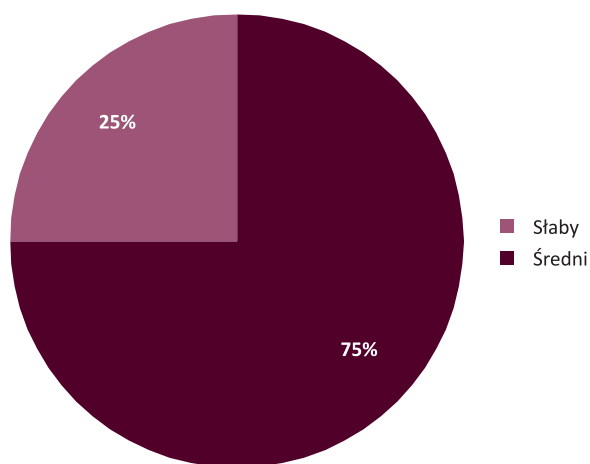
Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 25.** Ocena poziomu konkurencji w sektorze w opinii przedsiębiorstw planujących zastosowanie nanotechnologii



Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 26.** Ocena poziomu innowacyjności branży przez przedsiębiorstwa planujące wdrożenie nanotechnologii



Źródło: opracowanie własne.

Wpływ nanotechnologii na wzrost konkurencyjności przedsiębiorstw, w opinii tej grupy firm, będzie przejawiał się poprzez:

- wzrost jakości produktów;
- poprawę wizerunku firmy;
- wejście na nowe segmenty rynku;

- zwiększenie sprzedaży.

Przeprowadzone wyniki badań potwierdzają, iż przedsiębiorstwa planujące wdrożenie nanotechnologii wykazują postawę raczej zachowawczą. Wynika ona przede wszystkim z relacji, jakie występują pomiędzy firmami na

poziomie sektorów. Nie wymuszają one skłonności do zmian oraz nie są bezpośrednią przyczyną przedsięwzięć o charakterze proinnowacyjnym. Planowanie zastosowania nanotechnologii w przyszłości pokazuje świadomość przedsiębiorstw w zakresie korzyści wynikających z zastosowania nanotechnologii, ale biorąc pod uwagę sytuację w sektorze, decyzje o ich zastosowaniu są odkładane w czasie.

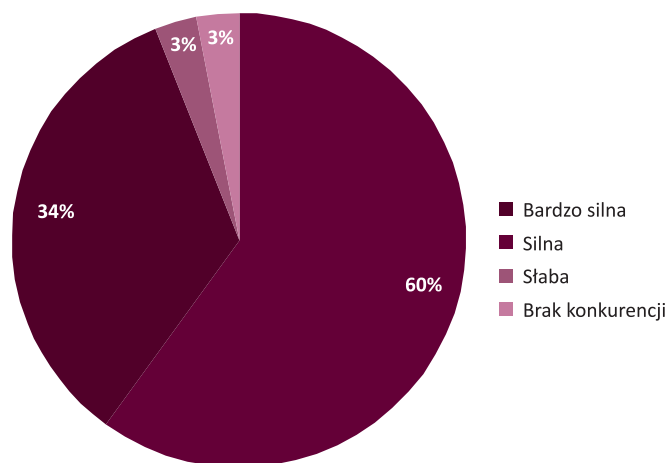
Przedsiębiorstwa, które aktualnie nie stosują nanotechnologii oraz nie mają sprecyzowanych planów ich wdrożenia w przyszłości, oceniają konkurencję w swojej branży jako silną. Taką opinię wyraża 60% firm, a 34% wskazuje, iż jest bardzo silna (rys. 27)

Przedsiębiorstwa tej grupy nie postrzegają nanotechnologii jako istotnego czynnika kon-

kurowania. Może to wynikać z niskiego poziomu wiedzy o nanotechnologiach, albo też z opinii firm odnośnie skuteczności innych narzędzi konkurowania.

Wyraźnie są zróżnicowane opinie przedsiębiorstw dotyczące oceny poziomu innowacyjności branży, w której funkcjonują (rys. 28). 37% ocenia go jako wysoki, a 40% jako średni. Rozkład odpowiedzi wskazuje, iż koniecznym jest poszukiwanie różnych metod budowania potencjału innowacyjnego. Brak wyraźnej deklaracji dotyczących wykorzystania nanotechnologii w tworzeniu tego potencjału, podobnie jak w wypadku narzędzi konkurowania, jest wynikiem świadomych działań lub też przejawem niedostatecznej wiedzy firm o nanotechnologiach.

**Rys. 27.** Ocena poziomu konkurencji w sektorze w opinii przedsiębiorstw, które nie stosują nanotechnologii



Źródło: opracowanie własne.



## 3. Etapy identyfikacji priorytetowych nanotechnologii kluczowych

### 3.1. Kryteria oceny technologii kandydujących

W ramach realizacji zadania polegającego na opracowaniu wstępnego katalogu nanotechnologii została przygotowana lista technologii, kandydujących do miana technologii kluczowych. Została ona sporządzona na podstawie wiedzy eksperckiej członków Panelu mapowania technologii i kluczowych technologii. Celem sporządzenia wykazu nanotechnologii poproszono członków panelu o wskazanie własnych propozycji nanotechnologii.

Łącznie otrzymano od ekspertów 73 propozycje nanotechnologii. Zostały one uporządkowane i uzupełnione przez Kluczowy Zespół Badawczy w trakcie warsztatów naukowych. Ostatecznie na wykazie technologii kandydujących znalazło się 57 technologii z następujących obszarów zastosowań:

- przemysł drzewny;
- medycyna;
- przemysł odzieżowy;
- budownictwo i konstrukcje;
- rolnictwo i przemysł spożywczy;
- przemysł maszynowy i transport;
- ochrona środowiska.

Wyróżniono ponadto pozostałe obszary zastosowań, do których zaliczono technologie związane z nanofotoniką, spintroniką oraz nanoprocesami produkcyjnymi.

Za obszar o potencjalnych najszerszych zastosowania nanotechnologii eksperci wskazali medycynę, wyróżniając następujące kategorie nanotechnologii:

- nanocząstki dla medycyny, terapia, diagnostyka, teranostyka;
- nanorusztowania dla medycyny regeneracyjnej;
- nanokompozyty dla ortopedii i stomatologii;
- nanowarstwy dla medycyny.

Celem warsztatów było również uporządkowanie propozycji nanotechnologii i przyporządkowanie ich do obszaru zastosowań. Wyniki uporządkowania technologii zaproponowanych przez ekspertów zaprezentowano w tab. 1.

Kolejnym etapem prac było wyłonienie kryteriów oceny technologii kandydujących. Ocena wstępnego katalogu technologii oparta została na zestawie kryteriów odnoszących się do atrakcyjności oraz wykonalności [30, 4]. Proces wyboru kryteriów oceny przebiegał zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 29.

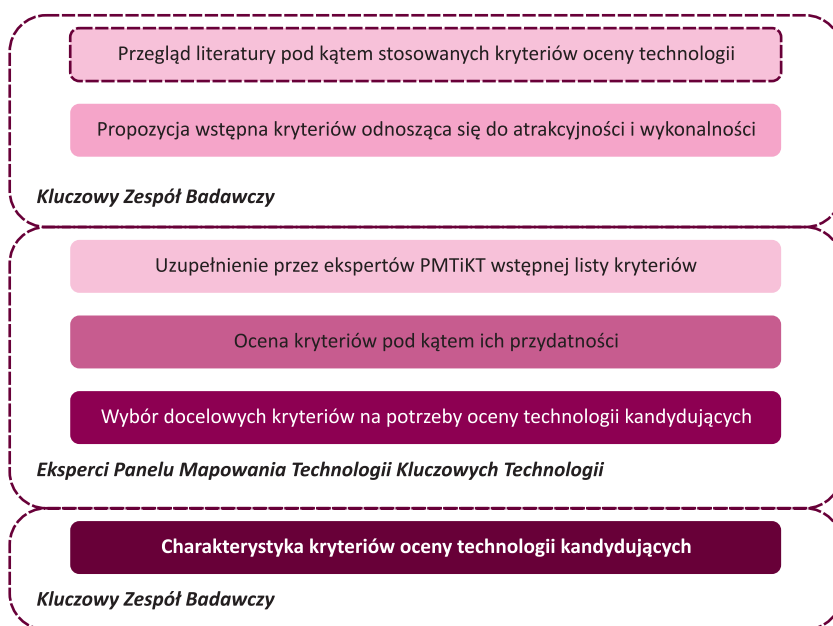
Przeprowadzone przez Kluczowy Zespół Badawczy studia literaturowe polegające na przeglądzie dotychczas realizowanych w Polsce projektów foresightowych oraz projektów zagranicznych pozwoliły na opracowanie wstępnego katalogu kryteriów oceny technologii.

Pozwoliły również zidentyfikować dwie grupy kryteriów wykorzystywanych na potrzeby oceny technologii: 1) kryteria odnoszące się do wykonalności, 2) kryteria odnoszące się do atrakcyjności.

Poprzez wykonalność należy rozumieć trudność realizacji nanotechnologii, jej potencjał badawczo-technologiczny oraz potencjał do absorpcji korzyści społeczno-gospodarczych. Poprzez atrakcyjność natomiast należy rozumieć generowane przez rozwój danej nanotechnologii korzyści społeczno-gospodarcze oraz szanse naukowo-techniczne [14] Wskazując wstępną listę kryteriów ustalono ponadto, że powinny one uwzględniać kontekst regionalny.

W dalszej kolejności poproszono ekspertów Panelu mapowania technologii i kluczo-

**Rys. 29.** Przebieg procesu wyboru kryteriów oceny technologii kandydujących



Źródło: opracowanie własne.

wych technologii o uzupełnienie wstępnej listy kryteriów o własne propozycje. W tym celu wykorzystano kwestionariusz elektroniczny. Przygotowane przez ekspertów propozycje kryteriów zostały poddane wstępnej ocenie i weryfikacji przez Koordynatora PMTiKT oraz Koordynatora Projektu Foresight technologiczny «NT FOR Podlaskie 2020» Regionalna strategia rozwoju nanotechnologii, głównie pod kątem powtarzalności treści. Ostatecznie otrzymano listę 32 kryteriów odnoszących się do wykonalności oraz listę 54 kryteriów odnoszących się do atrakcyjności.

Kolejny etap prac polegał na zawężeniu kryteriów oceny technologii do kryteriów charakteryzujących się najwyższą przydatnością.

Ekspertów Panelu mapowania technologii i kluczowych technologii poproszono o ocenę przydatności poszczególnych kryteriów z zastosowaniem 3-stopniowej skali oceny:

- 1) niską przydatność kryterium w ocenie technologii;
- 2) przeciętną przydatność w ocenie technologii;

- 3) wysoką przydatność w ocenie technologii.

Celem oceny było wyłonienie kryteriów najbardziej przydatnych do oceny nanotechnologii kandydujących, z uwzględnieniem kontekstu regionalnego rozwoju nanotechnologii. Na potrzeby oceny przydatności zastosowano elektroniczny formularz ankiety, którego wzór stanowi załącznik 1 do monografii.

Ostatecznie w wyniku dyskusji Kluczowy Zespół Badawczy zidentyfikował trzynaście kryteriów atrakcyjności, które wykorzystano do oceny technologii kandydujących (tab. 2).

### **A1 Wpływ rozwoju technologii na atrakcyjność inwestycyjną regionu (przyciąganie nowych znaczących inwestorów)**

Kryterium określa, w jakim stopniu dana nanotechnologia może wpłynąć na zainteresowanie potencjalnych inwestorów do lokowania funduszy w regionie. Odnosi się do oferowanych przez region kombinacji korzyści lokalizacji możliwych do osiągnięcia w trakcie prowadzenia działalności gospodarczej (wykorzystującej badaną nanotechnologię), stwarzając

**Tab. 1.** Wykaz technologii kandydujących według obszarów zastosowań i kategorii

Obszar badań/ zastosowań	Kategoria	Technologia	Symbol	
PRZEMYSŁ DRZEWNY	Nanomateriały z drewna i roślin	Produkcja nanocelulozy	T1	
		Wytwarzanie nanowłókien celulozowych metodą formowania w polu elektrycznym o wysokim gradiencie	T2	
	Nanotechnologie dla przetwórstwa i ochrony drewna	Nanotechnologie dla narzędzi tnących i przetwórstwa drewna	T3	
		Nanotechnologie dla ochrony drewna (mechanicznej, fizycznej, chemicznej, biologicznej)	T4	
MEDYCYNA	Nanocząstki dla medycyny, terapia, diagnostyka, teranostyka	Technologie nanoproszków do zastosowań biomedycznych	T5	
		Nanokontenery precyzyjnie dostarczające leki do komórek	T6	
		Nanotechnologie związane z systemami uwalniania leków	T7	
		Produkcja biokosmetyków i leczniczych specyfików ziołowych w nanośnikach	T8	
		Celowana nanoterapia	T9	
		Nanocząsteczki magnetyczne pod kątem ich różnorodnego wykorzystania jako: nośnik leku w lokalnej terapii magnetycznej; elementy diagnostyki medycznej; czynniki robocze w hipertermii magnetycznej	T10	
		Nanotoksykologia	T11	
		Nanodiagnostyka	T12	
		Synteza nanocząsteczek jako czynnika diagnostycznego i terapeutycznego w chorobach nowotworowych	T13	
		Nanorusztowania dla medycyny regeneracyjnej Nanokompozyty dla ortopedii i stomatologii	Technologie regeneracji tkanek oparte na nanomaterii	T14
			Nanoinżynieria tkanek	T15
			Produkcja implantów układu kostnego	T16
			Materiały kompozytowe na stałe wypełnienia stomatologiczne	T17
	Kompozytowy materiał na bazie stopów tytanu z napełniaczem węglowym do zastosowań w połączeniach kinematycznych implantów dokostnych		T18	
	Nanowarstwy dla medycyny	Biomateriał	T19	
		Nanomateriały i nanopokrycia w sprzęcie medycznym	T20	
		Nanotechnologie warstw wierzchnich do zastosowań biomedycznych	T21	
		Wytwarzanie warstw i powłok o strukturze manometrycznej z wykorzystaniem hybrydowych metod PVD	T22	
	PRZEMYSŁ ODZIEŻOWY	Nanowłókna (z nanostruktury powierzchniowej lub objętościowej) dla przemysłu tekstylnego	Produkcja nanotkanin do specjalnych zastosowań	T23
			Nanotechnologie związane z tkaninami specjalnymi np. materiały opatrunkowe	T24
			Zbrojenie materiałów polimerowych nanowłóknami	T25
	BUDOW- NICTWO I KONSTRUKCJE	Nanokompozyty polimerowe	Zbrojenie ceramiki budowlanej nanowłóknami różnym składzie chemicznym	T26
Technologie nanostrukturyzacji warstw wierzchnich o specjalnych właściwościach mechanicznych, fizycznych, chemicznych i biologicznych			T27	
Nanowarstwy zmieniające właściwości powierzchni w wyrobach przemysłu szklarskiego			T28	
Kompozyty polimerowe na bazie akrylowej z napełniaczem nanosrebra			T29	
Samoczyszczące powłoki do szerokiego spectrum zastosowań			T30	
Technologie proszkowe do wykorzystania w przetwórstwie tworzyw sztucznych, kompozycji farb i lakierów			T31	
ROLNICTWO I PRZEMYSŁ SPOŻYWCZY			Nanonawozy	Produkcja nanonawozów z użyciem nanocząsteczek, łatwiej wchłanianych przez rośliny oraz zwiększających jakość upraw
	Nanotechnologie w produkcji opakowań żywności	T33		
	Nanotechnologie dla bezpieczeństwa żywności	Produkcja inteligentnych opakowań	T34	
		Technologia nanosensorów do produkcji i testowania (produkowanej) żywności	T35	
		Nanowarstwowe powłoki antybakteryjne dla aparatury produkcyjnej przemysłu spożywczego	T36	

PRZEMYSŁ MASZYNOWY I TRANSPORT	Nanosmary	Zastosowanie nanokomponentów smarujących w elementach maszyn i urządzeń warsztatowych	T37
	Nanometale konstrukcyjne	Technologie nanostrukturyzacji metali i stopów lekkich, w szczególności oparte na metodach dużego odkształcenia plastycznego	T38
OCHRONA ŚRODOWISKA	NanoczuJNIKI dla ochrony środowiska	Produkcja nanoczuJNIKÓW do monitorowania stanu środowiska	T39
		Nanocząsteczki w kontroli zanieczyszczenia wód	T40
		Technologia nanokodów paskowych do wczesnej diagnostyki roślin	T41
	Nanomembrany dla ochrony środowiska	Technologia wytwarzania nanostrukturalnych filtrów włókninowych do oczyszczania gazów i cieczy	T42
		Nanokatalizatory do ochrony powietrza	T43
		Selektywne membrany chemiczne, biologiczne, optyczne typu: polimer-nanocząstka	T44
		Nanomembrany do oczyszczania wody	T45
	Nanotechnologia dla energii odnawialnej	Technologie nanokompozytów do baterii słonecznych	T46
		Produkcja ogniw paliwowych	T47
		Wytwarzanie wydajnych ogniw fotowoltanicznych	T48
POZOSTAŁE OBSZARY ZASTOSOWAŃ	Nanofotonika	Nanomateriały dla techniki światłowodowej (materiały typu szkło-ceramika)	T49
		Projektowanie i wytwarzanie zaawansowanych konstrukcji optoelektronicznych (np. lasery włóknowe, czujniki optoelektroniczne)	T50
		Technologia światłowodów niekonwencjonalnych (światłowodów o specjalnych konstrukcjach optymalizowanych pod kątem konkretnych zastosowań)	T51
		Techniki nieelastycznego rozpraszania światła (głównie z wykorzystaniem efektu Brillouina i Ramana) z czasową i przestrzenną rozdzielczością	T52
		Technologia osadzania z fazy gazowej CVD ( <i>Chemical Vapor Deposition</i> ) kompozytowych nanomateriałów optoelektronicznych do detekcji skażenia środowiska, wykrywania materiałów niebezpiecznych	T53
		Spintronika	Nanomateriały magnetyczne pod kątem zastosowań w spintronice oraz w zastosowaniach biologicznych, medycznych
	Ultraszybkie metody badań procesów magnesowania z wykorzystaniem femtosekundowych laserów		T55
	Nanoprocesy produkcyjne	Metody pozwalające na strukturyzację z wykorzystaniem technik litografii optycznej, elektronowej oraz wiązek jonowych (głównie FIB – <i>Focus Ion Beam</i> )	T56
		Techniki dyspergowania nanocząstek, w szczególności nanorurek węglowych w osnowach polimerowych, celem uzyskania wyrobów o wyższych właściwościach mechanicznych, termicznych i przewodnictwie	T57

Źródło: opracowanie własne na podstawie wyników badań.

zarazem najlepsze warunki dla funkcjonowania przedsiębiorstw [29].

Rozwój danej technologii wpływa na poziom atrakcyjności inwestycyjnej regionu w powiązaniu z następującymi czynnikami: 1) bezpośrednimi – dostępność transportowa, chłonność rynku, jakość kapitału ludzkiego, infrastruktura gospodarcza, oferty inwestycyjne, wspieranie otoczenia okołobiznesowego, dostęp do surowców lub technologii powiązanych, istnienie parków technologicznych, funkcjonowanie lokalnych klastrów, inkubatorów, agencji rozwoju gospodarczego, centrów

transferu technologii, obecność ośrodków naukowo-badawczych i jednostek badawczo-rozwojowych; 2) pośrednimi – poziom rozwoju gospodarczego, jakość środowiska przyrodniczego, infrastruktura społeczna, stan bezpieczeństwa [29, 37].

## A2 Wpływ rozwoju technologii na wzrost inwestycji prywatnych w B+R

Kryterium to określa potencjalny wpływ rozwoju danej nanotechnologii na wzrost pozabudżetowych inwestycji na działalność sfery badawczo-rozwojowej oraz na ile dana techno-



**Tab. 2.** Wykaz przyjętych kryteriów odnoszących się do atrakcyjności

Oznaczenie	Nazwa kryterium atrakcyjności technologii
A1	Wpływ rozwoju technologii na atrakcyjność inwestycyjną regionu (przyciąganie nowych znaczących inwestorów)
A2	Wpływ rozwoju technologii na wzrost inwestycji prywatnych w B+R
A3	Wpływ rozwoju technologii na poziom B+R w regionie
A4	Możliwość łatwej komercjalizacji
A5	Możliwość wykorzystania potencjału naukowego, aparaturowego oraz przemysłowego regionu
A6	Konkurencyjność technologii względem dostępnych rozwiązań (patentów)
A7	Wpływ rozwoju technologii na możliwość tworzenia mocnej pozycji konkurencyjnej podlaskich przedsiębiorstw
A8	Wpływ rozwoju technologii na tworzenie nowych miejsc pracy
A9	Efektywność ekonomiczna
A10	Pobudzanie przedsiębiorczości w tym MŚP, spin-off lub start-up
A11	Prawdopodobieństwo absorpcji technologii w istniejącym przemyśle Podlasia
A12	Prawdopodobieństwo absorpcji technologii w nowo tworzonych gałęziach przemysłu
A13	Możliwość szerokiego rozpowszechniania i wykorzystania wyników

Źródło: opracowanie własne.

logia jest atrakcyjna zarówno pod względem ekonomicznym, społecznym, naukowym, jak również, czy jest rokująca na zastosowanie w wielu obszarach. Powinno się odnosić do poziomu opłacalności komercjalizacji danej technologii oraz jej potencjału ekonomicznego, jak również do związanych z tym rozwojem wszelkich korzyści dla inwestorów prywatnych [38]. Odnosi się także do wpływu danej technologii na potencjalne innowacje zarówno produktowe, jak i procesowe.

### A3 Wpływ rozwoju technologii na poziom B+R w regionie

Kryterium to określa siłę, z jaką dana nanotechnologia może wpłynąć na jakość sfery B+R zarówno w skali jednostek naukowo-badawczych, jak również przedsiębiorstw. Odnosi się również do wpływu danej technologii na powstanie nowych ośrodków naukowo-badawczych. Rozwijana technologia, aby mieć wysoki wpływ na poziom B+R, musi być związana z wysokim potencjałem badawczym i technologicznym (bazą laboratoryjną, aparaturą badawczą, infrastrukturą techniczną). Powyższe kryterium pozwala również stwierdzić, na ile dana technologia wpływa na pozyskanie funduszy unijnych, krajowych oraz regionalnych, które można by przeznaczyć na badania i rozwój.

### A4 Możliwość łatwej komercjalizacji

Kryterium odnosi się do obszaru badawczego Nanotechnologie w gospodarce Podlasia. Dominacja w gospodarce województwa podlaskiego takich branż przemysłu, jak: przemysł spożywczy, tworzyw sztucznych (głównie na potrzeby przemysłu spożywczego), maszynowy, drzewny wskazują na potencjalne obszary komercjalizacji wyników badań w kontekście nanotechnologii [56]. Określa również stopień trudności odnośnie czynności prawnych, finansowych i związanych z jakością proponowanych nowych rozwiązań dotyczących danej nanotechnologii. Odnosi się do potencjalnych potrzeb rynku, świadomości potrzeby komercjalizacji, szerokiego grona strategicznych klientów, potencjalnych okazji rynkowych, jakości danej technologii oraz zasad przekazywania wiedzy i umiejętności do procesu produkcyjnego. Kryterium to określa stopień trudności w odniesieniu do konkretnej strategii komercjalizacji: sprzedaż praw własności, licencjonowanie, alians strategiczny, joint venture, samodzielne wdrożenie. Może być oparte na ocenie łatwości komunikowania się sfery nauki i rynku [10, 47]. Określa również stopień dotychczasowej współpracy między jednostkami naukowo-badawczymi i przedstawicielami sektora gospodarki oraz

stopień wiedzy naukowców na temat przedsiębiorczości, w tym sposobów komercjalizacji nanotechnologii [38].

#### **A5** **Możliwość wykorzystania potencjału naukowego, aparaturowego oraz przemysłowego regionu**

W kontekście danej nanotechnologii kryterium to odnosi się do następujących sfer: 1) dostępnych regionalnych zasobów kadrowych sfery B+R (zarówno z obszaru nauki, jak i przemysłu) w różnych dziedzinach nauki, ze szczególnym uwzględnieniem nanotechnologii; 2) dostępnej na Podlasiu bazy laboratoryjnej, aparatury badawczej i testowej będącej w dyspozycji instytutów badawczych, uczelni i przemysłu; 3) wykorzystania dotychczasowych powiązań jednostek naukowo-badawczych ze sferą gospodarczą; 4) wykorzystania dotychczasowych wyników badań w ramach posiadanych patentów, realizowanych projektów oraz wdrożonych rozwiązań; 5) wykorzystania nanotechnologii przez dominujące w regionie branże. Kryterium to również odnosi się do możliwości stworzenia systemu zapewniającego przepływ informacji pomiędzy sferą badawczą a przedsiębiorstwami, np. poprzez centra badawcze, parki technologiczne, klastry, itp. umożliwiające dostęp do aparatury badawczej dla instytucji partnerskich. Kryterium określa również czy istnieją w regionie przedsiębiorstwa, które są w stanie wykorzystać nowe nanotechnologie [26, 38, 39, 63].

#### **A6** **Konkurencyjność technologii względem dostępnych rozwiązań (patentów)**

Kryterium to uwarunkowane jest stopniem rozwoju (zaawansowania) danej nanotechnologii. W odniesieniu do stosowanych technologii określa potencjalną zdolność podlaskich firm, branż regionu do innowacyjności, sprostania konkurencji (lokalnej, krajowej i międzynarodowej) oraz do zapewnienia relatywnie wysokiej stopy zwrotu od zastosowanych czynników produkcji oraz relatywnie wysokiego poziomu zatrudnienia na trwałych podstawach. Powinno to określać poziom związanych z daną nanotechnologią produktywności, jakości życia oraz kreacji nowych miejsc pracy. Określa unikatowość posiadanych w regionie zasobów, kompetencji oraz umiejętności [47].

#### **A7** **Wpływ rozwoju technologii na możliwość tworzenia mocnej pozycji konkurencyjnej podlaskich przedsiębiorstw**

Kryterium to określa, w jaki sposób badana nanotechnologia wpływa na pozycję konkurencyjną istniejących na Podlasiu przedsiębiorstw zwłaszcza należących do dominujących w regionie branż: produkcji artykułów spożywczych, produkcji drewna i wyrobów z drewna, produkcji maszyn i urządzeń, włókiennictwa, produkcji mebli. Kryterium to odnosi się do następujących czynników związanych z badaną technologią: stopnia innowacyjności, ceny, jakości, sposobu dystrybucji, możliwości tworzenia nowych/niszowych produktów, wydatków na sferę B+R, możliwości transferu własnej technologii, zdolności do odnawiania technologii [56].

#### **A8** **Wpływ rozwoju technologii na tworzenie nowych miejsc pracy**

Kryterium to określa, na ile dana nanotechnologia, we wszystkich fazach jej życia, wpłynie na stworzenie nowych miejsc pracy. Odnosi się do takich czynników, jak: pracochłonność, energochłonność, materiałochłonność danej technologii, liczba osób koniecznych do wytworzenia danej technologii, możliwa wielkość produkcji, dystrybucja niezbędnych surowców oraz produktów finalnych, niezbędna baza lokalowa, możliwość stworzenia i skorzystania z centrów naukowo-przemysłowych (np. parku technologicznego), dostęp do niezbędnej siły roboczej, możliwość pozyskania inwestorów, dostępność absolwentów uczelni wyższych, możliwość stworzenia akademickich inkubatorów przedsiębiorczości, przedsięwzięć typu *spin-off* oraz *start-up*.

#### **A9** **Efektywność ekonomiczna**

Kryterium to określa stopień wpływu badanej nanotechnologii na efektywność ekonomiczną podmiotu, który w swojej działalności gospodarczej taką technologię wykorzystywałby oraz potencjalny stosunek między wartością poniesionych nakładów na rozwój danej nanotechnologii, a wartością efektów uzyskanych dzięki tym nakładom, np. sprzedaży danej technologii, sprzedaży licencji na jej użytkowanie, transferowi tej technologii, sprzedaży produktów powstałych na bazie danej nanotechnologii [46].

Pozwala stwierdzić, czy dana nanotechnologia ma wpływ na czynniki, które w sposób mniej lub bardziej bezpośredni wpływają na efektywność ekonomiczną danej organizacji czyli przyspieszenie procedur decyzyjnych, zwiększenie elastyczności programów badawczych, wzmocnienie współdziałania grup badawczych, strategiczne, długofalowe współdziałanie z przemysłem wraz ze zdecydowanym wzrostem nakładów [38].

#### **A10 Pobudzanie przedsiębiorczości w tym MŚP, spin-off lub start-up**

Kryterium to pozwala określić potencjał danej nanotechnologii do pobudzania przedsiębiorczości. Jest uzależnione od identyfikacji czynników mających wpływ na tworzenie danej nanotechnologii, czyli czynników czasochłonnych, osobowościowych, gospodarczych, kulturowych, politycznych, edukacyjnych, prawno-regulacyjnych. W warunkach niepewności i ryzyka, powyższe czynniki, ich łączenie i angażowanie, ochrona praw własności intelektualnej, sprzyjają tworzeniu nowych firm MŚP, *spin-off* lub *start-up*, które w swojej działalności wykorzystywałyby nowatorskie pomysły oparte na danej nanotechnologii [47]. Powinno odnosić się również do zbadania, czy możliwa jest współpraca przemysłu, instytutów badawczych i instytucji finansowych w celu zapewnienia wykorzystania wybitnych prac badawczo-rozwojowych w zakresie nanonauki i nanotechnologii, do tworzenia na tej podstawie nowych produktów i procesów [5].

#### **A11 Prawdopodobieństwo absorpcji technologii w istniejącym przemyśle Podlasia**

Kryterium to pozwala stwierdzić, z jak dużym prawdopodobieństwem badana technologia może być zaabsorbowana w istniejącym przemyśle Podlasia, zwłaszcza jeżeli chodzi o dominujące branże: produkcji artykułów spożywczych, produkcji drewna i wyrobów z drewna, maszyn i urządzeń, mebli, włókiennictwa, [56]. Koncentruje się na zdolności regionalnych przedsiębiorców do technicznej, organizacyjnej i ekonomicznej absorpcji rozwiązań nanotechnologicznych oraz podejmowania samodzielnych badań naukowych w zakresie nanotechnologii. Kryterium to odnosi się również do istniejących sieci współpracy służących transferowi technologii z nauki do gospodarki Podlasia. W szczególności uwzględnia istnieją-

ce mechanizmy transferu technologii, techniczną zdolność absorpcji nowoczesnych technologii przez gospodarkę regionu, a także specjalizacje technologiczne, jakie dominują w obecnie istniejących regionalnych sieciach współpracy gospodarka-nauka [26].

#### **A12 Prawdopodobieństwo absorpcji technologii w nowo tworzonych gałęziach przemysłu**

Kryterium to jest bardzo zbliżone znaczeniowo do kryterium poprzedniego, z tym, że odnosi się do nowo tworzonych gałęzi przemysłu podlaskiego.

#### **A13 Możliwość szerokiego rozpowszechniania i wykorzystania wyników**

Kryterium to odnosi się do możliwości szybkiego i szerokiego rozpowszechniania wyników badań nad daną nanotechnologią poprzez edukację, konferencje naukowe, publikacje naukowe, powszechnie dostępne bazy danych. Szybkie i szerokie rozpowszechnianie wyników badań może pomóc w przyspieszeniu innowacji oraz pozwolić na uniknięcie powielania wysiłków badawczych [15].

W grupie kryteriów odnoszących się do wykonalności charakteryzujących się przydatnością do oceny technologii kandydujących znalazły się kryteria przedstawione w tab. 3.

#### **W1 Dostęp do funduszy ułatwiających wdrożenie technologii**

Kryterium to określa stopień łatwości dostępu do instrumentów finansowych przeznaczonych na realizację innowacyjnych przedsięwzięć (np. wdrożenie danej technologii). Do takich inwestycji należy zaliczyć: fundusze unijne, kredyt technologiczny, kredyty inwestycyjne, rynek NewConnect, fundusze kapitału zaangażowanego Seed Capital, fundusze Venture Capital, subwencje krajowe, fundusze pożyczkowe. Kryterium to dotyczy również warunków finansowania wdrożeń, uregulowań ekonomiczno-prawnych, mechanizmów finansowych czyniących współpracę nauki z przemysłem opłacalną [57, 34].

#### **W2 Wykonalność finansowa (możliwość finansowania) wdrożenia technologii**

Kryterium umożliwia określenie, czy wdrożenie danej nanotechnologii jest możliwe pod względem ekonomicznym zarówno z wy-

**Tab. 3.** Wykaz przyjętych kryteriów odnoszących się do wykonalności

Oznaczenie	Nazwa kryterium wykonalności technologii
W1	Dostęp do funduszy ułatwiających wdrożenie technologii
W2	Wykonalność finansowa (możliwość finansowania) wdrożenia technologii
W3	Wykonalność techniczna i wdrożeniowa
W4	Jakość zasobów kadrowych w obrębie branży
W5	Dostępność wykwalifikowanej kadry
W6	Niezbędna infrastruktura badawczo-rozwojowa
W7	Zainteresowanie biznesu regionu wdrażaniem nowych technologii
W8	Możliwość wytworzenia/zakupu wymaganego oprzyrządowania technicznego i technologicznego

Źródło: opracowanie własne.

korzystaniem środków publicznych, jak i prywatnych. W pewnym stopniu kryterium to pokrywa się z kryterium - dostęp do funduszy ułatwiających wdrożenie technologii – z tym, że w tym przypadku większy nacisk jest położony na koszt wdrożenia danej technologii niż na dostęp do funduszy, który ten koszt ewentualnie pokryłyby. Kryterium pomaga w odpowiedzi na pytanie, czy wdrożenie danej nanotechnologii jest możliwe w zakresie własnych funduszy danej organizacji, sieci czy też konieczne będzie skorzystanie z pomocy instytucji wsparcia publicznego, instytucji finansowych, władz samorządowych?

### W3 Wykonalność techniczna i wdrożeniowa

Kryterium to odnosi się do odpowiedzi na pytanie, czy istnieją ograniczenia natury finansowej, technicznej, organizacyjnej, rynkowej, prawnej lub innej uniemożliwiające wykonanie/wdrożenie danej nanotechnologii [13]? Wobec istnienia ewentualnych ograniczeń charakteryzuje odpowiedni dobór narzędzi i środków do realizacji danej nanotechnologii. Wykonalność techniczna badanej nanotechnologii powinna wykazać wyższość zaproponowanego rozwiązania technicznego nad wariantami alternatywnymi oraz wykazać, że jest zgodna z najlepszą praktyką i obowiązującymi normami.

Wykonalność wdrożeniowa odnosi się do możliwości praktycznego wykorzystania danej nanotechnologii w praktyce, czyli jej szerokiej komercjalizacji, jak również do ogółu przesłanek, warunków i wymagań niezbędnych do

praktycznego jej urzeczywistnienia oraz jest warunkowana przez możliwość udzielenia odpowiedzi na pytania: Czy wdrożenie jest realne w sensie fizycznym, ekonomicznym i finansowym? Czy w realizacji nie przeszkodzą względy techniczne, społeczno-gospodarcze [32]?

### W4 Jakość zasobów kadrowych w obrębie branży

Kryterium to charakteryzuje jakości podlaskich zasobów kadrowych w branżach prowadzących w swojej działalności prace z zakresu badanej nanotechnologii. Odnosi się do poziomu wykształcenia pracowników wybranych branż, jakości i liczby ich publikacji oraz ich udziału w krajowych i międzynarodowych projektach badawczych w dziedzinie nanotechnologii. Ocena jakości zasobów kadrowych w dziedzinie nanotechnologii może być również przeprowadzona poprzez ocenę składanych do finansowania projektów badawczo-rozwojowych, habilitacyjnych i promotorских. Jednym z kluczowych wyznaczników jakości kadry w obrębie nanotechnologii jest posiadana wiedza zarówno po stronie kadry naukowej – będącej twórcą teoretycznych zastosowań nanotechnologii w praktyce, – jak i po stronie wytwórców produktów i usług, powstałych z wykorzystania osiągnięć nanonauki [56, 26].

### W5 Dostępność wykwalifikowanej kadry

Kryterium to odnosi się do dostępnych podlaskich zasobów kadrowych w dziedzinie nanotechnologii, głównie ze strefy B+R. Obej-

muje liczbę jednostek prowadzących działalność B+R w dziedzinach związanych z nanotechnologią oraz liczbę zatrudnionych w tych jednostkach pracowników naukowo-badawczych zajmujących się w swojej pracy dziedziną nanotechnologii [26].

#### **W6 Niezbędna infrastruktura badawczo-rozwojowa**

Kryterium to określa poziom dostępności w podlaskich organizacjach (badawczo-rozwojowych oraz przemysłowych) infrastruktury związanej z rozwojem nanotechnologii, czyli infrastruktury laboratoryjnej, aparaturowej, obliczeniowej, projektowej, produkcyjnej, wdrożeniowej i handlowej, bibliotek i baz danych, sieci obliczeniowych, sieci wzajemnie ze sobą powiązanych i współpracujących jednostek, centrów badawczych, zintegrowanych serwisów internetowych.

#### **W7 Zainteresowanie biznesu regionu wdrażaniem nowych technologii**

Kryterium to określa poziom zainteresowania (potencjalny i realny) podlaskiego środowiska biznesowego wdrażaniem innowacyjnych nanotechnologii. Odnosi się zarówno do przedsiębiorstw, które mają doświadczenia z wdrażania nanotechnologii, jak również do tych, które do tej pory nie wdrażały rozwiązań nanotechnologicznych. Opiera się w szczególności na badaniu czy pomiędzy środowiskiem naukowym – zajmującym się badaniami w obszarze nano i środowiskiem biznesowym następuje proces komunikacji, czy środowisko biznesowe ma dostęp do aktualnej i interaktywnej informacji w formie giełd, targów, szkoleń, portali internetowych, czy przedsiębiorstwa mają dostęp do zachęt finansowych

stymulujących dynamiczny rozwój firm w obszarze nano, czy firmy mają wsparcie w instytucjach lokalnych oraz władzach samorządowych w procesie wdrażania nowych technologii. Kryterium to obejmuje również dostęp do zewnętrznych technologii w drodze wspólnych przedsięwzięć biznesowych, cesji praw, różnych form licencjonowania, a także wspólne tworzenie nowych rozwiązań [26].

#### **W8 Możliwość wytworzenia/zakupu wymaganego oprzyrządowania technicznego i technologicznego**

Kryterium to określa stopień trudności (ekonomicznej, technicznej) wytworzenia własnego (w ramach działalności instytucji naukowo-badawczej, przedsiębiorstwa, parków technologicznych, klastrów) oprzyrządowania technicznego i technologicznego odnośnie badanej nanotechnologii oraz stopień trudności pozyskania danego oprzyrządowania ze źródeł zewnętrznych (na zasadzie licencjonowania, transferu technologii, zakupu).

Do kryteriów najsłabiej ocenionych pod względem przydatności ich wykorzystania do oceny technologii kandydujących eksperci zaliczyli: a) w grupie kryteriów odnoszących się do atrakcyjności: a1) wrażliwość technologii na kryteria etyczne; a2) wpływ rozwoju technologii na obronność; b) w grupie kryteriów odnoszących się do wykonalności: b1) wpływ technologii na możliwość i szybkość jej patentowania; b2) poziom wykształcenia mieszkańców regionu odnośnie aspektów powiązanych z technologią; b3) potencjalna współpraca z partnerami zza wschodniej granicy w ramach kooperacji sąsiadujących regionów przygranicznych.

## **3.2. Proces identyfikacji technologii kluczowych pod względem przyjętych kryteriów**

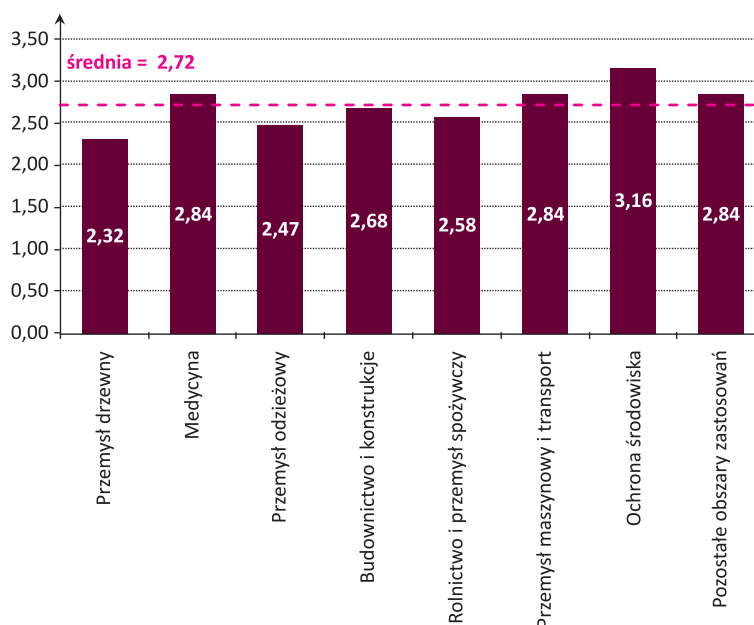
Podstawą identyfikacji kryterium decydującego o przynależności danej technologii do grupy technologii kluczowych była ocena ekspercka bazująca na opisanych w poprzednim rozdziale kryteriach atrakcyjności oraz wyko-

nalności. Nadanie oceny odbyło się drogą elektroniczną, poprzez wypełnienie przygotowanej przez Zespół Badawczy ankiety.

Ankietowani zostali poproszeni o zadeklarowanie swojego poziomu wiedzy w poszcze-



**Rys. 30.** Deklarowany średni poziom wiedzy ankietowanych w poszczególnych obszarach



Źródło: opracowanie własne.

gólnych obszarach, w które pogrupowano technologie kandydujące. Poziom wiedzy oceniany był indywidualnie przez każdego z ekspertów poprzez wskazanie wartości w skali od 1 do 5, gdzie za 1 należało uznać bardzo niski poziom wiedzy, 2 – niski, 3 – przeciętny, 4 – wysoki, a 5 – bardzo wysoki poziom wiedzy. Średni deklarowany przez ekspertów poziom wiedzy, zarówno w poszczególnych obszarach, jak i ogólny, przedstawiono na rys. 30.

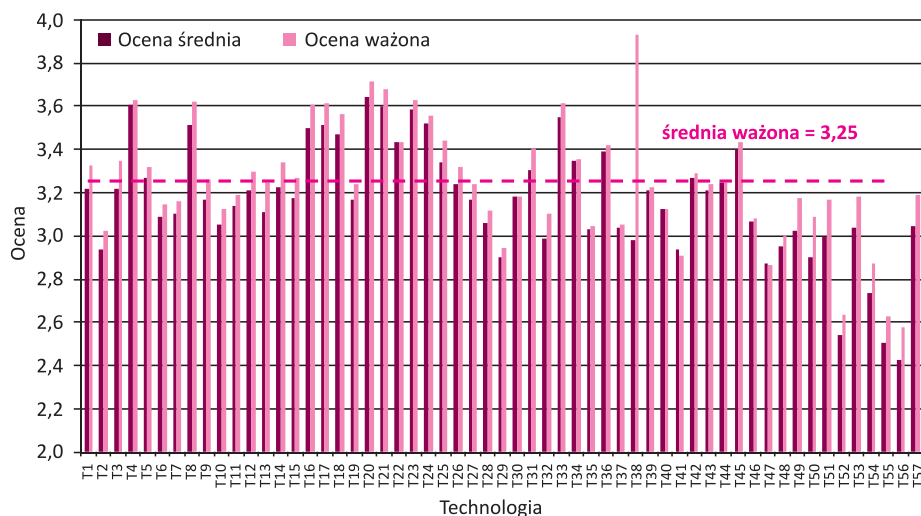
Respondenci najwyższy poziom wiedzy reprezentowali w obszarze ochrona środowiska (3,16). Wiedza ekspertów cechowała się również wysokim poziomem (średnia 2,84) w dziedzinach: medycyna, przemysł maszynowy i transport oraz w zestawie dziedzin ujętych pod nazwą pozostałe obszary zastosowań. Najniższy deklarowany poziom wiedzy ankietowanych został określony w obszarze przemysł drzewny (2,32), przemysł odzieżowy (2,47) oraz rolnictwo i przemysł spożywczy (2,58). Najbliższy średniego poziomu wiedzy wszystkich ekspertów (2,72) był poziom wiedzy w obszarze budownictwo i konstrukcje (2,68).

Poza analizą grupy ekspertów dokonano również analizy ocen poszczególnych technologii, co stanowiło zasadniczą część przeprowadzonej ankiety. Informacje dotyczące indywidualnego poziomu wiedzy posłużyły Zespołowi Badawczemu w późniejszych analizach do „zważenia” odpowiedzi ekspertów dotyczących oceny technologii w poszczególnych obszarach pod względem wskazanych kryteriów<sup>1</sup>.

W kolejnym etapie prac poproszono ekspertów panelu o dokonanie oceny atrakcyjności i wykonalności technologii kandydujących (tab. 1) według zidentyfikowanych przez ekspertów kryteriów (tab. 2, tab. 3). Ekspertów mieli do dyspozycji pięciostopniową skalę oceny, gdzie poszczególne wartości oznaczały stopień atrakcyjności/wykonalności danej technologii: 1 – bardzo niski, 2 – niski, 3 – przeciętny, 4 – wysoki, 5 – bardzo wysoki.

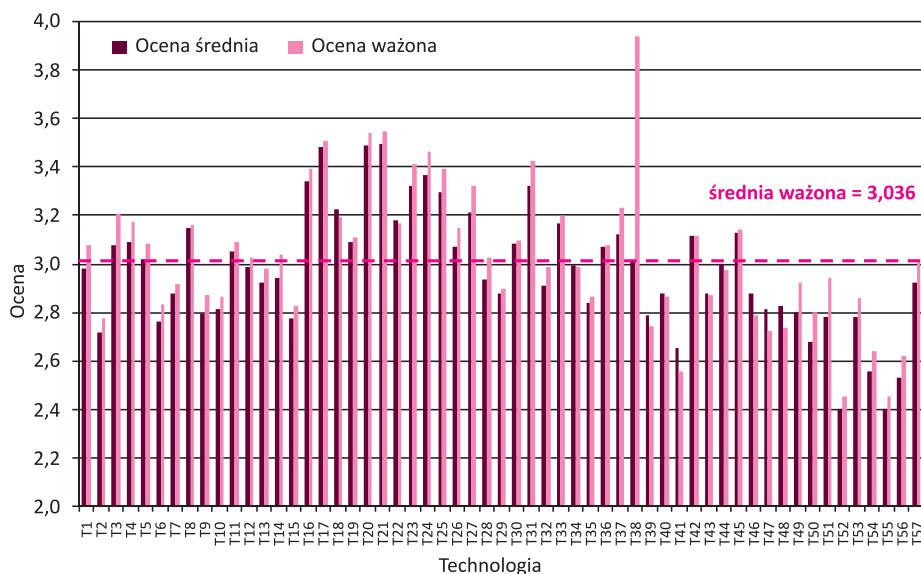
<sup>1</sup> Średnie z uzyskanych ocen eksperckich poszczególnych technologii oraz średnie oceny wykonalności i atrakcyjności technologii ważone deklarowanym poziomem wiedzy ekspertów przedstawiono wraz z listą technologii w załączniku 2 i załączniku 3.

**Rys. 31.** Ocena technologii kandydujących pod względem kryterium atrakcyjności



Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 32.** Ocena nanotechnologii pod kątem kryterium wykonalności



Źródło: opracowanie własne.

Zestawienie ocen średniej arytmetycznej i średniej ważonej wszystkich kryteriów atrakcyjności dla zbioru technologii kandydujących zaprezentowano na rys. 31. Zaznaczono też poziom średniej oceny ważonej, który jest toż-

samy z przeciętnym stopniem atrakcyjności danej technologii. Dla badanych technologii wyniósł on 3,25. Przeciętny poziom atrakcyjności uwzględniając kryterium średniej arytmetycznej wyniósł 3,16. Można zauważyć,

że w większości przypadków ocena ważona jest wyższa od oceny średniej. Zasadniczy wpływ na takie wyniki miał deklarowany poziom wiedzy przez ekspertów, którzy reprezentowali różne dziedziny nauki. Jest to spowodowane obecnością w gronie ekspertów kilku osób o bardzo wysokim bądź wysokim deklarowanym poziomie wiedzy w zakresie materiałoznawstwa. Na podstawie wizualizacji danych można wyodrębnić szesnaście technologii, które przekraczają wartość średnią uwzględniając średnią arytmetyczną ocen eksperckich. Uwzględnienie średniej ważonej rozszerza katalog technologii kandydujących do dwudziestu sześciu. Rozpatrując kryterium średniej arytmetycznej najwyższe noty otrzymały nanomateriały i nanopowłoki w sprzęcie medycznym (T20). Z kolei, biorąc pod uwagę średnią ważoną uwzględniającą deklarowany poziom wiedzy ekspertów, za najatrakcyjniejsze dla województwa podlaskiego zostały uznane – technologie nanostrukturyzacji metali i stopów lekkich w szczególności oparte na metodach dużego odkształcenia plastycznego (T38).

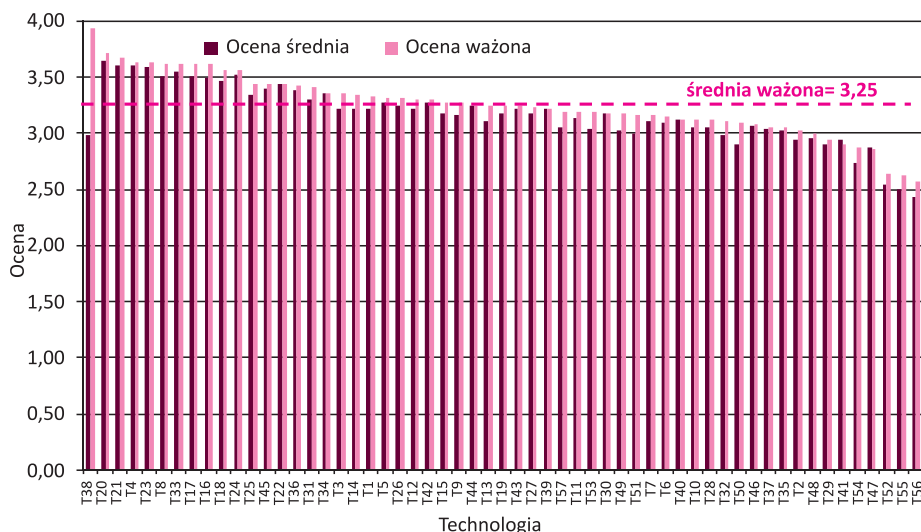
Zestawienie ocen średniej arytmetycznej i średniej ważonej dla wszystkich kryteriów wykonalności dla poszczególnych technologii kandydujących zaprezentowano na rys. 32.

Zaznaczono też poziom średniej oceny ważonej, który jest tożsamy z przeciętnym stopniem wykonalności danej technologii. Można zauważyć, że w większości przypadków ocena ważona jest wyższa od oceny średniej. Zasadniczy wpływ na takie wyniki miał dobór ekspertów, którzy reprezentowali różne dziedziny nauki. Największa rozbieżność pojawiła się przy technologii T38 – Technologie nanostrukturyzacji metali i stopów lekkich, w szczególności oparte na metodach dużego odkształcenia plastycznego. Spowodowana jest to prawdopodobnie pojawieniem się w grupie ekspertów kilku osób o bardzo wysokim poziomie wiedzy w zakresie materiałoznawstwa.

Wyniki szczegółowe pozwoliły na sporządzenie rankingu nanotechnologii względem kryteriów atrakcyjności i wykonalności.

Ostatecznym i jedynym kryterium dla rankingu technologii pod względem atrakcyjności był poziom średniej ważonej eksperckiej oceny atrakcyjności (rys. 33). Na tej podstawie ze zbioru technologii kandydujących można wyodrębnić dwadzieścia sześć technologii, których uśrednione wartości atrakcyjności przekraczają przeciętny – wyliczony za pomocą średniej ważonej – poziom atrakcyjności wynoszący 3,25. Szczegółowy ranking został przedstawiony w tab. 4.

**Rys. 33.** Ranking nanotechnologii pod względem atrakcyjności



Źródło: opracowanie własne.



**Tab. 4.** Ranking nanotechnologii kandydujących pod względem kryterium atrakcyjności

L.p.	Symbol	Średnia ważona	Obszar badań	Technologia
1.	T38	3,93	Przemysł maszynowy i transport	Technologie nanostrukturyzacji metali i stopów lekkich, w szczególności oparte na metodach dużego odkształcenia plastycznego
2.	T20	3,71	Medycyna	Nanomateriały i nanopokrycia w sprzęcie medycznym
3.	T21	3,68	Medycyna	Nanotechnologie warstw wierzchnich do zastosowań biomedycznych
4.	T4	3,63	Przemysł drzewny	Nanotechnologie dla ochrony drewna (mechanicznej, fizycznej, chemicznej, biologicznej)
5.	T23	3,63	Przemysł odzieżowy	Produkcja nanotkanin do specjalnych zastosowań
6.	T8	3,62	Medycyna	Produkcja biokosmetyków i leczniczych specyfików ziołowych w nanonośnikach
7.	T33	3,62	Rolnictwo i przemysł spożywczy	Nanotechnologie w produkcji opakowań żywności
8.	T17	3,61	Medycyna	Materiały kompozytowe na stałe wypełnienia stomatologiczne
9.	T16	3,61	Medycyna	Produkcja implantów układu kostnego
10.	T18	3,56	Medycyna	Kompozytowy materiał na bazie stopów tytanu z napelniaczem węglowym do zastosowań w połączeniach kinematycznych implantów dokostnych
11.	T24	3,56	Przemysł odzieżowy	Nanotechnologie związane z tkaninami specjalnymi np. materiały opatrunkowe
12.	T25	3,44	Przemysł odzieżowy	Zbrojenie materiałów polimerowych nanowłóknami
13.	T45	3,43	Ochrona środowiska	Nanomembrany do oczyszczania wody
14.	T22	3,43	Medycyna	Wytwarzanie warstw i powłok o strukturze manometrycznej z wykorzystaniem hybrydowych metod PVD
15.	T36	3,41	Rolnictwo i przemysł spożywczy	Nanowarstwowe powłoki antybakteryjne dla aparatury produkcyjnej przemysłu spożywczego
16.	T31	3,40	Budownictwo i konstrukcje	Technologie proszkowe do wykorzystania w przetwórstwie tworzyw sztucznych, kompozycji farb i lakierów
17.	T34	3,35	Rolnictwo i przemysł spożywczy	Produkcja inteligentnych opakowań
18.	T3	3,35	Przemysł drzewny	Nanotechnologie dla narzędzi tnących i przetwórstwa drewna
19.	T14	3,34	Medycyna	Technologie regeneracji tkanek oparte na nanomaterii
20.	T1	3,32	Przemysł drzewny	Produkcja nanocelulozy
21.	T5	3,31	Medycyna	Technologie nanoproszków do zastosowań biomedycznych
22.	T26	3,31	Budownictwo i konstrukcje	Zbrojenie ceramiki budowlanej nanowłóknami w różnym składzie chemicznym
23.	T12	3,30	Medycyna	Nanodiagnostyka
24.	T42	3,29	Ochrona środowiska	Technologia wytwarzania nanostrukturalnych filtrów włókninowych do oczyszczania gazów i cieczy
25.	T15	3,27	Medycyna	Nanoinżynieria tkanek
26.	T9	3,26	Medycyna	Celowana nanoterapia

Źródło: opracowanie własne.

Zaprezentowany ranking nanotechnologii pod względem atrakcyjności pozwolił na uszeregowanie nanotechnologii pod względem malejącej średniej oceny atrakcyjności.

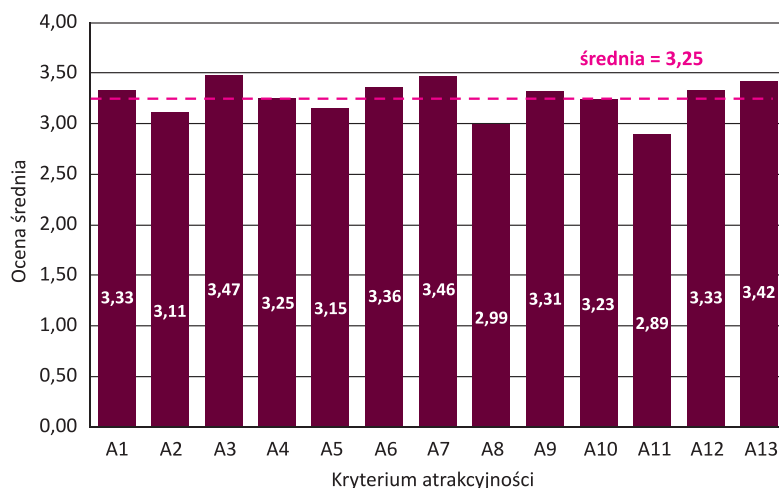
Najwyższą lokatę w rankingu zajęły technologie nanostrukturyzacji metali i stopów lekkich w szczególności oparte na metodach dużego odkształcenia plastycznego (T38). Należy zwrócić uwagę na fakt, iż pozycja lidera technologicznego rankingu została zdeterminowana deklarowanym poziomem wiedzy eksperckiej. Poza powyższą technologią wysokie lokaty pod względem atrakcyjności zajęły również nanomateriały i nanopokrycia w sprzęcie medycznym (T20), nanotechnologie warstw wierzchnich do zastosowań biomedycznych (T21), nanotechnologie dla ochrony drewna (mechanicznej, fizycznej, chemicznej, biologicznej) (T4), produkcja nanotkanin do specjalnych zastosowań (T23). Najniższą lokatę spośród 26 technologii kandydujących zajęła celowana nanoterapia (T9). Za najmniej atrakcyjne technologie w całym rankingu eksperci postrzegają metody pozwalające na strukturyzację z wykorzystaniem technik litografii optycznej, elektronowej oraz wiązek jonowych (głównie FIB – *Focus Ion Beam*) (T56).

Podsumowując ranking oceny nanotechnologii pod kątem kryteriów atrakcyjności, przygotowano porównanie średniej oceny każdego z trzynastu kryteriów atrakcyjności do średniego stopnia atrakcyjności technologii (rys. 34).

Ogólny ranking dla wszystkich ośmiu kryteriów wykonalności zaprezentowano na rys. 35. Policzono średnią dla wszystkich technologii kandydujących i określono zbiór technologii, których średnie były równe lub wyższe od ogólnego stopnia wykonalności technologii. Średnia ta wyniosła 3,04. Najwyższą ocenę w rankingu (3,94) ponownie uzyskała technologia T38 – Technologie nanostrukturyzacji metali i stopów lekkich, w szczególności oparte na metodach dużego odkształcenia plastycznego, a najniższą (2,45) po raz kolejny technologia T52 – Techniki nieelastycznego rozpraszania światła (głównie z wykorzystaniem efektu Brillouina i Ramana) z czasową i przestrzenną rozdzielczością.

W ostatecznym rankingu nanotechnologii sporządzonym pod kątem kryteriów wykonalności znalazło się 27 technologii kandydujących, przedstawionych w tab. 5.

**Rys. 34.** Poziom oceny eksperckiej według kryteriów atrakcyjności



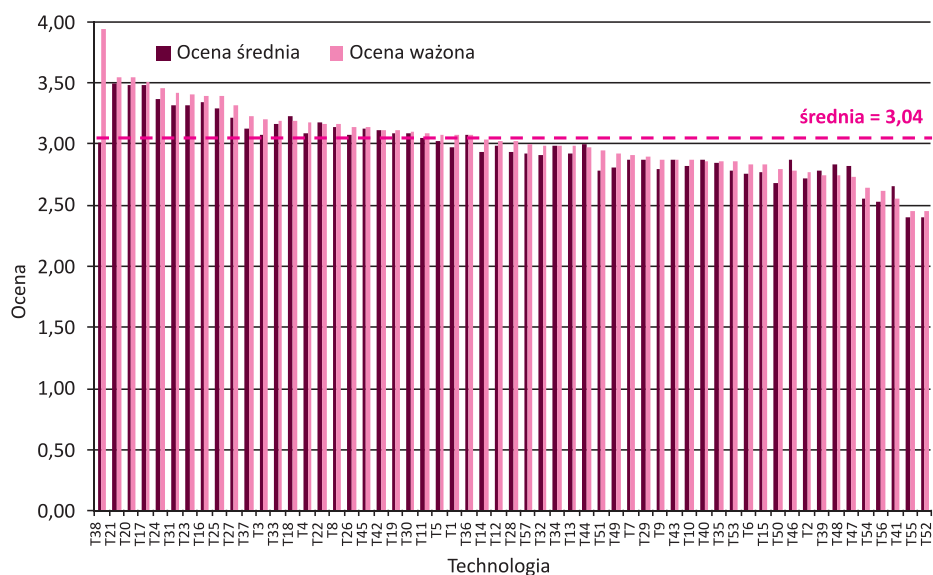
Źródło: opracowanie własne.

**Tab. 5.** Ranking nanotechnologii kandydujących pod względem kryterium wykonalności

L.p.	Symbol	Średnia	Obszar badań	Technologia
1.	T38	3,94	Przemysł maszynowy i transport	Technologie nanostrukturyzacji metali i stopów lekkich, w szczególności oparte na metodach dużego odkształcenia plastycznego
2.	T21	3,55	Medycyna	Nanotechnologie warstw wierzchnich do zastosowań biomedycznych
3.	T20	3,54	Medycyna	Nanomateriały i nanopokrycia w sprzęcie medycznym
4.	T17	3,51	Medycyna	Materiały kompozytowe na stałe wypełnienia stomatologiczne
5.	T24	3,46	Przemysł odzieżowy	Nanotechnologie związane z tkaninami specjalnymi np. materiały opatrunkowe
6.	T31	3,42	Budownictwo i konstrukcje	Technologie proszkowe do wykorzystania w przetwórstwie tworzyw sztucznych, kompozycji farb i lakierów
7.	T23	3,41	Przemysł odzieżowy	Produkcja nanotkanin do specjalnych zastosowań
8.	T16	3,39	Medycyna	Produkcja implantów układu kostnego
9.	T25	3,39	Przemysł odzieżowy	Zbrojenie materiałów polimerowych nanowłóknami
10.	T27	3,32	Budownictwo i konstrukcje	Technologie nanostrukturyzacji warstw wierzchnich o specjalnych właściwościach mechanicznych, fizycznych, chemicznych i biologicznych
11.	T37	3,23	Przemysł maszynowy i transport	Zastosowanie nanokomponentów smarujących w elementach maszyn i urządzeń warsztatowych
12.	T3	3,20	Przemysł drzewny	Nanotechnologie dla narzędzi tnących i przetwórstwa drewna
13.	T33	3,20	Rolnictwo i przemysł spożywczy	Nanotechnologie w produkcji opakowań żywności
14.	T18	3,19	Medycyna	Kompozytowy materiał na bazie stopów tytanu z napełniaczem węglowym do zastosowań w połączeniach kinematycznych implantów dokostnych
15.	T4	3,17	Przemysł drzewny	Nanotechnologie dla ochrony drewna (mechanicznej, fizycznej, chemicznej, biologicznej)
16.	T8	3,16	Medycyna	Produkcja biokosmetyków i leczniczych specyfików ziołowych w nanonośnikach
17.	T22	3,16	Medycyna	Wytwarzanie warstw i powłok o strukturze manometrycznej z wykorzystaniem hybrydowych metod PVD
18.	T26	3,14	Budownictwo i konstrukcje	Zbrojenie ceramiki budowlanej nanowłóknami w różnym składzie chemicznym
19.	T45	3,14	Ochrona środowiska	Nanomembrany do oczyszczania wody
20.	T42	3,12	Ochrona środowiska	Technologia wytwarzania nanostrukturalnych filtrów włókninowych do oczyszczania gazów i cieczy
21.	T19	3,11	Medycyna	Biomateriał
22.	T30	3,10	Budownictwo i konstrukcje	Samoczyszczące powłoki do szerokiego spectrum zastosowań
23.	T11	3,09	Medycyna	Nanotoksykologia
24.	T1	3,08	Przemysł drzewny	Produkcja nanocelulozy
25.	T5	3,08	Medycyna	Technologie nanoproszków do zastosowań biomedycznych
26.	T36	3,07	Rolnictwo i przemysł spożywczy	Nanowarstwowe powłoki antybakteryjne dla aparatury produkcyjnej przemysłu spożywczego
27.	T14	3,04	Medycyna	Technologie regeneracji tkanek oparte na nanomaterii

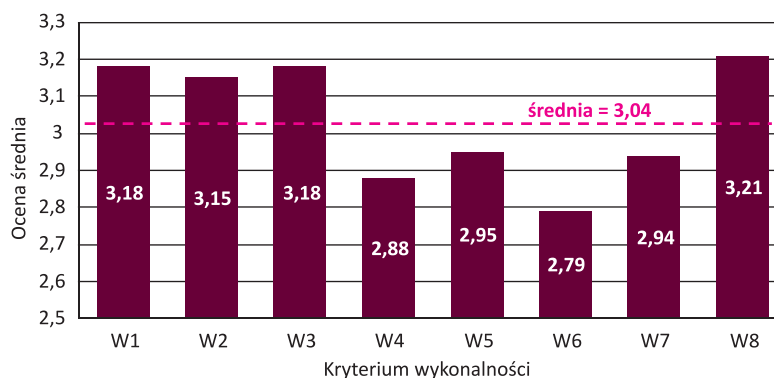
Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 35.** Ranking nanotechnologii według kryteriów wykonalności



Źródło: opracowanie własne.

**Rys. 36.** Poziom oceny eksperckiej według kryteriów wykonalności



Źródło: opracowanie własne.

Podsumowując ranking oceny nanotechnologii pod kątem kryteriów wykonalności, przygotowano porównanie średniej oceny każdego z ośmiu kryteriów wykonalności do średniego stopnia wykonalności technologii (rys. 36). Można zauważyć, że najistotniejsze z punktu

widzenia wykonalności technologii, zdaniem ekspertów, okazało się kryterium W8 – Możliwość wytworzenia/zakupu wymaganego oprzyrządowania technicznego i technologicznego. Nie mniej ważne były też kryteria W1 – Dostęp do funduszy ułatwiających wdrożenie

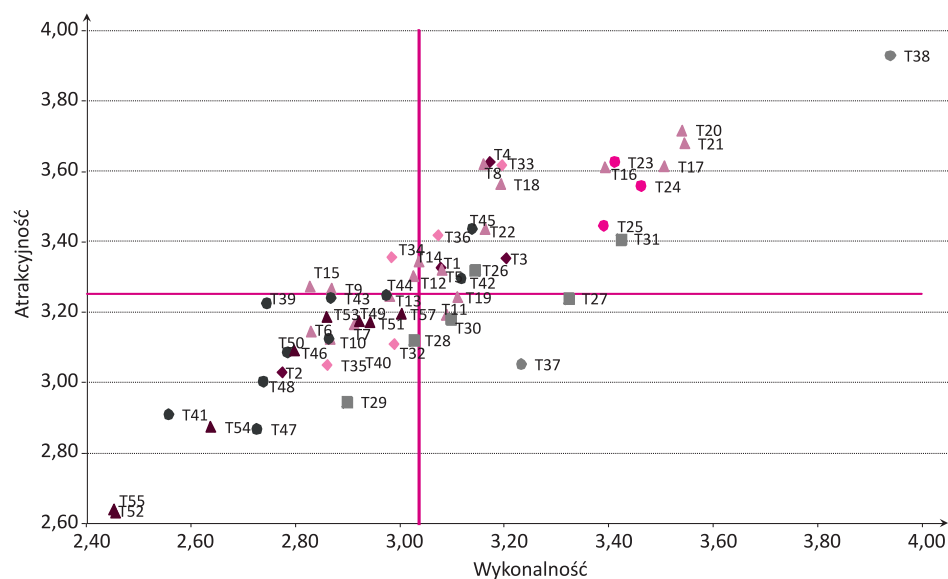
technologii, W3 – Wykonalność techniczna i wdrożeniowa oraz W2 – Wykonalność finansowa (możliwość finansowania) wdrożenia technologii. Najniższą wartość osiągnęło kryterium W6 – Niezbędna infrastruktura badawczo-rozwojowa.

Wybór technologii kandydujących dokonany został na podstawie wykresu punktowego (rys. 37). Po analizie wybrano technologie, których średnie ocen zarówno atrakcyjności, jak też wykonalności przekraczały poziom

średni ocen eksperckich uzyskanych w obu grupach kryteriów. Na wykresie zaznaczono linie dzielące płaszczyznę na cztery obszary. Proste te, to odzwierciedlenie średnich ze wszystkich średnich ocen określonych przez ankietowanych zarówno dla wykonalności, jak też atrakcyjności. Do grupy technologii kluczowych zaliczono te, które znalazły się w prawej, górnej ćwiartce utworzonego wykresu.

Ostatecznie wybrano zestaw technologii, który przedstawiono w tab. 6.

**Rys. 37.** Wykres atrakcyjności i wykonalności ważony deklarowanym poziomem wiedzy



Źródło: opracowanie własne.

**Tab. 6.** Lista kluczowych technologii

Lp.	Ozn.	Obszar badań	Kategoria	Technologia	
1	T1	Przemysł drzewny	Nanomateriały z drewna i roślin	Produkcja nanocelulozy	
2	T3		Nanotechnologie dla przetwórstwa i ochrony drewna	Nanotechnologie dla narzędzi tnących i przetwórstwa drewna	
3	T4			Nanotechnologie dla ochrony drewna (mechanicznej, fizycznej, chemicznej, biologicznej)	
4	T5	Medycyna	Nanocząstki dla medycyny, terapia, diagnostyka, teranostyka	Technologie nanoproszków do zastosowań biomedycznych	
5	T8			Produkcja biokosmetyków i leczniczych specyfików ziołowych w nanooskładkach	
6	T14			Nanorusztowania dla medycyny regeneracyjnej	Technologie regeneracji tkanek oparte na nanomaterii
7	T16				Produkcja implantów układu kostnego
8	T17			Nanokompozyty dla ortopedii i stomatologii	Materiały kompozytowe na stałe wypełnienia stomatologiczne
9	T18				Kompozytowy materiał na bazie stopów tytanu z napełniaczem węglowym do zastosowań w połączeniach kinematycznych implantów okostnych
10	T20			Nanowarstwy dla medycyny	Nanomateriały i nanopokrycia w sprzęcie medycznym
11	T21			Nanotechnologie warstw wierzchnich do zastosowań biomedycznych	
12	T22			Wytwarzanie warstw i powłok o strukturze nanometrycznej z wykorzystaniem hybrydowych metod PVD	
13	T23	Przemysł odzieżowy	Nanowłókna (z nanostruktury powierzchniowej lub objętościowej) dla przemysłu tekstylnego	Produkcja nanotkanin do specjalnych zastosowań	
14	T24			Nanotechnologie związane z tkaninami specjalnymi np. materiały opatrunkowe	
15	T25				Zbrojenie materiałów polimerowych nanowłóknami
16	T26	Budownictwo i konstrukcje	Nanokompozyty polimerowe	Zbrojenie ceramiki budowlanej nanowłóknami w różnym składzie chemicznym	
17	T31				Technologie proszkowe do wykorzystania w przetwórstwie tworzyw sztucznych, kompozycji farb i lakierów
18	T33	Rolnictwo i przemysł spożywczy	Nanotechnologie dla bezpieczeństwa żywności	Nanotechnologie w produkcji opakowań żywności	
19	T36				Nanowarstwowe powłoki antibakteryjne dla aparatury produkcyjnej przemysłu spożywczego
20	T42	Ochrona środowiska	Nanomembrany dla ochrony środowiska	Technologia wytwarzania nanostrukturalnych filtrów włókninowych do oczyszczania gazów i cieczy	
21	T45				Nanomembrany do oczyszczania wody
22	T38		Przemysł maszynowy i transport	Nanometale konstrukcyjne	Technologie nanostrukturyzacji metali i stopów lekkich, w szczególności oparte na metodach dużego odkształcenia plastycznego

Źródło: opracowanie własne.

### 3.3. Charakterystyka technologii kluczowych

Charakterystyka technologii kluczowych [6, 45, 53, 55, 52] odnosi się do klasyfikacji przedstawionej w tab. 6.

#### Obszar badań: PRZEMYSŁ DRZEWNY

**Kategoria: Nanomateriały z drewna i roślin**

#### Technologia T1: Produkcja nanocelulozy

Nanokrystaliczna celuloza (*nano-crystalline cellulose* – NCC) jest wyizolowaną strukturą molekularną celulozy (składającej się poza nimi z komponentów amorficznych) – i jako taka jest głównym elementem budulcowym ścian komórkowych drzew i innych roślin. Proces produkcyjny nanokrystalicznej celulozy polega na wyekstrahowaniu jej z biomasy drzewa bądź innych roślin w procesie mielenia i następnej hydrolizie w kwasie siarkowym. W zależności od pochodzenia otrzymuje się w ten sposób włókna (whiskery) NCC, które mogą mieć 100–1000 nm długości i 3–20 nm średnicy. Produkcja NCC jest znana od lat osiemdziesiątych XX stulecia, wysokie zapotrzebowanie energetyczne procesu wstrzymało rozwój materiałów i technologii na bazie NCC. Najnowsze osiągnięcia w dziedzinie produkcji i wstępnego przygotowania surowców pozwalają zaoszczędzić do 98% energii potrzebnej do wyekstrahowania włókien NCC, co ponownie otwiera możliwości tworzenia nowych, zaawansowanych materiałów przy zastosowaniu nanotechnologii. Badania nad wprowadzeniem procesu produkcyjnego NCC na skalę masową wciąż trwają.

Ze względu na doskonałe właściwości mechaniczne, takie jak: wysoka wytrzymałość oraz sztywność jak również wysokie wydłużenie, NCC cieszy się coraz szerszym zainteresowaniem grup badawczych oraz znajduje coraz więcej zastosowań przemysłowych. Do głównych beneficjentów można zaliczyć przemysł lotniczy i motoryzacyjny, szczególnie zainteresowany lekkimi i wysoko wytrzymałymi materiałami, co z kolei zaoferować mogą kompozyty z dodatkiem NCC. Biorąc pod uwagę także dobrą odporność NCC na temperaturę, wodę, tlen jak również środki chemiczne (np. benzyna) można przewidywać szybkie jej wdrożenie do produkcji przemysłowej nie tylko w przypadku zastosowań w motoryzacji, ale także

w innych dziedzinach, jak np. przemysł papierniczy.

Dodatkową zaletą celulozy w postaci nanokrystalicznej jest jej biodegradowalność oraz całkowita nietoksyczność, co z kolei daje możliwość zastosowania w przemyśle spożywczym, np. do produkcji opakowań oraz w farmacji do produkcji kapsułek z samouwalniającymi się lekami. Można zatem stwierdzić, iż nanokrystaliczna celuloza ma szeroki, stale powiększający się potencjał zastosowań przemysłowych, a nowe zaawansowane aplikacje wciąż się pojawiają.

#### Obszar badań: PRZEMYSŁ DRZEWNY

**Kategoria: Nanotechnologie dla przetwórstwa i ochrony drewna**

#### Technologia T3: Nanotechnologie dla narzędzi tnących i przetwórstwa drewna

Narzędzia tnące powinny charakteryzować się następującymi cechami: wysoką twardością, która nie zmniejsza się podczas pracy w podwyższonych temperaturach, dobrą przewodnością cieplną, odpornością na utlenianie w podwyższonych temperaturach, odpornością na zmęczenie mechaniczne i cieplne. Wymagania te spełniają narzędzia tnące pokryte powłokami o nanometrycznej strukturze. Mogą to być struktury:

- nanogradientowe, gdzie obserwuje się ciągłą zmianę składu chemicznego na szerokości warstwy;
- nanowarstwowe, o grubości około 3–10 nm każda;
- nanokompozytowe, na przykład nanokrystaliczne ziarna (Al, Ti)N w amorficznej osnowie –  $\text{Si}_3\text{N}_4$ .

Takie powłoki dodatkowo skutecznie chronią narzędzie przed zużyciem ściernym, adhezją, czy powstawaniem mikropęknięć. Do ich wytwarzania stosuje się metody: fizycznego osadzania z fazy gazowej PVD (*physical vapour deposition*) i chemicznego osadzania z fazy gazowej CVD (*chemical vapour deposition*). Powłoki o nanometrycznej strukturze pokrywające ostrza narzędzi tnących mogą wydłużyć ich czas życia nawet o 200 – 1200%.

Powłoki pokrywające narzędzia do przetwarzania – cięcia drewna powinny spełniać



dotatkowe wymagania do tych stawianych narzędziom tnącym do cięcia metali. Wynika to z wyjątkowych właściwości materiału, jakim jest drewno, takich jak niejednorodna struktura, niska przewodność cieplna, duża wilgotność i zawartość substancji ułatwiających korozję narzędzi. Z tej też przyczyny narzędzia do cięcia drewna powinny wykazywać, oprócz charakterystycznych cech dla narzędzi tnących, także wysoką odporność na korozję, odporność na uderzenia i niski współczynnik tarcia. Przyszłościowe w tej dziedzinie wydają się być narzędzia pokryte powłokami z węgla z nanocząstkami metali (Ag, Cu, Ni, Co, Cr) o niskiej reaktywności z węglem lub z węglkami metali (TiC, WC, MoC, NbC). Ciekawym podejściem może być wytwarzanie cienkich nanokompozytowych powłok W-DLC. Nanokompozytowa budowa powłok charakteryzuje się korzystnym skojarzeniem właściwości wytrzymałościowych i plastycznych. Węgliki wolframu (WC) charakteryzują się wysoką odpornością na zużycie ściernie. Osnowa DLC, która pod wpływem wysokiej temperatury ulega procesom grafityzacji i utleniania, jest źródłem substancji grafitopodobnych o niskiej wytrzymałości na ścinanie, które powstając w styku ostrza z materiałem obrabianym (drewnem) mogą powodować pożądaną obniżenie sił skrawania.

### **Obszar badań: PRZEMYSŁ DRZEWNY**

**Kategoria: Nanotechnologie dla przetwórstwa i ochrony drewna**

**Technologia T4: Nanotechnologie dla ochrony drewna (mechanicznej, fizycznej, chemicznej, biologicznej)**

Przykładem zastosowania nanotechnologii do ochrony drewna jest wykorzystanie preparatów zawierających biocydy na bazie nanocząstek metali. Powszechnie wiadomo, że srebro, a właściwie jony Ag<sup>+</sup> wykazują znakomite właściwości bakteriobójcze. Aby zapewnić ciągłość uwalniania jonów wymagana jest odpowiednia powierzchnia. Im mniejsze są cząstki w preparacie, tym większa jest właściwa powierzchnia, na której możliwe jest zejście tak bardzo powolnego procesu uwalniania jonów srebra. Natomiast nanopreparaty miedziowe wykazują silną grzybobójczość osiąganą przy stężeniach wielokrotnie mniejszych od tradycyjnych preparatów stosowanych w ochronie roślin, drewna, czy w budownictwie. Preparaty na bazie nanocząstek srebra i cynku wykazują

ponadto właściwości antymikrobiologiczne, między innymi ograniczając zjawisko niszczenia drewna przez termyty. Ważną cechą tego typu preparatów jest brak działań toksycznych, wysoka trwałość i efektywność.

Innym podejściem wykorzystania nanotechnologii jest zastosowanie nanocząstek jako nośników biocydów. Elementy porowate w postaci kapsułek lub nanorurek mogą być wykorzystane do magazynowania i uwalniania substancji aktywnych w najbardziej efektywny, z punktu widzenia ochrony drewna, sposób.

Nanotechnologie znajdują szerokie zastosowanie w przypadku powłok ochronnych i barierowych. Optymalna ochrona i przyczepność osiągnąć jest dzięki wykorzystaniu cząstek nanometrycznej wielkości. Osiągnięty w ten sposób efekt nasycenia podłoża powoduje, że tworzona powłoka jest wytrzymała, elastyczna oraz charakteryzuje się podwyższoną odpornością na zabrudzenia. Dodatkową zaletą jest to, że zabezpieczone tym sposobem drewno zachowuje swój naturalny charakter (bez połysku lakieru).

W przypadku powłok mających na celu ochronę drewna przed ogniem, można zastosować preparaty, które w wyniku kontaktu z płomieniem bądź wysoką temperaturą ulegają zeszkleniu. Wykorzystanie nanocząstek z jednej strony pozwala zachować naturalny charakter powierzchni drewna, z drugiej strony zapewnia szczelną i trwałą warstwę ochronną w przypadku kontaktu z płomieniem.

Rozmiar wykorzystywanych cząstek może determinować zjawiska hydrofobowości i zwilżalności powierzchni drewna. Tym sposobem możliwe do osiągnięcia jest zjawisko przypominające znany w naturze efekt „liścia lotosu”. Zjawisko to objawia się tym, że spływające po powierzchni drewna krople zbierają wszelkie zabrudzenia.

### **Obszar badań: MEDYCINA**

**Kategoria: Nanocząstki dla medycyny, terapia, diagnostyka, teranostyka**

**Technologia T5: Technologie nanoproszków do zastosowań biomedycznych**

Nanomateriałem można nazwać materiał, którego istotne cechy struktury odnoszą się choć w jednym wymiarze do nanoskali (poniżej 100 nm). Trwające prace badawcze pozytywnie odnoszą się do stosowania wybranych materiałów w formie nanoproszków do zastosowań biomedycznych.



Tlenek cynku charakteryzujący się wymiarami nanometrycznymi stosuje się w stomatologii jako materiał modyfikujący właściwości stałych wypełnień stomatologicznych ubytków tkanek zębów, dodatek w pastach do zębów oraz jako składnik preparatów o działaniu antygrzybiczym. Szeroko badanym współcześnie zastosowaniem nanocząstek są możliwości ich wykorzystywania w ortopedii i stomatologii. Implanty na bazie tytanu i jego stopów są niezastąpione w stomatologii oraz ortopedii. Wykorzystanie nanoproszków tytanowych umożliwi kształtowanie charakteru powierzchni oraz innych właściwości implantów tytanowych, co zapewnia dużą siłę adhezji tkanki i implantu. Oczekuje się, że struktury charakteryzujące się rozwinętą powierzchnią otrzymaną w wyniku obecności nanocząstek znajdują swoje zastosowanie w inżynierii tkankowej. Materiałem wykorzystywanym do rekonstrukcji tkanek kostnych może być znany materiał ceramiczny pod nazwą hydroksyapatyt (ortofosforan wapnia). Syntetyczny hydroksyapatyt, który jest powinowaty do naturalnych form hydroksyapatytu obecnego w tkankach kostnych, w formie nanoproszku ma zastosowanie: w leczeniu miazgi zęba, w leczeniu uszkodzeń patologicznych zębów, natomiast w ortopedii może znaleźć zastosowanie jako bioaktywne pokrycie powierzchni endoprotez biodrowych. Materiały polimerowe również znajdują swoje zastosowanie w leczeniu ubytków tkanek kostnych wywołanych złamaniami bądź resekcją nowotworową. Regenerację można przeprowadzać poprzez zastosowanie polimerowych rusztowań (ang. scaffold) zawierających w swojej strukturze bioaktywne cząstki ceramiczne na bazie fosforanów wapnia o wielkościach nanometrycznych. Kolejnym materiałem metalicznym w formie cząstek nanometrycznych są cząstki srebra, które charakteryzują się bardzo korzystnymi właściwościami bakteriobójczymi. Do materiałów bakteriobójczych zaliczyć można również: fluorek wapnia ( $\text{CaF}_2$ ), nanocząstki  $\text{SiO}_2$  z dodatkiem srebra oraz cynku. Zmodyfikowane nanocząstki tlenku krzemu wydają się być materiałem będącym składnikiem antybakteryjnym matrycy polimerowej do zastosowań w stomatologii. Nanomateriały mają także zastosowanie w transporcie leków, tzw. nanokapsułki. Rola nanokapsułek polega na dostarczeniu leku do danego miejsca w organizmie pacjenta i w określo-

nym czasie. Wyzwaniem technicznym jest opracowanie metod uwalniania leku.

### **Obszar badań: MEDYCYNĄ**

**Kategoria: Nanocząstki dla medycyny, terapia, diagnostyka, teranostyka**

**Technologia T8: Produkcja biokosmetyków i leczniczych specyfików ziołowych w nanonośnikach**

Biokosmetyki (kosmetyki naturalne) na bazie roślinnych składników pochodzących z eko-upraw prowadzonych na czystych terenach stanowią obecnie najszybciej rozwijającą się gałąź produkcji kosmetyków. Do ich produkcji najczęściej są wykorzystywane: płatki róż, owoce moreli i pomarańczy, a także ich kwiaty, owoce brzoskwiń, marchew, buraki, ogórki, cytryny, lanolina, tłuszcz z owoców awokado, oliwa z oliwek i inne, a także różnego rodzaju wyciągi z ziół. Obecnie najnowszy trend rozwoju kosmetyków naturalnych stanowi wzbogacanie ich składu o różnego typu nanocząstki (o średnicy mniejszej niż 100 nm) mające na celu uzyskiwanie produktów o szerszym spektrum działania, nie tylko na powierzchni, ale również w głębszych warstwach skóry. Podstawowymi grupami składników w rozmiarze nano znajdującymi zastosowanie w produkcji kosmetyków są między innymi: nanocząstki w postaci stałej takie jak tlenki metali (np.  $\text{TiO}_2$  stosowany jako filtr mineralny w kremach zabezpieczających skórę przed promieniami UV, nanokoloidalne złoto), nanokapsułki zawierające polipeptydy umożliwiające kontrolowane uwalnianie zawartości na powierzchni bądź w głębszych warstwach naskórka, węglowodory oraz woski, które wraz z innymi aktywnymi substancjami zawartymi w kosmetykach umożliwiają wytwarzanie się filmu na powierzchni skóry; nanocząstki w formie płynnej: ceramidy, cytosterole oraz kwasy tłuszczowe w formie membrany zawierającej nanocząstki; liposomy umożliwiające enkapsulację wodnych roztworów czynników aktywnych; nanokryształy słabo rozpuszczalnych czynników aktywnych (np. rutyna czy hepersydyna) oraz nanoemulsje.

Chociaż nanotechnologia znajduje swoje zastosowanie w kosmetyce już od kilku lat, istnieje tylko kilka technologii umożliwiających zastosowanie nanocząstek, głównie liposomów, nanoemulsji czy tlenków metali, co czyni atrakcyjnym poszukiwanie nowych metod

wytwarzania biokosmetyków na bazie nanocząstek.

### **Obszar badań: MEDYCINA**

**Kategoria: Nanocząstki dla medycyny, terapia, diagnostyka, teranostyka**

**Technologia T12: Nanodiagnostyka**

Rozmiary nanocząstek są porównywalne do cząsteczek biologicznych, zatem naturalną konsekwencją tego faktu było rozpoczęcie poszukiwań technik ich wytwarzania z wykorzystaniem układów biologicznych. Nanotechnologia w medycynie powoduje rewolucyjny postęp. Stan ciężko chorych będzie można kontrolować zdalnie na bieżąco. Inteligentne leki będą działać podobnie jak zdalnie kierowane roboty, likwidując ogniska różnych chorób, nie niszcząc zdrowych komórek i tkanek w organizmie pacjentów.

Nanotechnologia znalazła perspektywę w terapii genowej. Przy użyciu wyspecjalizowanego nośnika, do komórek dostarczane są fragmenty DNA. Nanocząstki magnetyczne sprawiają, iż DNA jest w pełni uwalniane w pożądanym miejscu. Istnieje również możliwość zarówno sterowania (za pomocą zewnętrznego pola magnetycznego) jak i podglądania (za pomocą MRI – przez konwersję światła laserowego). Efektywność transportu przy użyciu nanocząstek rośnie więc do niemal 100%. DNA osadzone na powierzchni nanocząstek dostarczane jest impulsem pola elektromagnetycznego do komórki. Tam jest uwalniane, a następnie pochłaniane przez odpowiednie mechanizmy komórkowe. Nie występuje więc sytuacja, w której DNA miałyby znaleźć się poza miejscem docelowym.

Obecnie wyzwaniem dla nanotechnologii jest walka z nowotworami złośliwymi. Różnorodne właściwości, w tym optyczne i magnetyczne nanocząstek, umożliwiają rozwój wielu metod wykrywania raka. Obiecującym sposobem terapii przeciwnowotworowej okazały się różne typy nanostruktur węgla, w tym fulereny i nanociebki węglowe. Gdy nanokomórka z „zapakowanym” w nią lekiem jest już w obrębie komórki nowotworowej eksploduje, uwalniając przez promieniowanie chemioterapeutyk, który zabija komórkę rakową.

Innym zagadnieniem jest diagnostyka niedostępnych miejsc do badania endoskopowego.

Nowe narzędzia zaprojektowane w rozmiarach znacznie mniejszych niż ludzkie komórki umożliwiają naukowcom i lekarzom wy-

krycie raka wcześniej, usuwają go z dużo większą precyzją i powodują mniej skutków ubocznych, a nawet zatrzymują rozwój choroby zanim wyrządzi poważne szkody w organizmie.

Naprawa uszkodzonych tkanek poprzez procesy patologiczne lub po urazach stanowi kolejne wyzwanie dla nanotechnologii. Nanowłókna i nanorurki stanowią znakomite rusztowanie dla hodowli kości oraz regeneracji uszkodzonych chrząstek stawowych. Rusztowania takie mogłyby również stanowić bazę dla odbudowy i budowy narządów takich, jak: wątroba i trzustka. Ważne jest jednak potwierdzenie, że związki o nanometrycznych rozmiarach są wolne od ryzyka zdrowotnego.

### **Obszar badań: MEDYCINA**

**Kategoria: Nanorusztowania dla medycyny regeneracyjnej**

**Technologia T16: Produkcja implantów układu kostnego**

Od wielu lat trwają poszukiwania najlepszych metod regeneracyjnych, których zadaniem jest niwelowanie niekorzystnych efektów spowodowanych uszkodzeniami oraz zmianami chorobowymi elementów układu kostnego. Wszystkie zabiegi związane z leczeniem elementów układu kostnego mają na celu odzyskanie lub poprawienie funkcji tego układu utraconych w wyniku działania schorzeń lub uszkodzeń. Poprawa lub całkowite odzyskanie funkcji motorycznych elementów układu kostnego człowieka pozwala na poprawę jakości życia pacjenta. Współcześnie, problematyka produkcji implantów układu kostnego skupia się na ocenie możliwości wytwarzania elementów charakteryzujących się rozwiniętą powierzchnią oraz otwartą porowatą strukturą wewnętrzną. Porowata struktura materiału implantu umożliwia prawidłowe i trwałe połączenie biologiczne implantu z kością poprzez przerost tkanki kostnej do wnętrza implantu. Tego typu implant nosi nazwę rusztowania, a po zasiedleniu komórkami stanie się produktem inżynierii tkankowej. Dodatkowym aspektem działań badawczych związanych z produkcją implantów układu kostnego jest otrzymywanie elementów charakteryzujących się właściwościami mechanicznymi obserwowanymi dla tkanek kostnych. Odpowiedni dobór materiału implantu oraz modyfikacja jego właściwości umożliwia otrzymywanie implantów o długim okresie obecności w organizmie ludzkim oraz zapobiega niekorzystnemu efektowi

obluzowania implantu w tkance kostnej. Nanotechnologia wpisuje się szerokim łukiem w zagadnienia ściśle związane z wytwarzaniem implantów układu kostnego. Współczesne badania materiałów ceramicznych skupiają się na wytwarzaniu rusztowań ceramicznych o strukturze nanometrycznej i wyższej kruchości w stosunku do materiałów w skali makro. Wykorzystywanymi materiałami rusztowań ceramicznych są bioaktywne ceramiki fosforanowo-wapniowe, a w szczególności hydroksyapatyt oraz trójfosforan wapnia, oraz ceramika cyrkonowa ( $ZrO_2$ ). W obrębie materiałów polimerowych daje się zaobserwować dwa kierunki badawcze. Pierwszy jest skupiony na otrzymywaniu rusztowań na bazie włókien biomedycznych polimerów resorbowalnych i nieresorbowalnych. Otrzymywanie materiałów kompozytowych na bazie biopolimerów z wypełniaczami w postaci nanometrycznych cząstek bioaktywnych ceramik jest drugim z kierunków badań. Wśród materiałów metalicznych szeroko zakrojone są prace badawcze nad otrzymywaniem rusztowań na bazie tytanu i jego stopów. Otrzymanie przestrzenie porowatej budowy wewnętrznej, nanometrycznej struktury w warstwie wierzchniej oraz w całej objętości materiału, jak również wytwarzanie warstw bioaktywnych ceramik są współcześnie rozwijanymi kierunkami w obszarze rusztowań tytanowych.

### **Obszar badań: MEDYCINA**

**Kategoria: Nanokompozyty dla ortopedii i stomatologii**

**Technologia T17: Materiały kompozytowe na stałe wypełnienia stomatologiczne**

Podczas projektowania materiałów na stałe wypełnienia stomatologiczne zwraca się przede wszystkim uwagę na uzyskanie kompozytów o niskim współczynniku tarcia i małym zużyciu, a jednocześnie wykazujących minimalny wpływ na zużycie przeciwstawnych tkanek zęba. Większość nowoczesnych materiałów kompozytowych zawiera napełniacz o przeciętnej wielkości 0,5-3  $\mu\text{m}$  lub 40 nm. Materiałem napełniacza są: krzemionka, kwarc, krzemian litowo-glinowy oraz różne rodzaje szkieł (barowe, glinowe, strontowe, cynkowe, itrowe). Celem zapewnienia dobrego wiązania fazy nieorganicznej napełniacza z osnową organiczną, powierzchnie napełniaczy poddaje się działaniu silanów. Przeważająca liczba materiałów kompozytowych do zastosowań stomatologicznych jest

zbudowana na bazie dimetakrylanów (oznaczanych skrótem Bis-GMA) lub na bazie dimetakrylanów (UDMA).

Właściwości kompozytów można modyfikować wprowadzając do matrycy polimerowej nanocząstki, np.  $SiO_2$ , SiN, SiC, hydroksyapatytu. Nanowypełniacz ma wpływ na właściwości użytkowe materiału stomatologicznego (polerowalność, utrzymanie połysku, ścieralność, konsystencję) i estetykę ostatecznych wypełnień (przezierność, połysk). Najczęściej wykorzystywanym nanonapełniaczem jest nanokrzemionka. Wpływa ona na obniżenie współczynnika tarcia i zużycie materiału oraz przyczynia się do zmniejszenia naprężeń powstających podczas polimeryzacji. Ponadto, w przypadku nanocząstek  $SiO_2$  modyfikowanych srebrem zaobserwowano właściwości bakteriobójcze. Takie nanoproszki mogą być składnikiem antybakteryjnym osnowy polimerowej nowoczesnych kompozytów do zastosowań stomatologicznych.

Metodą stwarzającą wiele możliwości syntezy nanomateriałów krzemionkowych, w tym także funkcjonalizowanych i domieszkowanych atomami metali jest metoda zol-żel. Dzięki specyfice tej metody zmieniając warunki reakcji, np. stosunek molowy reagentów lub wartość pH mieszaniny reakcyjnej, można otrzymać nanoproszki krzemionkowe (od bezpostaciowego ksero- lub aerożelu poprzez materiały powłokowe i włókna do monodispersyjnych nanosfer), w sposób istotny różniące się strukturą i właściwościami fizycznymi. Odpowiednie sterowanie procesem zol-żel może pozwolić na otrzymanie nanokrzemionki o założonym jednorodnym rozkładzie wymiarów cząstek o budowie sferycznej, określonej powierzchni właściwej oraz wybranym rodzaju i znanej zawartości grup funkcyjnych, co z kolei ułatwia wytworzenie nanokompozytu o oczekiwanej korzystnej charakterystyce gwarantującej wysoką jakość produktu.

### **Obszar badań: MEDYCINA**

**Kategoria: Nanokompozyty dla ortopedii i stomatologii**

**Technologia T18: Kompozytowy materiał na bazie stopów tytanu z napełniaczem węglowym do zastosowań w połączeniach kinematycznych implantów okostnych**

Spśród biomateriałów metalicznych, materiały wykonane na bazie tytanu (stopy, kompozyty) uważa się za najbardziej nowoczesne

i dobrze rokujące w zastosowaniach w medycynie. Połączenie wysokiej zgodności biologicznej materiałów ceramicznych i szklano-ceramicznych (np. hydroksyapatyt HA, krzemiona  $\text{SiO}_2$ , tlenek aluminium  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , szkło) z bardzo dobrymi właściwościami mechanicznymi metali wydaje się dobrym rozwiązaniem, umożliwiającym wytworzenie biomateriałów o porowatej strukturze (rozwiniecie powierzchni) w warstwie wierzchniej lub całej objętości. Zastosowanie zewnętrznej warstwy porowatej ma poprawić mocowanie implantu w kości przez wrastanie tkanki kostnej w pory.

W ostatnim czasie trwają intensywne prace nad syntezą biomateriałów nanokompozytowych typu Ti-HA, Ti-SiC, Ti- $\text{SiO}_2$  metodą mechanicznej syntezy i metalurgii proszków. Zaletą procesu metalurgii proszków jest możliwość syntezy biomateriałów kompozytowych o zadanych właściwościach przez wprowadzenie do osnowy materiału substancji bioaktywnych, stymulujących wzrost tkanki kostnej. Z przeprowadzonych badań wynika, że tego typu nanokompozyty posiadają lepsze własności mechaniczne oraz wyższą odporność korozyjną i biogodność w porównaniu do mikrokrystalicznego tytanu. Z tego względu, nanokompozyty tytanowo-ceramiczne mogą stać się perspektywnymi biomateriałami do zastosowań na implanty medyczne.

Perspektywnym kierunkiem badań jest także opracowanie nowych stopów implantacyjnych na bazie tytanu, bez toksycznych dodatków glinu i wanadu. W tym celu wprowadza się dodatki stopowe w postaci niobu i cyrkonu oraz nanoproszek tlenku itru w miejsce dotychczas stosowanych Al i V. Wprowadzenie Nb i Zr przyczynia się ponadto do zwiększenia odporności na korozję.

### **Obszar badań: MEDYCINA**

**Kategoria: Nanokompozyty dla ortopedii i stomatologii**

**Technologia T19: Biomateriał**

Materiały kompozytowe zawierające nanonapełniacze stwarzają nie tylko możliwości zwiększenia wytrzymałości implantów, ale także poprawy ich bioaktywności. Kompozyty z wypełniaczem w formie nanocząstek mogą w znaczący sposób wpływać na parametry mechaniczne kompozytu ( $\text{SiO}_2$ , SiC), nadać właściwości osteoindukcyjne (nanocząstki bioaktywne: HA, TCP, bioszkło) lub właściwości bakteriobójcze (nanocząstki srebra).

Jednym z istotnych problemów związanych z kompozytami polimerowo-ceramicznymi stosowanymi w medycynie jest oddzielanie się osnowy od fazy nieorganicznej w środowisku wodnym, a więc także w obecności płynów ustrojowych. Aby tego uniknąć, zaczęto interesować się nanokompozytami opartymi na polimerach bioresorbowalnych i proszkach ceramicznych, których rozmiary nie przekraczają 100 nanometrów. Sugeruje się, że przy użyciu proszków o takich rozmiarach, możliwe będzie uzyskanie implantów o podwyższonych własnościach mechanicznych oraz uniknięcie procesu rozwarstwiania na granicy faz między organiczną osnową polimerową a napełniaczem nieorganicznym.

W ostatnim czasie trwają także intensywne prace nad opracowaniem technologii wytwarzania nowych nanokompozytów tytanowo-ceramicznych metodą mechanicznej syntezy i metalurgii proszków. Procesy te umożliwiają kontrolę własności mikrostruktury takich jak wielkość porów i własności powierzchni. Wytworzone nanokompozyty tytanowo-ceramiczne posiadają lepsze własności mechaniczne i korozyjne w porównaniu do mikrokrystalicznego tytanu. Z tego względu mogą stać się perspektywnymi biomateriałami do zastosowań na implanty medyczne.

### **Obszar badań: MEDYCINA**

**Kategoria: Nanowarstw dla medycyny**

**Technologia T20: Nanomateriały i nanopokrycia w sprzęcie medycznym**

Nanomateriały znalazły już zastosowanie w wielu obszarach medycyny takich, jak sprzęt medyczny, stomatologia, ortopedia, chirurgia. Nanotechnologia jest wykorzystywana również w leczeniu chorób układu naczyniowego, sercowego oraz chorób nowotworowych. Istnieją dane na temat zastosowania nanomateriałów w wytwarzaniu sztucznych organów oraz protez siatkówek.

Nanotechnologia wykorzystywana jest między innymi w miniaturyzacji systemów podawania leków, zarówno w elektronicznych układach, jak i wielkości igieł. Systemy te umożliwiają podawanie mikrodawk i nanodawk leków oraz zapewniają minimalizację głębokości penetracji skóry, co powoduje zmniejszenie uszkodzeń tkanki i mniejsze odczuwanie bólu przez pacjenta.

Antybakteryjne właściwości srebra są znane od czasów Hipokratesa i są wykorzystywane



między innymi w procesach gojenia ran. Na rynku dostępne są opatrunki zawierające sole srebra, nanokrystaliczne srebro oraz nanocząstki srebra. Postać w jakiej srebro zawarte jest w opatunku determinuje jego działanie. Dla porównania, azotan srebra bardzo szybko przedostaje się do organizmu i działa efektywnie około 2 godzin. Natomiast opatunek Acticoat™, składający się z powłoki nanokrystalicznego srebra, pozostanie efektywny przez 7 dni. Ze względu na swoje antybakteryjne właściwości, nanocząstki srebra są wykorzystywane także do pokrywania masek i fartuchów operacyjnych, bandaży. Nanocząstki nanoszone są na tekstylia metodą zanurzeniową w koloidalnym roztworze lub w procesie rozpylania. Prowadzone są badania nad zapewnieniem jak najlepszej adhezji nanocząstek do podłoża, aby ich ilość nie zmniejszała się w trakcie eksploatacji lub prania.

Nanomateriały znalazły również zastosowanie na narzędzia chirurgiczne w celu między innymi zmniejszenia inwazyjności operacji. Przykładowo, nacięcia wykonane skalpelem pokrytym manometryczną powłoką diamentu (DLC) (20-40 nm) są mniejsze i bardziej precyzyjne dzięki obniżeniu współczynnika tarcia. Ponadto, wysokie właściwości mechaniczne oraz obojętność chemiczna i biologiczna powłoki DLC zwiększają w istotny sposób żywotność narzędzia. Nanomateriały mogą również znaleźć zastosowanie w neurochirurgii. Stosowanie wewnętrznych i zewnętrznych cewników do drenażu płynu mózgowo-rdzeniowego może spowodować infekcje bakteryjne, które mogą rozprzestrzenić się do mózgu oraz opon mózgowych. Zastosowanie nanocząstek srebra jako dodatek do cewników może zapobiec zakażeniom i komplikacjom. Planowane są badania kliniczne mające potwierdzić wstępne badania. Dzięki nanotechnologii operacje chirurgiczne osiągnęły kolejny poziom precyzji. Femtosekundowe lasery mogą zostać użyte do przeprowadzania zabiegów na pojedynczych komórkach lub chromosomach. Rozwój MEMS/NEMS (*micro/nano electromechanical systems*) może doprowadzić do opracowania nanourządzeń, które będą pomagały chirurgowi operować w nanoskali. Ma to na celu zmniejszenia inwazyjności zabiegów chirurgicznych.

## Obszar badań: MEDYCINA

**Kategoria: Nanowarstwy dla medycyny**

**Technologia T21: Nanotechnologie warstw wierzchnich do zastosowań biomedycznych**

Właściwości powierzchni materiału decydują o możliwościach jego zastosowania jako biomateriału. Wykorzystując różne technologie, próbuje się więc wytwarzać warstwy, które chronią przed korozją, są obojętne dla organizmu, wykazują dobrą adhezję i są biokompatybilne. Warstwy wierzchnie do zastosowań biomedycznych mogą mieć różną postać, np. tlenków metali, warstw diamentowych (DLC – *Diamond Like Carbon*), hydroksyapatytu, kompozytów czy polimerów. W zależności od tego, jaki materiał jest nanoszony również inna metoda może być zastosowana. Jedną z bardziej popularnych metod wytwarzania nanostrukturalnej warstwy jest anodyzowanie metalu. Jest to tania i łatwa metoda elektrochemiczna do wytwarzania jendorodnych strukturalnie warstw na elementach o dowolnej geometrii. Wytwarza się w ten sposób nanowarstwy  $\text{TiO}_2$  na Ti,  $\text{ZrO}_2$  na Zr,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  na Al, MgO na Mg. Najwięcej badań dotyczy warstwy  $\text{TiO}_2$ , której wytworzenie ma na celu poprawienie biogodności implantów tytanowych lub bazujących na stopie tytanu. Grubością warstwy steruje się poprzez parametry procesu anodyzowania takie, jak gęstość prądu, napięcie, czas. Nanostrukturalne warstwy anodyzowane mogą mieć formę porowatej struktury wypełnionej, np. fosforanem wapnia, który poprawia biokompatybilność lub nanocząsteczkami srebra, które mają działanie antybakteryjne.

Warstwy diamentowe (DLC), również bardzo popularne w zastosowaniach biomedycznych (stenty, główki stawów biodrowych, implanty stomatologiczne) wytwarzane są wieloma zaawansowanymi technologiami takimi jak rozpylanie jonowe, rozpylanie magnetronowe, chemiczne osadzanie z fazy lotnej wspomaganie plazmą (PECVD – *Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition*). Nakładane warstwy mogą być domieszkiwane takimi pierwiastkami jak P, Ti, N, F, związkami Ca-O.

Dużą grupę warstw powierzchniowych do zastosowań biomedycznych stanowią warstwy polimerowe, które można łatwo wytworzyć i które mają właściwości mechaniczne zbliżone do miękkich tkanek biologicznych. Zaletą ich jest możliwość wytworzenia różnych grup chemicznych na powierzchni, które odpowiednio będą reagować. Najpopularniejsze metody

wytwarzania warstw polimerowych to nakładanie przez zanurzenie, osadzanie z fazy gazowej CVD (*chemical vapor deposition*), nakładanie z roztworu. Nowoczesne warstwy polimerowe badane są pod względem możliwości dostarczania leków, witamin.

### **Obszar badań: MEDYCINA**

**Kategoria: Nanowarstwy dla medycyny**

**Technologia T22: Wytwarzanie warstw i powłok o strukturze nanometrycznej z wykorzystaniem hybrydowych metod PVD**

Metody PVD (*Physical Vapour Deposition* – fizyczne osadzanie z fazy gazowej) należą do grupy najnowocześniejszych procesów inżynierii powierzchniowej. Zaliczyć do nich można rozpylanie jonowe oraz magnetrone rozpylanie jonowe.

Nanoszenie warstw metodą PVD ma na celu modyfikację fizycznych oraz chemicznych właściwości powierzchni. Proces polega na otrzymaniu par nanoszonego materiału, transporcie ich do obrabianego podłoża, a następnie na zaadsorbowaniu cząstek na powierzchni i wzroście warstwy. Połączenie tego typu powłok z podłożem ma charakter adhezyjny.

Hybrydowa metoda PVD jest kombinacją tradycyjnej metody PVD z inną (jedną lub więcej) metodą obróbki powierzchniowej np. obróbką jarzeniową, procesem PACVD, natryskiwaniem cieplnym lub implantacją jonów. Metoda pozwala na pełną kontrolę grubości warstwy, składu chemicznego i fazowego oraz topografii i stanu naprężeń. Od parametrów procesu zależy także mikrostruktura dyfuzyjnie połączonych z podłożem warstw, która może być nanokrystaliczna lub nawet amorficzna. Metoda ta wykorzystywana jest min. w przypadku materiałów do zastosowań biomedycznych. Aby materiał spełniał szereg stawianych mu wymagań, stosuje się kombinację różnych procesów mających na celu poprawienie jego właściwości. W tym celu łączy się np. azotowanie lub węgloazotowanie jarzeniowe z metodą PLD (*Pulsed Laser Deposition*) tworząc na powierzchni warstwy TiN lub TiCN. Tak przeprowadzone obróbki powierzchniowe wpływają zarówno na właściwości mechaniczne podnosząc twardość obrabianego elementu, odporność na zużycie ścierne, jak i poprawiając biologiczną zgodność lub odporność korozyjną, zapobiegając jednocześnie zjawisku metalozy (przechodzenie jonów metalu do organizmu).

### **Obszar badań: PRZEMYSŁ ODZIEŻOWY**

**Kategoria: Nanowłókna (z nanostruktury powierzchniowej lub objętościowej) dla przemysłu tekstylnego**

**Technologia T23: Produkcja nanotkanin do specjalnych zastosowań**

W ostatniej dekadzie konkurencja ze strony krajów rozwijających się wymusza na przemyśle tekstylnym-odzieżowym, aby dostosować się do obecnych tendencji rynkowych. Dbanie o wysoką jakość produktów, innowacyjność i budowanie marki są sposobami na sprostanie konkurencji oraz rozwijanie tego sektora przemysłu w Polsce. Dzięki postępowi w zaawansowanych badaniach naukowych możliwa jest produkcja tkanin do specjalnych zastosowań z wykorzystaniem różnego rodzaju nanocząstek lub nanowłókien. Wymaga to wdrożenia stosownych rozwiązań krótko jak i długo terminowych na wielu poziomach organizacji, aby firmy mogły wprowadzić nowe produkty na rynek.

Nowoczesnego typu „nanotkaniny” wyróżniają się w stosunku do tradycyjnych dodatkowymi właściwościami, które poszerzają obszar ich zastosowania. Zastosowanie nowoczesnych nanopowłok na powierzchni włókien z cząstkami nanosrebra czy TiO<sub>2</sub> powoduje, że tkaniny mogą zyskać większą gładkość, wodoodporność, antybakteryjność i antygrzybiczość. Stosowanie nowoczesnych tkanin oddychających pozwala produkować ubrania dla osób wykonujących zwiększony wysiłek fizyczny w trudnych warunkach atmosferycznych. Niebrudzące się materiały z właściwościami antybakteryjnymi również znalazły szerokie zastosowanie, np. na fartuchy ochronne w ośrodkach zdrowia i inne. Nowoczesne rozwiązania pozwalają na wykorzystanie nanowłókien w tradycyjnych tkaninach, dzięki którym możliwe jest monitorowanie parametrów organizmu ludzkiego. Przykładowo puls, EKG i ciśnienie krwi mogą być badane i przesyłane do ośrodka zdrowia bez uciążliwych dla pacjenta czynności związanych z diagnostyką. Innego typu tkaniny terapeutyczne pozwalają leczyć powszechne schorzenia typu bóle mięśni i stawów.

Prace badawcze nad kolejnymi nanotkaninami pozwolą na stworzenie coraz lepszych produktów z kolejnymi, czasem zaskakującymi, nowymi właściwościami.

## **Obszar badań: PRZEMYSŁ ODZIEŻOWY**

**Kategoria: Nanowłókna (z nanostruktury powierzchniowej lub objętościowej) dla przemysłu tekstylnego**

**Technologia T24: Nanotechnologie związane z tkaninami specjalnymi np. materiały opatrunkowe**

Opatrunek jest strukturą ochraniającą ranę lub skaleczenie przed szkodliwym wpływem środowiska zewnętrznego. Dodatkowo, może on nie tylko osłaniać ranę, ale również działać bakteriobójczo oraz zawierać substancje lecznicze przyspieszające gojenie się uszkodzonej tkanki. Skuteczny opatrunek powinien utrzymywać wilgotne środowisko w miejscu gojenia się rany, chronić od jej wtórnego zakażenia, zmniejszać martwicę podłoża, zapewnić odpowiednią przepuszczalność gazów, a także musi być elastyczny, biokompatybilny z tkanką i krwią, nietoksyczny i nieantygenny. Obecnie prowadzi się na świecie wiele prac badawczych w dziedzinie nanotechnologii i nanomateriałów mających na celu opracowanie tkanin opatrunkowych o wysokiej antyseptyczności i wysokiej porowatości stanowiących jednocześnie dobrą barierę przed wpływem otoczenia.

Do skutecznego opatrywania i leczenia ran może być wykorzystana celuloza bakteryjna zmodyfikowana nanocząsteczkami srebra. Celuloza bakteryjna jest nanobiomateriałem charakteryzującym się ogromną higroskopijnością, wysoką czystością chemiczną oraz pełną biokompatybilnością, biofunkcjonalnością (zdolnością do biologicznych, biofizycznych i biochemicznych oddziaływań z żywym organizmem) i brakiem toksyczności. Jest ona jednym z polisacharydów (rodzaj polimeru) syntetyzowanych przez drobnoustroje. Polisacharydy mikrobiologiczne mają regularną, liniową lub rozgałęzioną strukturę, co zapewnia przyjmowanie przez łańcuch uporządkowanej konformacji także w roztworach wodnych oraz tworzenie stabilnych żeli lub liotropowych ciekłych kryształów. Ta nanowłóknista struktura celulozy bakteryjnej może być dodatkowo nasycana lekami lub środkami przeciwbakteryjnymi, np. nanocząsteczkami srebra. Nanosrebro występujące w postaci cząstek – jonów srebra, dzięki rozdrobnieniu do wielkości 1-5 nm uzyskuje jeszcze lepsze właściwości bakteriobójcze, grzybobójcze i wirusobójcze w porównaniu do klasycznego srebra koloidalnego.

Nanocząsteczki srebra mają znacznie większą powierzchnię czynną, przez co znacząco rośnie ich potencjał biobójczy - zabijają nawet do 99,99% bakterii, wirusów, grzybów i pleśni. Dodatkowo, prócz niszczenia drobnoustrojów, pomagają leczyć odmrożenia oraz przyspieszają regenerację uszkodzonego naskórka tak, że podczas gojenia nie pozostają blizny.

Unikalne właściwości membran powstałych w wyniku dodania nanocząstek srebra do celulozy bakteryjnej dają nowe, jeszcze lepsze rezultaty w leczeniu wszelkiego typu ran skórnych, znacznie przyspieszając ich gojenie. Jednocześnie czyni to z nich interesujący nanobiomateriał, co sprzyja poszukiwaniu i poszerzaniu ich dalszych zastosowań.

## **Obszar badań: PRZEMYSŁ ODZIEŻOWY**

**Kategoria: Nanowłókna (z nanostruktury powierzchniowej lub objętościowej) dla przemysłu tekstylnego**

**Technologia T25: Zbrojenie materiałów polimerowych nanowłóknami**

Nanokompozyty, podobnie jak konwencjonalne kompozyty, składają się co najmniej z dwóch składników, przy czym jeden z nich musi mieć wymiary nanometryczne. Zastosowanie nanonapełniaczy sprawia, że powstałe nanokompozyty wykazują dużo lepsze właściwości niż konwencjonalne kompozyty o takim samym składzie chemicznym, a niekiedy zyskują zupełnie nowe właściwości. Właściwości nanokompozytów zależą od takich parametrów, jak wielkość elementów struktury osnowy, wielkość i kształt elementów zbrojenia, oraz ich rozmieszczenie w osnowie i wielu innych. Duży wpływ na właściwości nanokompozytów ma też sam kształt cząstek napełniacza: płytki, cząstki, rurki lub włókna o rozmiarach nanometrycznych. Właściwości konwencjonalnych kompozytów o osnowie polimerowej są dość dobrze poznane, a w przypadku nanokompozytów zostało jeszcze duże pole do przeprowadzenia badań. Wynika to głównie z dużej różnorodności dostępnych polimerów oraz nanowłókien. Obecne badania nad nanokompozytami polimer–nanowłókno obejmują dwa działy: tworzenie zupełnie nowych mieszanek polimer nanowłókno lub udoskonalenie dotychczas stosowanych kompozytów polimerowych nanowłóknami w celu polepszenia ich właściwości. Istnieje wiele dziedzin potencjalnego zastosowania takich kompozytów.

Poniżej wymieniono kilka z nich wraz z przykładami zastosowania nanokompozytów polimer-nanowłókno:

**Transport** – W tej dziedzinie ciekawym przykładem mogą być badania prowadzone na oponach samochodowych. Zastąpienie obecnie stosowanej sady (napęlniacz) nanowłóknami węglowymi zwiększyło odporność opon na rozdzielanie, podczas gdy inne właściwości fizyczne nie uległy zmianom. Przewidywane badania w tej dziedzinie będą obejmowały: modyfikację składu chemicznego, struktury nanowłókien oraz pokrywanie ich warstwami. Wszystkie te modyfikacje będą miały na celu zwiększenie wytrzymałości wytwarzanych opon. Oprócz tego wielu światowych gigantów motoryzacyjnych (GM, Toyota, Honda) prowadzi badania nad zastąpieniem niektórych elementów karoserii samochodowych kompozytami polimer-nanowłókno (Honda już stosuje nanowłókna szklane jako napęlniacz).

**Energetyka** – W tej dziedzinie dużym zainteresowaniem cieszą się nanokompozyty stosowane do produkcji baterii jonowych. Stosowanie kompozytów polimer-nanowłókno szklane zwiększa pojemność baterii nawet o 40%. Z kolei stosowanie modyfikowanych nanowłókien z co-hexafluoropropylenem w osnowie żelowego polimeru PA lub Poli(tlenku etylenu) sprawia, że znacznie wzrasta przewodność jonowa takich baterii.

**Biomateriały** – W ostatnich latach bardzo wzrosło zainteresowanie kompozytami polimer-nanowłókno celulozy. Ich potencjalne zastosowania to implanty biomedyczne czy sterylne opakowania. W sferze kompozytów polimer-nanowłókno zostało jeszcze wiele do zrobienia, począwszy od doboru właściwych proporcji i składów mieszanek, poprzez modyfikowanie nanowłókien, skończywszy na problemach z mieszaniem i koagulacją nanowłókien.

## **Obszar badań: BUDOWNICTWO I KONSTRUKCJE**

**Kategoria: Nanokompozyty polimerowe**  
**Technologia T26: Zbrojenie ceramiki budowlanej nanowłóknami w różnym składzie chemicznym**

Ceramika jest jedną z dziedzin inżynierii materiałowej, w zakresie której nanotechnologia poczyniła znaczne postępy, tworząc szereg zaawansowanych materiałów o unikalnych właściwościach. Z danych literaturowych

wynika, że rozwój tradycyjnych materiałów ceramicznych jest utrudniony ze względu na ich dużą skłonność do pęknięcia, wysoką porowatość oraz trudności z wykonaniem elementów o skomplikowanych kształtach. Dlatego coraz więcej ośrodków naukowych i firm postawiło na rozwój nanotechnologii. W przypadku ceramiki istnieją dwa rodzaje materiałów: nanoceramika i ceramika zbrojona cząstkami o nanometrycznej wielkości. W pierwszym z nich modyfikacja polega na zastosowaniu substratów, których wielkość nie przekracza 100 nm (w praktyce wynosi od kilkunastu do 300 nm). Natomiast zbrojenie ceramiki polega na zastosowaniu manometrycznych modyfikatorów między innymi nanorurek, nanoproszków. Dynamiczny rozwój nanomateriałów ceramicznych sprawił, że są one coraz częściej stosowane w budownictwie. Do najczęściej modyfikowanych materiałów budowlanych zaliczyć można beton, płytki, cegły, szyby elewacyjne oraz urządzenia sanitarne.

W przypadku betonu modyfikacja polega na wprowadzeniu do mieszanki cementowej nanorurek lub nanowłókien węglowych. Nanomateriały węglowe mają dużo większą wytrzymałość, odporność korozyjną, przewodność cieplną i elektryczną niż obecnie stosowane tradycyjne zbrojenia betonu. Głównym ograniczeniem w zastosowaniu nanowypełniaczy jest ich nierównomierna dyspersja w mieszaninie cementowej. Problem ten rozwiązała fińsko-rosyjska grupa badawcza, która opracowała metodę syntezy nanorurek i nanowłókien na powierzchni cementu. Metoda oparta została na powszechnie znanej metodzie CVD. Katalizatorem reakcji chemicznych w tej metodzie są tlenki magnezu, glinu i krzemu. Z badań wynika, że otrzymany nanobeton jest lżejszy, ma dwukrotnie większą wytrzymałość na ściskanie i czterdziestokrotnie większą przewodność prądu elektrycznego.

Kolejnymi przykładami budowlanych materiałów ceramicznych, w których zastosowano nanomateriały są gresy, terakota, cegły elewacyjne. Optymalizacja polega na dodaniu do ceramiki rozdrobnionego  $\text{TiO}_2$  lub pokryciu powierzchni gotowego wyrobu cienką warstwą tlenku. Rozdrobniony nanomateriał powoduje, że pokryte nim powierzchnie wykazują efekt samooczyszczenia. Również masy ceramiczne, z których wytwarzane są urządzenia sanitarne (umywalki, sedesy) są modyfikowane nanocząstkami w celu zmniejszenia ich



porowatości i rozwinięcia powierzchni. Dzięki czemu woda, brud oraz inne zanieczyszczenia mogą być łatwo usunięte bez konieczności stosowania środków chemicznych.

W ostatnich latach firma Hüper Optik wyspecjalizowała się w wytwarzaniu cienkich nanoceramicznych folii stosowanych przy produkcji szyb elewacyjnych. Folie te wykorzystywane są jako panele solarne doskonale odprowadzające energię słoneczną. Zaletą szyb jest również 99% ochrona przed promieniowaniem UV oraz brak barwników zapewniający naturalny widok. Istnieją również okna elektrochromatyczne, w których zastosowano specjalne nanowarstwy przewodzące prąd. W wyniku przepływu ładunku elektrycznego okna mogą zmieniać swoją barwę o 15%. Pozwala to na zmniejszenie kosztów działania klimatyzacji.

## **Obszar badań: BUDOWNICTWO I KONSTRUKCJE**

**Kategoria: Nanokompozyty polimerowe**

**Technologia T31: Technologie proszkowe do wykorzystania w przetwórstwie tworzyw sztucznych, kompozycji farb i lakierów**

Nanokompozyty polimerowe traktowane są jako istotna kategoria hybrydowych materiałów organiczno-nieorganicznych, w których osnowie organicznej rozdyspergowane są elementy nieorganiczne o wymiarach nanometrycznych (nanocząstki, nanorurki). W porównaniu do tradycyjnych kompozytów polimerowych z napełniaczami mikrometrycznymi, składniki kompozytów nanokrystalicznych cechują się znacznie większą powierzchnią właściwą, a przez to wpływają na właściwości całego kompozytu w znacznie większym stopniu, nawet przy małym udziale objętościowym napełniacza.

Wysoka energia powierzchniowa jest kluczowym aspektem w przypadku nanoproszków, ponieważ odpowiada za ich silną chęć do aglomeracji. Tylko dobrze rozdyspergowane nanoproszki mogą zapewnić wykorzystanie pełnego potencjału stosowania nanocząstek. Na dyspersję nanocząstek można wpływać już na etapie ich wytwarzania (np. metody zol-żel), poprzez oddziaływanie mechaniczne (np. mieszanie, zastosowanie ultradźwięków) lub poprzez modyfikację ich powierzchni w wyniku chemisorpcji odpowiednich molekuł, które mogą posiadać grupy funkcyjne. Nanocząstki mogą zostać poddane także operacji szczepienia polimerem które odbywa się nie tylko na

powierzchni, ale również wewnątrz aglomeratów. Monomery mogą łatwo spenetrować zaglomerowane nanocząstki i dołączyć się do aktywowanych obszarów na ich powierzchni. Wewnętrzna objętość aglomeratu będzie częściowo wypełniona łańcuchami wielocząsteczkowymi, co ułatwi dalsze rozdyspergowanie.

Przykładem wykorzystania nanotechnologii w przemyśle farbiarskim może być stosowanie dodatków w postaci nanocząstek srebra i miedzi. Odpowiednia ich zawartość pozwala na wytworzenie na malowanej powierzchni powłoki zabezpieczającej przed rozwojem grzybów i bakterii, która jest także odporna na żółknięcie i zmianę kolorów jasnych farb.

## **Obszar badań: ROLNICTWO I PRZEMYSŁ SPOŻYWCZY**

**Kategoria: Nanotechnologie dla bezpieczeństwa żywności**

**Technologia T36: Nanowarstwowe powłoki antibakteryjne dla aparatury produkcyjnej przemysłu spożywczego**

Nowoczesna żywność jest obecnie projektowana w sposób kompleksowy, obejmujący nie tylko recepturę, ale także rodzaj materiału opakowaniowego, system pakowania, typ pakowania, zalecane sposoby przechowywania oraz przygotowania do spożycia. Nacisk na naturalność prowadzi do unikania konserwantów, obniżania zawartości soli kuchennej i cukru, stosowania minimalnej dawki ciepłej oraz unikanie temperatur zamrażania skutecznie hamujących drobnoustroje. Wszystkie te nowoczesne technologie wytwarzają produkty o wysokim stopniu mikrobiologicznego zagrożenia zdrowotnego.

W celu zabezpieczenia żywności przed jej zanieczyszczeniem w czasie produkcji, przetwarzania i pakowania należy w odpowiedni sposób przygotować powierzchnię aparatury produkcyjnej przemysłu spożywczego. W tym celu stosuje się nanopowłoki z nanotlenku tytanu (IV), ( $\text{TiO}_2$ ) oraz nanocząstek srebra (Ag). Fotokatalityczne działanie  $\text{TiO}_2$  znane jest od lat. Oznacza to, że powierzchnie pokryte  $\text{TiO}_2$  aktywnie niszczą mikroorganizmy pod wpływem promieniowania UV, światła dziennego lub standardowych żarówek i świetlówek. W oczywisty sposób zwiększa to wygodę i bezpieczeństwo procesu dezynfekcji.

Badania naukowe potwierdziły, że metale takie, jak złoto, miedź, a zwłaszcza srebro rozdrobione do cząstek wielkości kilku nanome-

trów działają bakterioobójczo, dezynfekcyjnie i przeciwzapalnie. Cząstki srebra w wymiarach nanometrycznych mają zdolność do wiązania się z grupami tiolowymi, co hamuje oddychanie bakteryjne, uszkadza replikację komórek poprzez wiązanie z bakteryjnym DNA. W zetknięciu z wirusem, grzybem, bakterią czy jakimkolwiek jednokomórkowym patogenem srebro koloidalne działa jak katalizator hamując działanie enzymów, które umożliwiają organizmom jednokomórkowym oddychanie. W rezultacie w ciągu kilku minut organizmy te giną. Efekt bakterioobójczy osiągany jest przy bardzo małych koncentracjach nanocząstek, co – obok niskiej ceny i prostoty w syntezie – jest dodatkową zaletą, która zwróciła uwagę przedstawicieli światowego przemysłu spożywczego.

Nanowarstwowe powłoki antybakteryjne znajdują zastosowanie do każdego typu powierzchni czyli deski do krojenia, blaty robocze, miejsca do obróbki i przygotowania oraz przechowywania żywności, które stanowią dobry grunt do rozwoju bakterii. Wszystkie powyżej wymienione powierzchnie mogą być pokryte powłoką antybakteryjną, ograniczając rozwój bakterii i zapewniając bezpieczeństwo konsumentów.

### **Obszar badań: OCHRONA ŚRODOWISKA**

**Kategoria: Nanomembrany dla ochrony środowiska**

**Technologia T42: Technologia wytwarzania nanostrukturalnych filtrów włókninowych do oczyszczania gazów i cieczy**

Usuwanie z powietrza i wody różnorodnych zanieczyszczeń od zawsze było wyzwaniem dla naukowców. Jednym ze sposobów radzenia sobie z tym problemem jest stosowanie filtrów włókninowych. W zależności od rodzaju zanieczyszczenia, które należy usunąć, stosuje się różne materiały do wykonania tych filtrów. Powszechnie stosowane są włókna z tworzyw sztucznych, szkła, tworzyw naturalnych, metali, a także ich tlenków. Ważnym parametrem determinującym skuteczność filtracji jest odpowiednio rozwinięta powierzchnia filtrująca. Zastosowanie nanowłókien może znacząco poprawić właściwości filtracyjne dotychczas stosowanych materiałów przy jednoczesnym zmniejszeniu oporów przepływu gazów i cieczy. Do modyfikacji filtrów stosowane są obecnie nanowłókna z tworzyw sztucznych oraz tlenków metali. Przykładem zastosowania na-

nowłókien z tlenków metali do produkcji filtrów są nanowłókna tlenku aluminium oraz nanorurki z tlenku tytanu.  $TiO_2$  został wykorzystany jako skuteczny filtr dymu tytoniowego. Dzięki swoim właściwościom antybakteryjnym i przeciwgrzybiczym nano- $TiO_2$  może być również stosowany w filtrach układów klimatyzacyjnych.

Wśród metod otrzymywania nanowłókien z tworzyw sztucznych elektroprzędzenie wydaje się mieć największy potencjał do zastosowania w przemyśle. Proces ten jest ekonomiczny, oraz umożliwia otrzymywanie nanowłókien o znacznych długościach, przy czym można zastosować go do wielu rodzajów polimerów. Możliwe jest również stworzenie włókien bioaktywnych przez dodanie środków bakterioobójczych. Podobne właściwości bakterioobójcze wykazują również nanorurki węglowe oraz nanodruty srebrowe, z których stworzono skuteczny filtr do wody. Dzięki zastosowanej konstrukcji mikroorganizmy są unieszkodliwiane, ale jednocześnie nie zatrzymują się na powierzchni filtra. Tak otrzymane filtry w porównaniu z klasycznymi filtrami wymagają mniejszego nakładu energii, ponieważ stawiają mniejszy opór dla przepływu wody.

Filtry zawierające nanostruktury mogą znaleźć zastosowanie zarówno w układach klimatyzacyjnych, przemysłowych, jak również w środkach służących do ochrony dróg oddechowych. Mogą także zostać wykorzystane w filtrach do wody, szczególnie w rejonach, w których dostęp do czystej wody jest utrudniony.

### **Obszar badań: OCHRONA ŚRODOWISKA**

**Kategoria: Nanomembrany dla ochrony środowiska**

**Technologia T45: Nanomembrany do oczyszczania wody**

Jednym z globalnych problemów jest zanieczyszczenie środowiska - szczególnie wody. Wchodzą w życie coraz bardziej rygorystyczne przepisy dotyczące ochrony środowiska. Tym samym powstaje potrzeba opracowania dokładniejszych, szybszych i niezawodnych narzędzi kontrolnych pozwalających na monitorowanie szybkości rozprzestrzeniania i poziomu zanieczyszczeń. Dzięki osiągnięciom nanotechnologii, pojawiają się takie możliwości. Nowoczesne materiały i urządzenia umożliwiają rozwój aparatury służącej do monitoringu wód w skali nanometrycznej. Według ostat-

nich doniesień, są już pewne dokonania w tej dziedzinie. Otóż naukowcy stworzyli nowy rodzaj membrany, czyli nanomembranę.

Membrany od dawna były wykorzystywane w oczyszczaniu wody i powietrza, gdyż każda membrana jest swoistym rodzajem filtru co oznacza, że jeden ze składników rozdzielanych mieszaniny może bez przeszkód przechodzić przez membranę, podczas gdy inne w mniejszym lub większym stopniu są przez nią zatrzymywane. Różnica pomiędzy tradycyjnym filtrem a membraną polega na tym, że za pomocą membran można rozdzielać związki aż do zakresu molekularnego [53].

Wspomniana wcześniej nanomembrana ma równomiernie rozmieszczone pory o średnicy około 55 nanometrów. Oznacza to, że wykorzystując nanomembranę można odfiltrować z wody zanieczyszczenia wielkości miliardowych części metra – w tym szkodliwe bakterie [55]. Biorąc pod uwagę ten fakt powstają ogromne możliwości rozwoju:

- szybkich technik analitycznych do pomiaru jakości wody;
- nanofiltracji i oczyszczania wody z wykorzystaniem nanomembran.

Oprowadzenie i wdrożenie nowej technologii monitoringu i oczyszczania wody oparte na użyciu nanomembran wiąże się z obniżeniem kosztów „produkcji” czystej wody pitnej. Jest to też sposób na rozwiązanie globalnego problemu walki z zanieczyszczeniem wód.

## **Obszar badań: PRZEMYSŁ MASZYNOWY I TRANSPORT**

**Kategoria: Nanometale konstrukcyjne**  
**Technologia T38: Technologie nanostrukturyzacji metali i stopów lekkich, w szczególności oparte na metodach dużego odkształcenia plastycznego**

W ostatnich latach duże zainteresowanie wzbudza możliwość kształtowania struktury materiałów poprzez rozdrobnienie ziarna do skali nanometrycznej. Pozwala ono na otrzymanie materiałów o kilkukrotnie większej wytrzymałości – niemożliwej do osiągnięcia przy wykorzystaniu tradycyjnych metod umocnienia. W przypadku metali i ich stopów wykorzystuje się do tego celu m.in. metody dużego od-

kształcenia plastycznego (SPD, *Severe Plastic Deformation*).

Konwencjonalne metody przeróbki plastycznej metali i stopów, takie jak kucie czy walcowanie, pozwalają na rozdrobnienie mikrostruktury do skali mikrometrycznej. Metody SPD natomiast, umożliwiają otrzymanie struktury o nanometrycznym rozmiarze ziarna, a takiemu rozdrobnieniu towarzyszy bardzo wyraźny, często kilkukrotny wzrost właściwości wytrzymałościowych. Metody dużego odkształcenia plastycznego prowadzi się przede wszystkim w celu rozdrobnienia mikrostruktury, a sam proces prowadzony jest zazwyczaj w taki sposób, aby odkształcany materiał zachował swój kształt wyjściowy, co pozwala na skumulowanie dużych odkształceń w metalu. Do najczęściej stosowanych metod SPD zaliczają się:

- skręcanie pod wysokim ciśnieniem (HPT, *High Pressure Torsion*), jednoczesne skręcanie i ściskanie materiału pod wysokim ciśnieniem;
- przeciskanie przez zagięty kanał kątowy (ECAP, *Equal Channel Angular Pressing*), wielokrotne przeciskanie przez kanał kątowy o określonej geometrii;
- cykliczne wyciskanie ściskające (CEC, *Cyclic Extrusion Compression*), połączenie procesu wyciskania i spęczania w jednym cyklu;
- cykliczne walcowanie materiału wielowarstwowego (ARB, *Accumulative Roll Bonding*), wielokrotne walcowanie blach;
- wyciskanie hydrostatyczne (HE, *Hydrostatic Extrusion*), wyciskanie materiału w komorze wypełnionej medium ciśnieniowym.

Metale i stopy lekkie wytwarzane metodami SPD są przyszłością przemysłu transportowego i maszynowego. Można spodziewać się, że będą one użyteczne między innymi przy budowie samochodów i samolotów. Obecnie istnieje bowiem tendencja do zmniejszania masy pojazdów, a dzięki temu – redukcji emisji zanieczyszczeń. Nanometale mogą odegrać tu istotną rolę, stosując bowiem materiały o wyższej wytrzymałości można zmniejszyć rozmiary, a przez to i masę poszczególnych elementów, a w rezultacie masę całego pojazdu.

### 3.4. Priorytetyzacja technologii kluczowych

Priorytetyzacja technologii miała na celu stworzenie rankingu technologii, wyłonionych w toku prac Panelu mapowania technologii i kluczowych technologii, jako kluczowe pod względem ich ważności w rozwoju Podlasia w perspektywie 2020 roku. Priorytetyzacja miała na celu odpowiedź na pytanie, które spośród technologii uznanych za kluczowe należy rozwijać w pierwszej kolejności.

Przyjętą w ramach prac PMTiKT metodykę priorytetyzacji technologii kluczowych

oparto na kryterium uwzględniającym dojrzałość technologii, wywodzącym się z miary *Technology Readiness Level (TRL)*. Wybrany system pomiarowy, umożliwiający ocenę dojrzałości/gotowości danej technologii, a następnie porównanie dojrzałości różnych technologii, zakłada ocenę poprzez przyporządkowanie technologii do jednego z 10 poziomów dojrzałości, gdzie 1 oznacza najniższy poziom dojrzałości, a 10 najwyższy poziom dojrzałości (rys. 38).

**Rys. 38.** Poziomy gotowości technologicznej przyjęte w procesie priorytetyzacji w pracach PMTiKT



Źródło: opracowanie własne na podstawie [43, 61, 42].

Poniżej zaprezentowano poszczególne poziomy reprezentujące fazę rozwoju, w której znajduje się dana technologia [20, 11, 43, 61, 12]:

### **Poziom 1 – Zaobserwowanie i odnotowanie podstawowych praw i zasad**

Najniższy poziom dojrzałości technologii. Badania naukowe zaczynają być przekładane na badania stosowane i rozwojowe, np. badania podstawowych własności materiałów, badania technicznego zjawiska, definicja koncepcji technicznej.

### **Poziom 2 – Sformułowanie koncepcji i/lub zastosowania technologii**

Rozpoczęcie procesu inwencji. Kiedy podstawowe zasady zostają zaobserwowane można rozpocząć poszukiwanie pomysłów ich praktycznych zastosowań. Na tym poziomie to głównie spekulacje, które nie są poparte eksperymentalnym dowodem bądź szczegółową analizą.

### **Poziom 3 – Analityczne oraz eksperymentalne potwierdzenie kluczowych funkcji i/lub koncepcji technologii**

Inicjacja procesu badań i rozwoju. Etap ten obejmuje prace analityczne mające na celu rozpatrywanie technologii w odpowiednim kontekście oraz laboratoryjne weryfikujące poprawność analitycznych założeń. Faza ta powinna stanowić potwierdzenie koncepcji postawionej na poziomie 2.

### **Poziom 4 – Weryfikacja komponentów i/lub modelu w warunkach laboratoryjnych – badania rozwojowe**

Integracja podstawowych elementów technologii w celu ustalenia poziomu i charakteru ich współdziałania. Tworzenie pierwszych modeli z użyciem często elementów tworzonych w warunkach laboratoryjnych. Otrzymywane wyniki charakteryzują się jeszcze niskim poziomem wiarygodności.

### **Poziom 5 – Weryfikacja komponentów i/lub modelu w warunkach zbliżonych do rzeczywistego środowiska – bieżące testy**

Połączenie podstawowych elementów technologii ze wspomagającymi elementami ze środowiska rzeczywistego, tak by całość (na poziomie komponentu, podsystemu, systemu) mogła być badana w symulowanym środowisku rzeczywistym. Wzrost wiarygodności uzyskiwanych wyników.

### **Poziom 6 – Budowa modelu systemu/ podsystemu lub prototypu technologii w warunkach zbliżonych do rzeczywistych**

Model lub prototyp technologii testowany w warunkach laboratoryjnych o wysokim poziomie odzwierciedlenia rzeczywistości lub w symulowanym środowisku operacyjnym. Na tym poziomie może następować integracja poszczególnych technologii.

### **Poziom 7 – Demonstracja prototypu technologii w środowisku operacyjnym**

Prototyp testowany w środowisku rzeczywistej pracy (w samolocie, pojeździe, przesterzeniu).

### **Poziom 8 – Wdrożenie docelowego systemu/ produktu w środowisku operacyjnym**

Technologia sprawdziła się w ostatecznej formie i w oczekiwanych warunkach. Opracowanie ostatecznej specyfikacji. W większości przypadków to ostatnia faza rzeczywistego procesu rozwoju elementów technologii.

### **Poziom 9 – Weryfikacja przez konkretne zastosowania**

Pierwsze faktyczne stosowanie technologii w jej ostatecznej formie.

### **Poziom 10 – Zaakceptowanie technologii przez rynek**

Rozprzestrzenianie się technologii na rynku, nowe zastosowania.

Ocena gotowości technologicznej wywodzi się z procesu planowania technologii przeprowadzanego w NASA, gdzie z powodzeniem jest stosowane do oceny różnorodnych projektów technicznych [43, 20]. Zakłada ocenę gotowości technologii poprzez przyporządkowanie jej do jednego z 9 zdefiniowanych poziomów.

*Technology Readiness Level* to system powstały w latach siedemdziesiątych, podczas obserwacji dotyczących opóźnień i kosztów związanych z badaniami prowadzonymi w NASA. Stwierdzono, że niedojrzałość technologii jest przyczyną nieprzewidywalnych kosztów rozwoju oraz poślizgu harmonogramu. Wykorzystanie TRL miało stworzyć metodologiczny system zapewniający spójne ramy dla oceny dojrzałości technologii oraz utrzymania kosztów i harmonogramu w odpowiednich ramach. Stworzony przy takich założeniach system był użyteczny przy ocenie dojrzałości technolo-



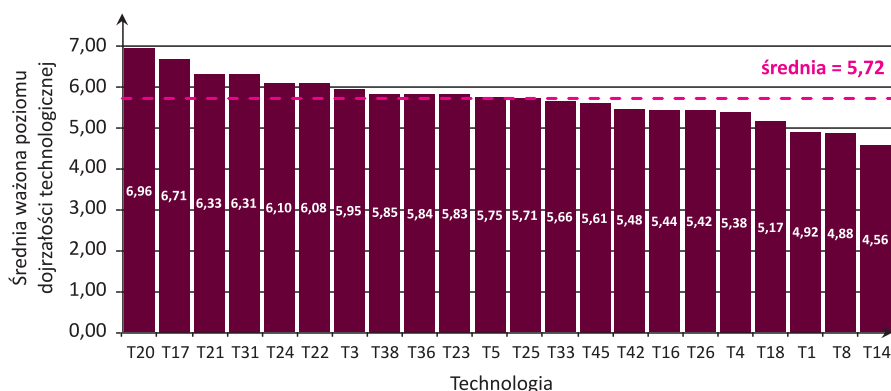
gicznej technologii związanych z elementami oprogramowania oraz/lub sprzętu. Skala TRL mogła również służyć jako wyjściowe kryteria dla określenia faz cyklu życia programu. Tak rozumiana skala pozwalała określić związane z danym programem ryzyko oraz szansę na sukces przekazania technologii użytkownikowi końcowemu, a więc wartość inwestycji w daną technologię. Oryginalnie skala TRL obejmowała 7 stopni gotowości technologicznej. W 1995 roku zmodyfikowano ją, dodając kolejne dwa poziomy. Skala 9-stopniowa pozwala na rozróżnienie gotowości technologicznej, gdzie 1 oznacza najniższy poziom dojrzałości technologii, a 9 technologię w fazie dojrzałego rozwoju [11, 12].

Poziom gotowości technologicznej może być stosowany do oceny dojrzałości różnych technologii i dopasowywany lub modyfikowany dla konkretnego ich typu. Różne organizacje zaadaptowały definicję TRL do swoich potrzeb [12]. Modyfikacje te pozwoliły na stworzenie często uzupełniających metodyk, jak *Manufacturing Readiness Levels (MRL)*, *Programmatic Readiness Levels (PRL)*, *System Readiness Levels (SRL)*, czy *Integration Readiness Levels (IRL)*, [12].

Rozszerzeniem skali TRL jest prezentowane w literaturze polskiej ujęcie indeksu gotowości technologicznej wykorzystywanego w ocenie stopnia radykalności kierunków badań/technologii. Podejście to zakłada 10 stopni gotowości technologicznej, rozszerzając ostatnią fazę dojrzałości technologii [42].

Ocena poziomu gotowości technologicznej w projekcie «NT FOR Podlaskie 2020» odbyła się w formie elektronicznej poprzez wypełnienie przygotowanego przez KZB formularza priorytetyzacji (załącznik 4). Eksperti wraz z formularzem otrzymali przyjęty na potrzeby prac panelu opis poziomów gotowości technologicznej. Wedle założeń poproszono Ekspertów o nadanie poszczególnym technologiom oceny dojrzałości technologicznej w 10 stopniowej skali. Jediną oceną, jaka nie pojawiła się w żadnym z odesłanych formularzy była faza 1 dojrzałości technologicznej. Średnia uzyskana ze wszystkich nadanych ocen wyniosła 5,72. Uśrednione oceny Ekspertów dotyczące poszczególnych technologii, uwzględniające deklarowany poziom ich wiedzy jako wagi podawanych osądów w kwestii dojrzałości technologicznej zostały zaprezentowane wraz z uszeregowaniem wedle uzyskanych średnich ocen technologii przedstawiono na rys. 39.

**Rys. 39.** Ocena ekspercka poziomu dojrzałości poszczególnych technologii przy uwzględnieniu deklarowanego poziomu wiedzy eksperckiej w poszczególnych obszarach



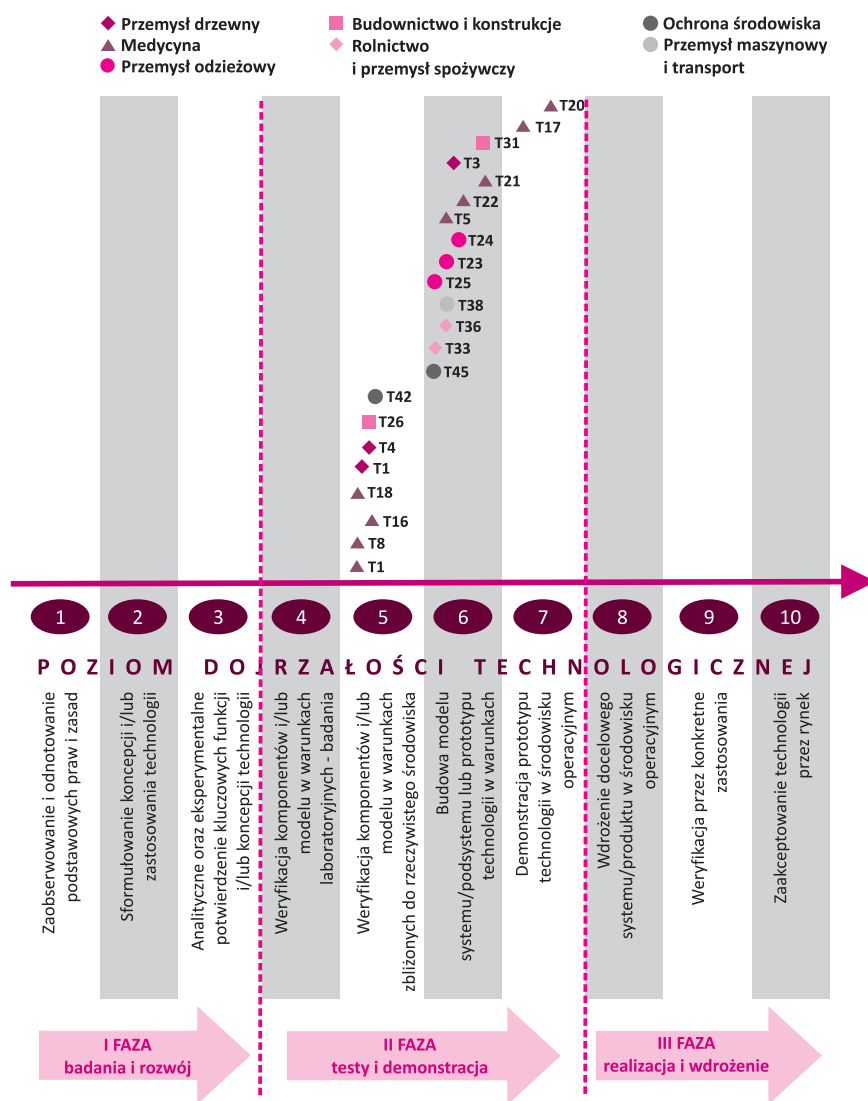
Źródło: opracowanie własne.

Wszystkie technologie uzyskały średnią ocenę z zakresu od 5 do 7 poziomu dojrzałości, co plasuje wszystkie kluczowe technologie w II Fazie rozwoju technologii – testy i demonstracja. Najwyżej oceniono dwie spośród technologii z obszaru medycyny, T20 – Nanomateriały i nanopokrycia w sprzęcie medycznym oraz T17 – Materiały kompozytowe na stałe wypełnienia stomatologiczne, wskazując, iż znajdują się one na 7 poziomie gotowości technologicznej,

a najniżej technologię T14 – Technologie regeneracji tkanek oparte na nanomaterii, również umiejscowioną wśród technologii medycznych (5 poziom gotowości technologicznej).

Na 5 poziomie gotowości technologicznej oceniono również inne technologie, które uzyskały wedle średniej, wyższą notę od technologii T14, były to trzy technologie z obszaru medycyny: T8 – Produkcja biokosmetyków i leczniczych specyfików ziołowych w nanoosni-

**Rys. 40.** Umieszczenie technologii kluczowych na osi dojrzałości technologicznej



Źródło: opracowanie własne.

kach, T16 – Produkcja implantów układu kostnego i T18 – Kompozytowy materiał na bazie stopów tytanu z napełniaczem węglowym do zastosowań w połączeniach kinematycznych implantów okostnych oraz dwie z obszaru przemysłu drzewnego: T1 – Produkcja nanocelulozy i T4 – Nanotechnologie dla ochrony drewna (mechanicznej, fizycznej, chemicznej, biologicznej), jak również jedna z obszaru budownictwo i konstrukcje T26 – Zbrojenie ceramiki budowlanej nanowłóknami w różnym składzie chemicznym oraz jedna z obszaru ochrona środowiska T42 – Technologia wy-

tworzania nanostrukturalnych filtrów włóknowych do oczyszczania gazów i cieczy. Pozostałe technologie uplasowały się na 6 poziomie gotowości technologicznej.

Analiza uzyskanych wyników priorytetyzacji technologii pozwoliła na: 1) naniesienie każdej z kluczowych technologii na oś dojrzałości technologicznej, co zaprezentowano na rys. 40; 2) na sporządzenie rankingu technologii kluczowych w aspekcie ich rozwoju na Podlasiu w perspektywie 2020 roku, które zaprezentowano w tab. 7

**Tab. 7.** Ranking technologii kluczowych uwzględniający deklarowany poziom wiedzy Ekspertów

Lp.	Ozn.	Obszar badań	Kategoria	Technologia	Średnia ważona	Poziom dojrzałości technologicznej
1	T20	Medycyna	Nanowarstwy dla medycyny	Nanomateriały i nanopokrycia w sprzęcie medycznym	6,96	7
2	T17	Medycyna	Nanokompozyty dla ortopedii i stomatologii	Materiały kompozytowe na stałe wypełnienia stomatologiczne	6,71	7
3	T21	Medycyna	Nanowarstwy dla medycyny	Nanotechnologie warstw wierzchnich do zastosowań biomedycznych	6,33	6
4	T31	Budownictwo i konstrukcje	Nanokompozyty polimerowe	Technologie proszkowe do wykorzystania w przetwórstwie tworzyw sztucznych, kompozycji farb i lakierów	6,31	6
5	T24	Przemysł odzieżowy	Nanowłókna (z nanostruktury powierzchniowej lub objętościowej) dla przemysłu tekstylnego	Nanotechnologie związane z tkaninami specjalnymi np. materiały opatrunkowe	6,1	6
6	T22	Medycyna	Nanowarstwy dla medycyny	Wytwarzanie warstw i powłok o strukturze nanometrycznej z wykorzystaniem hybrydowych metod PVD	6,08	6
7	T3	Przemysł drzewny	Nanotechnologie dla przetwórstwa i ochrony drewna	Nanotechnologie dla narzędzi tnących i przetwórstwa drewna	5,95	6
8	T38	Przemysł maszynowy i transport	Nanometale konstrukcyjne	Technologie nanostrukturyzacji metali i stopów lekkich w szczególności oparte na metodach dużego odkształcenia plastycznego	5,85	6
9	T36	Rolnictwo i przemysł spożywczy	Nanotechnologie dla bezpieczeństwa żywności	Nanowarstwowe powłoki antybakteryjne dla aparatury produkcyjnej przemysłu spożywczego	5,84	6
10	T23	Przemysł odzieżowy	Nanowłókna (z nanostruktury powierzchniowej lub objętościowej) dla przemysłu tekstylnego	Produkcja nanotkanin do specjalnych zastosowań	5,83	6
11	T5	Medycyna	Nanocząstki dla medycyny, terapia, diagnostyka, teranostyka	Technologie nanoproszków do zastosowań biomedycznych	5,75	6



**Tab. 7.** Ranking technologii kluczowych uwzględniający deklarowany poziom wiedzy Ekspertów – c.d.

Lp.	Ozn.	Obszar badań	Kategoria	Technologia	Średnia ważona	Poziom dojrzałości technologicznej
12	T25	Przemysł odzieżowy	Nanowłókna (z nanostruktury powierzchniowej lub objętościowej) dla przemysłu tekstylnego	Zbrojenie materiałów polimerowych nanowłóknami	5,71	6
13	T33	Rolnictwo i przemysł spożywczy	Nanotechnologie dla bezpieczeństwa żywności	Nanotechnologie w produkcji opakowań żywności	5,66	6
14	T45	Ochrona środowiska	Nanomembrany dla ochrony środowiska	Nanomembrany do oczyszczania wody	5,61	6
15	T42	Ochrona środowiska	Nanomembrany dla ochrony środowiska	Technologia wytwarzania nanostrukturalnych filtrów włókninowych do oczyszczania gazów i cieczy	5,48	5
16	T16	Medycyna	Nanorusztowania dla medycyny regeneracyjnej	Produkcja implantów układu kostnego	5,44	5
17	T26	Budownictwo i konstrukcje	Nanokompozyty polimerowe	Zbrojenie ceramiki budowlanej nanowłóknami w różnym składzie chemicznym	5,42	5
18	T4	Przemysł drzewny	Nanotechnologie dla przetwórstwa i ochrony drewna	Nanotechnologie dla ochrony drewna (mechanicznej, fizycznej, chemicznej, biologicznej)	5,38	5
19	T18	Medycyna	Nanokompozyty dla ortopedii i stomatologii	Kompozytowy materiał na bazie stopów tytanu z napełniaczem węglowym do zastosowań w połączeniach kinematycznych implantów okostnych	5,17	5
20	T1	Przemysł drzewny	Nanomateriały z drewna i roślin	Produkcja nanocelulozy	4,93	5
21	T8	Medycyna	Nanocząstki dla medycyny, terapia, diagnostyka, teranostyka	Produkcja biokosmetyków i leczniczych specyfików ziołowych w nanoosłonkach	4,88	5
22	T14	Medycyna	Nanorusztowania dla medycyny regeneracyjnej	Technologie regeneracji tkanek oparte na nanomaterii	4,65	5

Źródło: opracowanie własne.

Po analizie przeprowadzonej przez KZB ustalono, że jako priorytetowe, spośród kluczowych technologii, należy wskazać te, które uzyskały najwyższy poziom dojrzałości technologicznej, czyli znalazły się na 6 bądź wyższym poziomie rozwoju wedle przyjętej skali. Są to:

1. Nanomateriały i nanopokrycia w sprzęcie medycznym (T20), obszar badań: MEDYCYNA, kategoria: Nanowarstwy dla medycyny.
2. Materiały kompozytowe na stałe wypełnienia stomatologiczne (T17), obszar badań: MEDYCYNA, kategoria: Nanokompozyty dla ortopedii i stomatologii.
3. Nanotechnologie warstw wierzchnich do zastosowań biomedycznych (T21), obszar badań: MEDYCYNA; kategoria: Nanowarstwy dla medycyny.
4. Technologie proszkowe do wykorzystania w przetwórstwie tworzyw sztucznych, kompozycji farb i lakierów (T31), obszar badań: BUDOWNICTWO I KONSTRUKCJE, kategoria: Nanokompozyty polimerowe.
5. Nanotechnologie związane z tkaninami specjalnymi np. materiały opatrunkowe (T24), obszar: PRZEMYSŁ ODZIEŻOWY; kategoria: Nanowłókna (z nanostruktury powierzchniowej lub objętościowej) dla przemysłu tekstylnego.

6. Wytwarzanie warstw i powłok o strukturze nanometrycznej z wykorzystaniem hybrydowych metod PVD (T22), obszar: MEDYCYNA, kategoria: Nanowarstwy dla medycyny.
7. Nanotechnologie dla narzędzi tnących i przetwórstwa drewna (T3), obszar: PRZEMYSŁ DRZEWNY, kategoria: Nanotechnologie dla przetwórstwa i ochrony drewna.
8. Technologie nanostrukturyzacji metali i stopów lekkich w szczególności oparte na metodach dużego odkształcenia plastycznego (T38), obszar: PRZEMYSŁ MASZYNOWY I TRANSPORT, kategoria: Nanometale konstrukcyjne.
9. Nanowarstwowe powłoki antybakteryjne dla aparatury produkcyjnej przemysłu spożywczego (T36), obszar: ROLNICTWO I PRZEMYSŁ SPOŻYWCZY, kategoria: Nanotechnologie dla bezpieczeństwa żywności.
10. Produkcja nanotkanin do specjalnych zastosowań (T23), obszar: PRZEMYSŁ ODZIEŻOWY, kategoria: Nanowłókna (z nanostruktury powierzchniowej lub objętościowej) dla przemysłu tekstylnego;
11. Technologie nanoproszków do zastosowań biomedycznych (T5), obszar: MEDYCYNA, kategoria: Nanocząstki dla medycyny, terapia, diagnostyka, teranostyka.
12. Zbrojenie materiałów polimerowych nanowłóknami (T25), obszar: PRZEMYSŁ ODZIEŻOWY, kategoria: Nanowłókna (z nanostruktury powierzchniowej lub objętościowej) dla przemysłu tekstylnego.
13. Nanotechnologie w produkcji opakowań żywności (T33), obszar: ROLNICTWO I PRZEMYSŁ SPOŻYWCZY, kategoria: Nanotechnologie dla bezpieczeństwa żywności.
14. Nanomembrany do oczyszczania wody (T45), obszar: OCHRONA ŚRODOWISKA, kategoria: Nanomembrany dla ochrony środowiska.

W przypadku ocen eksperckich uzyskanych na etapie priorytetyzacji technologii kluczowych były to dwie grupy technologii: 1) na poziomie demonstracji prototypu technologii w środowisku operacyjnym, a więc w przestrzeni rzeczywistej pracy (7 poziom dojrzałości technologicznej) oraz 2) na poziomie budowy modelu systemu/podsystemu lub prototypu technologii testowanej w warunkach laboratoryjnych, lecz zbliżonych do rzeczywistego środowiska działania (6 poziom dojrzałości technologicznej). Pierwszą grupą stanowiły 2 technologie z obszaru medycyny, a drugą 12 z różnych obszarów. Znalazły się tu technologie, których rozwój powinienem stać się priorytetem w perspektywie roku 2020 na Podlasiu. Za technologie o większej wadze należy uznać dwie pierwsze technologie, stanowiące pierwszą grupę, cechującą się wyższym poziomem dojrzałości technologicznej.

### 4.1. Analiza potencjalnych obszarów zastosowań nanotechnologii priorytetowych w gospodarce Podlasia

Ocenę możliwości zastosowania poszczególnych nanotechnologii priorytetowych w poszczególnych gałęziach przemysłu województwa podlaskiego z wykorzystaniem macierzy zaprezentowano w tab. 8. W efekcie otrzymano informację na temat sektorów, w których można stosować nanotechnologie priorytetowe. Następnie, na podstawie wyników badań ankietowych przeprowadzonych wśród przedsiębiorstw podlaskich zidentyfikowano zostały gałęzie przemysłu w województwie, które obecnie stosują nanotechnologie, planują je zastosować oraz w ramach których przedsiębiorstwa nie wykazują zainteresowania stosowaniem nanotechnologii. Wyniki zawarto w tab. 9.

Gałęzie przemysłu województwa podlaskiego, biorąc pod uwagę poziom zastosowania nanotechnologii, można podzielić na trzy kategorie:

- wykorzystujące nanotechnologie: przemysł maszynowy, tekstylny i odzieżowy, meblarski, budowlany, rolno-spożywczy i medyczny;
- planujące wykorzystać nanotechnologie: produkcja wyrobów gumowych i z tworzyw sztucznych;
- niezainteresowane wykorzystaniem nanotechnologii: przemysł drzewny i metalowy.

Na podstawie przeprowadzonych badań ilościowych zespół badawczy POB1 opracował bazę przedsiębiorstw działających w woje-

wództwie podlaskim, które wykorzystują, bądź mogłyby w przyszłości wykorzystywać nanotechnologie (tab. 10). Trzeba zaznaczyć, że lista ta ma charakter otwarty.

Wszystkie ankietowane przedsiębiorstwa z sektora tekstylnego i odzieżowego stosują w swojej działalności nanotechnologie. Najczęściej wykorzystują one cząstki nanosrebra – między innymi jony srebra w bawełnie oraz we włóknach polimerowych, mające działanie antybakteryjne. Wykazują one także chęć zmiany stosowanej technologii w kierunku wykorzystania nanotechnologii z kofeiną, w celu wprowadzenia produktów o działaniu wyszczuplającym.

Nanotechnologie stosowane są również w przemyśle: maszynowym (konstrukcja układów scalonych, planowane jest użycie ich w układach mikroprocesorowych), meblarskim (w maszynach do obróbki płyt meblowych), a także w budownictwie (metale i stopy lekkie, farby). W sektorze medycznym wykorzystywane są nanotechnologie do ulepszenia warstw wierzchnich implantów. W sektorze spożywczym natomiast nanotechnologie stosuje się przy filtracji i destylacji. Poza tym przedsiębiorstwa z tego sektora wykazują zainteresowanie w innych zastosowaniach, a mianowicie planują zastosować nanowarstwowe powłoki antybakteryjne dla aparatury produkcyjnej przemysłu spożywczego.

**Tab. 8.** Ocena możliwości zastosowania nanotechnologii priorytetowych w poszczególnych gałęziach przemysłu w województwie podlaskim

	Sektor maszynowy	Sektor tekstylny i odzieżowy	Sektor drzewny	Sektor meblarski	Sektor rolno-spożywczy	Przemysł budowlany	Przemysł metalowy	Produkcja wyrobów gumowych i z tworzyw sztucznych	Sektor medyczny
Nanomateriały i nanopokrycia w sprzęcie medycznym (T20)	N	N	N	N	N	N	N	N	M
Materiały kompozytowe na stałe wypełnienia stomatologiczne (T17)	N	N	N	N	N	N	N	N	M
Nanotechnologie warstw wierzchnich do zastosowań biomedycznych (T21)	N	N	N	N	N	N	N	N	M
Technologie proszkowe do wykorzystania w przetwórstwie tworzyw sztucznych, kompozycji farb i lakierów (T31)	N	N	N	N	N	M	N	M	N
Nanotechnologie związane z tkaninami specjalnymi np. materiały opatrunkowe (T24)	N	M	N	N	N	N	N	N	M
Wytwarzanie warstw i powłok o strukturze nanometrycznej z wykorzystaniem hybrydowych metod PVD (T22)	N	N	N	N	N	N	N	N	M
Nanotechnologie dla narzędzi tnących i przetwórstwa drewna (T3)	N	N	M	M	N	N	N	N	N
Technologie nanostrukturyzacji metali i stopów lekkich, w szczególności oparte na metodach dużego odkształcenia plastycznego (T38)	M	N	N	N	N	N	M	N	N
Nanowarstwowe powłoki antybakteryjne dla aparatury produkcyjnej przemysłu spożywczego (T36)	N	N	N	N	M	N	N	N	N
Produkcja nanotkanin do specjalnych zastosowań (T23)	N	M	N	N	N	N	N	N	N
Technologie nanoproszków do zastosowań biomedycznych (T5)	N	N	N	N	N	N	N	N	M
Zbrojenie materiałów polimerowych nanowłóknami (T25)	N	M	N	N	N	N	N	N	N
Nanotechnologie w produkcji opakowań żywności (T33)	N	N	N	N	M	N	N	N	N
Nanomembrany do oczyszczania wody (T45)	N	N	N	N	N	N	N	N	N

N – Niemożliwa do wykorzystania M – Możliwa do wykorzystania

Źródło: opracowanie własne.

**Tab. 9.** Ocena poziomu zastosowania nanotechnologii priorytetowych w poszczególnych gałęziach przemysłu w województwie podlaskim

	Sektor maszynowy	Sektor tekstylny i odzieżowy	Sektor drzewny	Sektor meblarski	Sektor rolno-spożywczy	Przemysł budowlany	Przemysł metalowy	Produkcja wyrobów gumowych i z tworzyw sztucznych	Sektor medyczny
<b>Medycyna</b> Nanomateriały i nanopowłoki w sprzęcie medycznym (T20) Materiały kompozytowe na stałe wypełnienia stomatologiczne (T17) Nanotechnologie warstw wierzchnich do zastosowań biomedycznych (T21) Wytwarzanie warstw i powłok o strukturze nanometrycznej z wykorzystaniem hybrydowych metod PVD (T22) Technologie nanoproszków do zastosowań biomedycznych (T5)	N	N	N	N	N	N	N	N	P
<b>Budownictwo i konstrukcje</b> Technologie proszkowe do wykorzystania w przetwórstwie tworzyw sztucznych, kompozycji farb i lakierów (T31)	N	N	N	N	N	W	N	P	N
<b>Przemysł odzieżowy</b> Nanotechnologie związane z tkaninami specjalnymi np. materiały opatrunkowe (T24) Produkcja nanotkanin do specjalnych zastosowań (T23) Zbrojenie materiałów polimerowych nanowłóknami (T25)	N	W	N	N	N	N	N	N	N
<b>Przemysł drzewny</b> Nanotechnologie dla narzędzi tnących i przetwórstwa drewna (T3)	N	N	B	W	N	N	N	N	N
<b>Przemysł maszynowy i transport</b> Technologie nanostrukturyzacji metali i stopów lekkich w szczególności oparte na metodach dużego odkształcenia plastycznego (T38)	W	N	N	N	N	N	B	N	N
<b>Rolnictwo i przemysł spożywczy</b> Nanowarstwowe powłoki antybakteryjne dla aparatury produkcyjnej przemysłu spożywczego (T36) Nanotechnologie w produkcji opakowań żywności (T33)	N	N	N	N	P	N	N	N	N

N – Niemożliwe do wykorzystania W – Wykorzystywane

Źródło: opracowanie własne.

**Tab. 10.** Katalog podlaskich przedsiębiorstw wykorzystujących obecnie lub w przyszłości nanotechnologie

Lp.	Nazwa przedsiębiorstwa	Uwagi
1.	Achtel	Nanotechnologie w chemii motoryzacyjnej, kosmetyki samochodowe
2	„POLMOS” Białystok S.A.	Nanotechnologie w dziedzinie oczyszczania spirytusu i filtracji wódek
3	Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Usługowo-Handlowe „MEDGAL”	Nanotechnologie w ulepszaniu warstw wierzchnich implantów
4	Ava	Jony srebra, materiały antybakteryjne, zwiększające wytrzymałość
5	Axami	Jony srebra, materiały antybakteryjne, zwiększające wytrzymałość
6	Gaia	Jony srebra, materiały antybakteryjne, zwiększające wytrzymałość
7	Gortex	Jony srebra, materiały antybakteryjne, zwiększające wytrzymałość
8	Kinga	Jony srebra, materiały antybakteryjne, zwiększające wytrzymałość
9	Kostar	Jony srebra, materiały antybakteryjne, zwiększające wytrzymałość
10	Mat	Jony srebra, materiały antybakteryjne, zwiększające wytrzymałość
11	Kotnel	Układy scalone
12	MARK-BUD	Metale i stopy lekkie, farby
13	PHU BIAL-PŁYT	Nanotechnologie w maszynach do obróbki płyt meblowych
14	SM Mlekwita	Planują zastosowanie nanotechnologii
15	PUS-PEGAZUS	Planują zastosowanie nanotechnologii
16	KAN	Planują wykorzystanie nanotechnologii
17	YUNIVERSAL PODLASKI Sp. z o. o.	Planują zastosowanie nanotechnologii
18	Centrum Ortopedyczno-Protetyczne	Planują zastosowanie nanotechnologii
19	Okruszek	Planują zastosowanie nanotechnologii

Źródło: opracowanie własne.

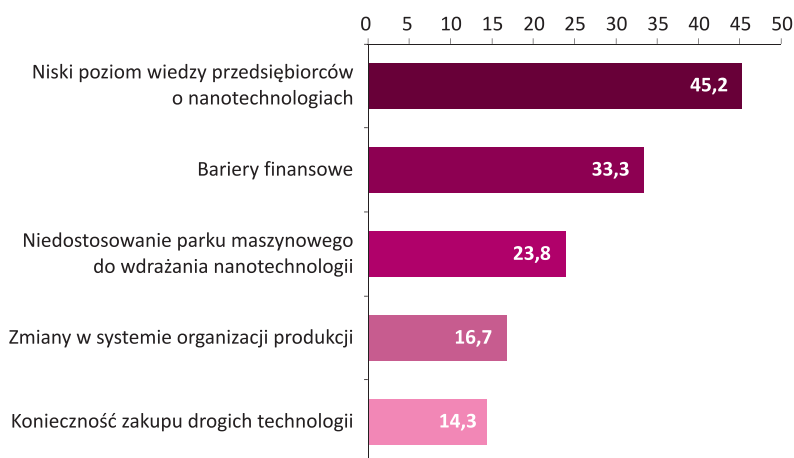
## 4.2. Bariery i korzyści wdrażania nanotechnologii przez podlaskie przedsiębiorstwa

Przeprowadzone badania ankietowe wśród podlaskich przedsiębiorstw wskazują (rys. 41), iż największą barierą rozwoju nanotechnologii jest niski poziom wiedzy firm o nanotechnologiach. Badania potwierdziły, iż wiedza menedżerów w zakresie nanotechnologii jest w dużym stopniu ograniczona i ma charakter ogólny. Przedsiębiorcy dostrzegają wagę problemu oraz mają świadomość szybkiego rozwoju nowych technologii. Wyraźny jest jednak brak wiedzy konkretnej ukierunkowanej

na potrzeby określonych branż. W toku procesu badawczego reprezentanci firm nie zawsze potrafili posługiwać się właściwą nomenklaturą pojęciową z zakresu nanotechnologii udzielając niepełnych odpowiedzi na stawiane pytania.

Barierą o dużym znaczeniu okazały się ograniczenia finansowe. W opinii 33% respondentów brak stabilnej sytuacji finansowej spowalnia rozwój nanotechnologii na poziomie przedsiębiorstwa. Zdaniem 24% responden-

**Rys. 41.** Bariery wdrażania nanotechnologii w podlaskich przedsiębiorstwach [%]



Źródło: opracowanie własne.

tów wdrożenie nanotechnologii wymaga unowocześnienia parku maszynowego. Dla 17% przedsiębiorstw istotną bariery jest konieczność przeprowadzania zmian w dotychczasowym systemie organizacji produkcji. Tylko w opinii 14% firm bariery we wdrażaniu nanotechnologii wynikają z konieczności zakupu drogich technologii.

Systematyzując bariery wdrażania nanotechnologii w podlaskich przedsiębiorstwach można wyróżnić następujące grupy:

**Bariery technologiczne** najczęściej wynikają z niskiego poziomu parku maszynowego. Nanotechnologie jako rodzaj usprawnień w bardzo dużym stopniu determinują rozwój potencjału technologicznego. Brak właściwej bazy w postaci nowoczesnego oprzyrządowania uniemożliwia powodzenie przedsięwzięć z zastosowaniem nanotechnologii. Bariery technologiczne to także utrudniony dostęp do nowych technologii albo wysoki koszt ich pozyskania.

**Bariery ekonomiczne** determinowane są ograniczeniami finansowymi przedsiębiorstw. Niestabilna sytuacja ekonomiczna najczęściej jest przyczyną realizacji strategii krótkookresowych, których celem jest przetrwanie, a nie ponoszenie ryzyka i rozwój. Wdrażanie nanotechnologii wy-

maga stosowania strategii opartych na ekspansji rynkowej i często wiąże się z osiągnięciem korzyści w długim okresie.

**Bariery organizacyjne** odnoszą się głównie do konieczności przeprowadzania zmian w systemach organizacji produkcji, ale także innych komórkach funkcjonalnych. Wprowadzanie na rynek produktów z zastosowaniem nanotechnologii może powodować konieczność dodatkowych usprawnień w organizacji sprzedaży, systemach dystrybucyjnych, ale także w zakresie reklamy.

**Bariery społeczne** wyrażane są niedostatecznym poziomem wiedzy odbiorców różnych rodzajów wytwórczości opartych na nanotechnologiach. Wiedza klienta w dużej mierze uzależniona jest od informacji jakie przekazuje mu oferent. Nie można mówić jednak o ukształtowanym systemie informacji o nanotechnologiach istotnych z punktu widzenia rynków docelowych. Nanotechnologie mogą wpływać na racjonalizację zakupu, niejednokrotnie służą zdrowiu oraz wygodzie użytkownika. Niestety, brak wypracowanych systemów promocji nie dynamizuje popytu na produkty z zastosowaniem nanotechnologii.



**Bariery mentalne i świadomościowe** są konsekwencją ograniczonego kapitału wiedzy opartego na nanotechnologiach. Brak wiedzy lub też niepełna wiedza menedżerów o nanotechnologiach ogranicza ich zastosowanie.

W badaniu zidentyfikowano również korzyści związane z zastosowaniem nanotechnologii. Do najważniejszych należy zaliczyć:

**Korzyści kooperacyjne** wynikające z faktu, iż skuteczność przedsięwzięć z wykorzystaniem nanotechnologii oparta jest na wymianie doświadczeń i zwiększa tym samym zdolność firm do kooperacji. Chodzi tu o kooperację pomiędzy przedstawicielami sektora (przykład osiągnięć Podlaskiego Klastra Bielizny w zakresie wykorzystywania nanotechnologii), ale także o realną przesłankę dla rozwoju współpracy nauki i praktyki. Wynika to z faktu, iż nanotechnologie są bardzo specyficznym rodzajem wiedzy – potrzebnym i jednocześnie trudnym do pozyskania. Rola nauki w tej sferze jest bardzo znacząca.

**Korzyści innowacyjne** uwzględniające szerokie spectrum usprawnień i unowocześnień związanych z zastosowaniem i wdrożeniem nanotechnologii. Ten rodzaj innowacji decyduje nie tylko o udoskonaleniu oferty oraz jej zróżnicowaniu. Stosowanie nanotechnologii często wymaga zastosowaniu innowacji w systemach zarządzania na poziomie strategicznych obszarów funkcjonalnych, a w szczególności zmian w sferze organizacji sprzedaży dystrybucji oraz promocji.

**Korzyści społeczne** wyrażające się poprzez dostosowanie oferty przedsiębiorstwa do potrzeb rynków docelowych. Współcześni konsumenci są wymagający, a ich potrzeby zmieniają się w czasie. Jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy jest silne oddziaływanie na emocje klientów. Brakuje racjonalnych komunikatów ze strony rynku o wysokiej sile argumentacyjnej. Wykorzystanie nanotechnologii może stanowić o wartości dodanej produktu, ale także może stanowić skuteczny czynnik pozycjonowania oferty.

**Korzyści wizerunkowe** przedsiębiorstw wynikające z zastosowania nanotechnologii są ważną przesłanką do budowania opinii o przedsiębiorstwach opartych na takich kryteriach, jak nowoczesność czy innowacyjność. Nanotechnologie są istotnym kryterium wyróżniania się na tle firm konkurencyjnych. Wizerunek regionalnych przedsiębiorstw może przedkładać się na wizerunek regionu, podkreślać jego rozwój i nowoczesność.

**Korzyści strategiczne** wynikające z upowszechniania wiedzy o nanotechnologiach są w pełni zgodne z założeniami strategii rozwoju województwa podlaskiego ponieważ promuje nowoczesność, innowacyjność oraz odpowiada na wyrażane potrzeby lokalnych społeczności. Nanotechnologie mogą przyczynić się nie tylko do dalszego rozwoju sektorów wzrostowych, ale także do rozwoju nowych pobudzenia tradycyjnych przemysłów, takich jak włókiennictwo.

### 4.3. Możliwe źródła finansowania, wdrażania i stosowania nanotechnologii

Coraz więcej przedsiębiorstw wdraża innowacyjne rozwiązania dające przewagę konkurencyjną na rynku, co w efekcie prowadzi do sukcesu komercyjnego. Niezbędne jest jednak znalezienie źródeł finansowania tych przedsięwzięć.

Możliwe źródła finansowania wdrożenia i stosowania nanotechnologii w województwie podlaskim przedstawiono na rys. 42. Środki na innowacyjne rozwiązania pozyskiwane mogą być jako kapitał własny finansowany wewnętrznie bądź zewnętrznie oraz kapitał obcy.

**Rys. 42.** Możliwe źródła finansowania wdrożenia i stosowania nanotechnologii w województwie podlaskim

**Kapitał własny przedsiębiorstwa – finansowanie wewnętrzne**

- zyski niepodzielone
- odpisy amortyzacyjne
- sprzedaż majątku trwałego i obrotowego

**Kapitał własny przedsiębiorstwa – finansowanie zewnętrzne**

- nowe wkłady właścicieli
- przyjęcie nowych wspólników
- emisja akcji
- fundusze wysokiego ryzyka (*Venture Capital*)
- Anioły Biznesu (*Business Angels*)

**Kapitał obcy**

- kredyty bankowe
- leasing
- fundusze poręczeń kredytowych
- fundusze pożyczkowe

**Inne źródła finansowania innowacji**

- Regionalny Program Operacyjny Województwa Podlaskiego
- Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka
- Kredyt technologiczny
- Bon na innowacje
- Rozwiązania podatkowe

Źródło: opracowanie własne.

Dużą szansą są także różne formy dofinansowania pochodzące ze środków Unii Europejskiej ujęte w kategorię innych źródeł finansowania innowacji.

### **Kapitał własny przedsiębiorstwa – finansowanie wewnętrzne**

Kapitał własny przedsiębiorstwa to środki finansowe stanowiące wkład właściciela lub udziału wspólników w majątku jednostki gospodarczej włożony na czas nieograniczony. Stanowią go: kapitał podstawowy, kapitał wypracowany w związku z prowadzeniem działalności oraz zyski niepodzielone. Zwiększanie kapitału własnego może następować w wyniku działań wewnętrznych i zewnętrznych. Finan-

sowanie wewnętrzne nie angażuje kapitału osób trzecich. Jest to przede wszystkim wykorzystanie nadwyżki finansowej, czyli przeznaczanie wypracowanego zysku na rozwój, stosowanie odpisów amortyzacyjnych. Środki mogą być pozyskiwane również w efekcie sprzedaży zbędnych składników posiadanego majątku trwałego i obrotowego [48], [18].

### **Kapitał własny przedsiębiorstwa – finansowanie zewnętrzne**

Zewnętrznymi źródłami zwiększania kapitału własnego może być podwyższenie kapitału zakładowego poprzez nowe wkłady właścicieli lub udziały wspólników oraz przyjęcie nowych wspólników. Możliwe jest także pozy-

skanie środków w wyniku kolejnych emisji akcji i obligacji, a także skorzystanie z Funduszy Private Equity w postaci funduszu wysokiego ryzyka i Aniołów Biznesu [18].

### Anioły Biznesu (*Business Angels*)

Anioły Biznesu to prywatni inwestorzy wspierający wybrane innowacyjne pomysły wyróżniające się na tle branży, zwykle w fazie początkowej ich działalności. Oprócz wkładu finansowego w inwestycję, Anioł Biznesu angażuje też w nią swoją wiedzę, doświadczenie oraz sieć kontaktów, wpływając na wzrost wiarygodności przedsięwzięcia. Staje się on udziałowcem przedsiębiorstwa dążącym do zbudowania jego wartości, czerpiąc zyski z późniejszego odsprzedania swojej części udziałów. Funkcjonowanie tego typu inwestorów pozwala na pokonanie luki kapitałowej, będącej efektem zbyt krótkiej obecności przedsiębiorstwa na rynku. Nie może ono bowiem ubiegać się o środki z innych źródeł, jak na przykład kredyty bankowe. W Polsce istnieją różnego rodzaju stowarzyszenia skupiające takich inwestorów, np. *Lewiatan Business Angels*, Gildia Aniołów Biznesu [17, 8].

### Fundusze wysokiego ryzyka (*Venture Capital*)

Fundusze *Venture Capital*, gromadzące środki od wielu inwestorów, przeznaczone są dla małych, ale prężnie działających przedsiębiorstw. Mogą być przeznaczone na rozwój nowych produktów i technologii, działalność inwestycyjną obciążoną dość dużym ryzykiem. Podobnie jak w wypadku Aniołów Biznesu, fundusz wysokiego ryzyka staje się udziałowcem danego przedsiębiorstwa (zwykle jako akcjonariusz mniejszościowy) na pewien czas, a po osiągnięciu odpowiedniej jego wartości sprzedaje je z zyskiem innemu inwestorowi. Przedsiębiorstwo korzysta także w swoich działaniach inwestycyjnych z doświadczenia i kontaktów swoich inwestorów. Zwykle zajmują oni miejsce w radzie nadzorczej, bezpośrednio nie uczestnicząc w zarządzaniu przedsiębiorstwem. Fundusz wnosi także wiedzę specjalistyczną menedżerów z zakresu m.in. zarządzania, marketingu oraz finansów [36]. Porównanie *Venture Capital* z jednym z najbardziej znanych źródeł finansowania działalności rozwojowej przedsiębiorstwa – kredytem bankowym przedstawiono w tab. 11.

**Tab. 11.** Porównanie *Venture Capital* i kredytu bankowego

Kryterium	<i>Venture Capital</i>	Kredyt bankowy
Kryteria oceny przedsięwzięcia decydujące o przyznaniu środków	Potencjał rozwoju przedsiębiorstwa oraz możliwość sprzedaży akcji na koniec inwestycji	Zdolność kredytowa oraz zabezpieczenia
Możliwość uzyskania wsparcia pozafinansowego	Rola aktywna: doradztwo (prawne, finansowe, w zakresie marketingu), kontakty biznesowe itp.	Rola pasywna
Splata kapitału i koszty jego obsługi	Kapitał zostaje w przedsiębiorstwie na stałe	Systematyczna spłata kapitału wraz z odsetkami
Konieczność przekazania kontroli nad przedsiębiorstwem	Konieczność przekazania inwestorowi części kontroli nad przedsiębiorstwem (zwykle zapewnienie miejsca w radzie nadzorczej)	Obowiązek udostępnienia dokumentów zawierających informacje na temat sytuacji finansowej przedsiębiorstwa
Forma organizacyjno-prawna przedsiębiorstwa	Spółka akcyjna, ewentualnie spółka z ograniczoną odpowiedzialnością	Brak wymagań

Źródło: [9].

### Kapitał obcy

Kapitał obcy są to wszelkie środki pozyskane spoza przedsiębiorstwa. Zastosowanie tego typu finansowania wiąże się ze zwiększeniem poziomu zadłużenia, co bezpośrednio przekłada się na sytuację finansową przedsię-

biorstwa. Wyróżnia się następujące źródła [36]:

- kredyty bankowe (m.in. inwestycyjne);
- obligacje;
- pożyczki (udzielone przez towarzystwa ubezpieczeniowe, fundusze inwestycyjne,

- fundusze pożyczkowe, banki, osoby prywatne);
- bony komercyjne;
- inne zobowiązania (wobec dostawcy, odbiorcy).

### **Kredyt bankowy**

Najprostszą formą pozyskania kapitału przeznaczanego na działania inwestycyjne jest kredyt bankowy. W wypadku większych przedsięwzięć, związanych z podwyższonym ryzykiem możliwe jest także uzyskanie kredytu długoterminowego, udzielonego przez konsorcjum złożonego z kilku banków. Zasady tworzenia tego typu porozumień w Polsce reguluje ustawa Prawo Bankowe z dnia 29 sierpnia 1997 r. (Dz. U. z 2002 r. nr 72, poz. 665, z późn. zm.) [36]. Umowa kredytowa zawiera elementy takie, jak: wielkość kredytu, jego cena – prowizja i oprocentowanie, oznaczenie stron umowy oraz ich podstawowe obowiązki, termin spłaty kredytu, cel, na który jest przeznaczony, informacje o zabezpieczeniach kredytu oraz inne elementy o charakterze fakultatywnym.

### **Pożyczka bankowa oraz środki z funduszy pożyczkowych**

Pożyczka bankowa jest sprawnym sposobem na uzyskanie dodatkowych środków na rozwój przedsiębiorstwa. Tego typu finansowanie, podobnie jak w wypadku kredytów wymaga zabezpieczenia w wartości majątku, wyższej niż planowane zadłużenie. Alternatywą do środków bankowych są fundusze pożyczkowe, udzielające pożyczki przede wszystkim dla mikro i małych przedsiębiorstw między innymi na sfinansowanie inwestycji, rozbudowę, adaptację i modernizację obiektów produkcyjnych, handlowych i usługowych, wdrażanie nowych rozwiązań technicznych i technologicznych, zakup maszyn i urządzeń [54]. W województwie podlaskim funkcjonuje Fundusz Pożyczkowy Podlaskiej Fundacji Rozwoju Regionalnego.

### **Fundusze poręczeń kredytowych**

Pomoc z funduszy poręczeniowych przeznaczona jest dla przedsiębiorstw mających zdolność kredytową, ale nie posiadających odpowiedniej wartości zabezpieczeń, jakie wymagają instytucje finansowe. Poręczenie udzielane jest do 80% kwoty kredytu lub pożyczki. Korzystać z nich można między innymi

w celu pozyskania środków na wdrożenie nowych rozwiązań technicznych lub technologicznych [36].

## **INNE ŹRÓDŁA FINANSOWANIA**

### **Regionalny Program Operacyjny Województwa Podlaskiego**

W ramach Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Podlaskiego przedsiębiorstwa wyodrębniony został obszar wsparcia realizowany jako Oś Priorytetowa I: Wzrost innowacyjności i wspieranie przedsiębiorczości w regionie. Jej celem jest między innymi rozwój wiodących gałęzi przemysłu województwa oraz podniesienie konkurencyjności podlaskich przedsiębiorstw na rynku krajowym i międzynarodowych. Wyszczególnione zostało Działanie 1.4 Wsparcie inwestycyjne przedsiębiorstw, które koncentruje się na wsparciu projektów rozwojowych na obszarze województwa podlaskiego. Jego celem jest wzrost innowacyjności w sektorze MSP, a co za tym idzie również gospodarki regionu. Maksymalna kwota wsparcia w tym obszarze wynosi 4 mln PLN [40].

### **Program Operacyjny Innowacyjna Gospodarka**

Innowacyjna Gospodarka to program finansowany z Funduszy Europejskich, którego celem jest rozwój polskiej gospodarki oparty na innowacyjnych przedsiębiorstwach. Bezpośrednie wsparcie przedsiębiorstwa uzyskać mogą w ramach Osi priorytetowej 4. Inwestycje w innowacyjne przedsięwzięcia między innymi w następujących działaniach [35]:

- 4.1. Wsparcie wdrożeń wyników prac B+R;
- 4.3. Kredyt technologiczny – udzielany przez banki komercyjne we współpracy z Bankiem Gospodarstwa Krajowego;
- 4.4. Nowe inwestycje o wysokim potencjale innowacyjnym – dla przedsiębiorstw stosujących nowe rozwiązania technologiczne, prowadzących do poprawy efektywności i produktywności przedsiębiorstw oraz m.in. poprawy jakości produktów, ograniczenia negatywnego oddziaływania na środowisko;
- 4.5. Wsparcie inwestycji o dużym znaczeniu dla gospodarki – przeznaczone dla dużych przedsiębiorstw produkcyjnych i usługowych, które prowadzą inwestycje o dużej wartości, generujące wiele miejsc pracy.

### Kredyt technologiczny

Fundusz Kredytu Technologicznego przeznaczony jest dla przedsiębiorców wdrażających nowe technologie. Może służyć zakupowi i wdrożeniu nowej technologii lub wdrożeniu własnej nowej technologii stosowanej na świecie nie dłużej niż 5 lat oraz uruchomieniu na jej podstawie wytwarzania nowych lub znacząco ulepszonych towarów, procesów lub usług. Wsparciem jest w tym wypadku tzw. premia technologiczna, która stanowi splotę części kapitału kredytu udzielonego przez bank komercyjny. Z dofinansowania korzystać mogą mikro, małe i średnie przedsiębiorstwa, posiadające zdolność kredytową. Warunkiem jest także przeznaczenie środków własnych stanowiących minimum 25% kosztów kwalifikowanych planowanej inwestycji [50]. Zasady przyznawania kredytów technologicznych reguluje Ustawa z dnia 30 maja 2008 r. o niektórych formach wspierania działalności inwestycyjnej (Dz.U. z 2008 r. Nr 116, poz. 730, z późn. zm.).

### Bon na innowacje

Bon na innowacje to program prowadzony przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości, którego celem jest zainicjowanie kon-

taktów mikro i małych przedsiębiorców z jednostkami naukowymi. Środki uzyskane w ramach programu mogą być przeznaczone na zakup usługi dotyczącej wdrożenia bądź rozwoju produktu lub technologii, a także opracowanie nowych lub udoskonalenie istniejących rozwiązań lub wyrobów przedsiębiorstwa, wykonane przez jednostkę naukową. Kwota dofinansowania to maksymalnie 15 tys. PLN [54].

### Rozwiązania podatkowe

Działalność innowacyjna może być źródłem odliczeń podatkowych. Przedsiębiorstwo może zmniejszyć podstawę opodatkowania o cenę zakupu nowej technologii od jednostek naukowych polskich lub zagranicznych oraz centrów badawczo-rozwojowych w wysokości nie większej niż 50 % dla mikro, małych i średnich przedsiębiorstw, a także 30% w przypadku pozostałych przedsiębiorstw. Nowe technologie to wiedza technologiczna w postaci wartości niematerialnych i prawnych, a w szczególności wyniki badań i prac rozwojowych, która umożliwia wytwarzanie nowych lub udoskonalonych wyrobów lub usług, i nie jest stosowana na świecie dłużej niż 5 lat [36].

## 4.4. Potencjalny wpływ kluczowych nanotechnologii na ludzi i środowisko przyrodnicze

Decyzja o zastosowaniu nanotechnologii w różnych gałęziach przemysłu regionu wymaga uprzedniego przeanalizowania pozytywnego i negatywnego wpływu na ludzi oraz środowisko przyrodnicze. możliwe drogi przenikania nanocząstek do otoczenia przedstawiono na rys. 43.

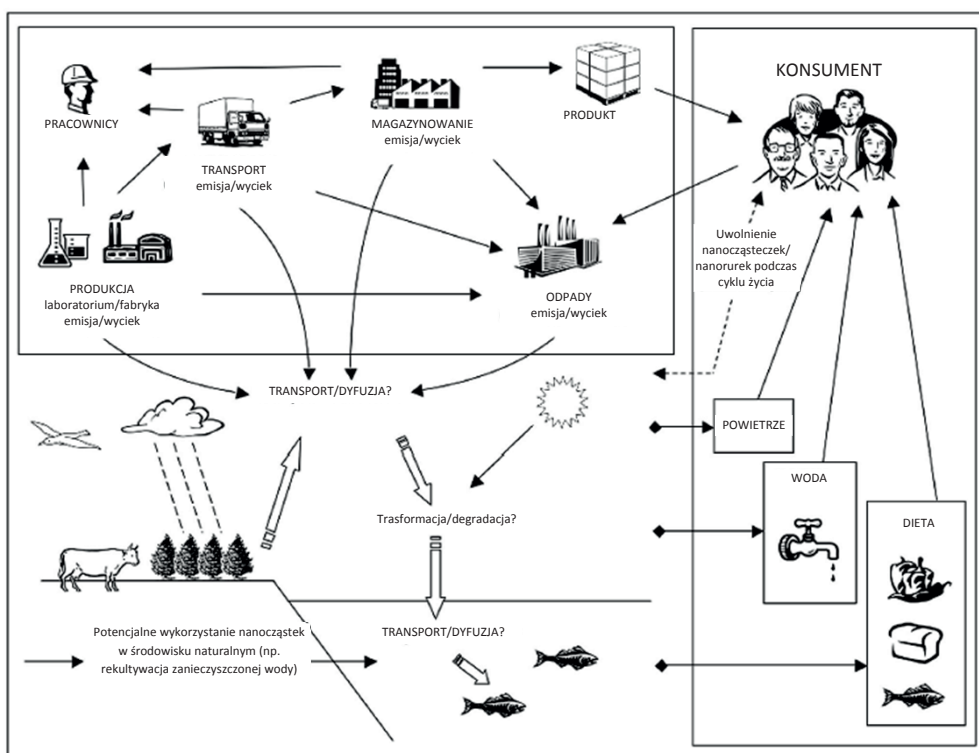
Zastosowanie nanotechnologii w przemyśle regionu może spowodować efekty bezpośrednie i pośrednie. Wśród tych pierwszych wymienić można narażenie pracowników biorących udział w obsłudze procesu produkcji między innymi poprzez wdychanie uwolnionych nanocząstek, a także przedostanie się tych cząstek wraz z odpadami do środowiska naturalnego. W sposób pośredni wpływ mogą

mieć one na użytkowników poprzez wykorzystywanie produktów wykonanych z wykorzystaniem nanotechnologii (np. odzieży), a także w przyszłości, w wyniku przenikania ich przez większość barier do powietrza, wody i pożywienia.

Zastosowanie nanotechnologii w przemyśle spożywczym i rolnictwie jest tematem, wobec którego pojawia się najwięcej wątpliwości. Największe obawy związane są z pytaniem o toksyczność nowo stosowanych czynników i ich wpływ na człowieka i środowisko. Stale analizie poddawane są różne zastosowania nanotechnologii w celu zbadania wpływu, jaki istniejące w nich nanocząstki mają na człowieka i środowisko naturalne. Jedną z wątpliwości



**Rys. 43.** Możliwe drogi oddziaływania nanotechnologii na człowieka i środowisko



Źródło: [24].

jest ich obecność cząstek w miejscach pracy przedsiębiorstw stosujących tego typu technologie, a także zanieczyszczenie nimi miejskiego powietrza [24]. Ze względu na niewielki rozmiar nanocząstek (np. nanorurek węglowych), można je zaliczyć do materiałów włóknistych, które wykazują wysoką toksycność wobec płuc [22].

Toksyczne właściwości włókien azbestowych są podstawą do podejrzeń, iż wszelkie włókna o zbliżonych właściwościach będą powodowały podobne skutki. Mimo, że cechy fizyczne węgla oraz nanorurek węglowych wskazują na możliwość, iż mogą mieć one właściwości toksyczne podobne do tych, które mają włókna azbestu, we wstępnych badaniach toksykologicznych wykazano, iż nie przedostają się one tak łatwo do powietrza. Badania wykazują także małe prawdopodobieństwo, aby produkowane nanocząstki w takiej ilości, w jakiej wprowadzane są do ludzkiego organizmu

były w stanie spowodować negatywne skutki zdrowotne [24].

Coraz powszechniejsze zastosowanie nanotechnologii zauważyć można w opakownictwie żywności. Wykorzystywane są one do produkcji poliestrowych butelek, powlekanych kartonów papierowych, folii. Opakowania te stanowią ochronę przed szkodliwym działaniem promieniowania UV i światła widzialnego (narażenia te np. w przypadku piwa wpływają na pogorszenie jego jakości). Właściwości te są szczególnie pożądane w przechowywaniu leków. Tworzywa te cechuje większa wytrzymałość, stabilność wymiarów, odporność na wysokie temperatury. Znane są też możliwości stosowania nanokompozytów o właściwościach antybakteryjnych, przyjaznych dla ludzkiego organizmu, a także biodegradowalny materiał wzmocniony nanocząsteczkami celulozy [7].

Zastosowanie nanotechnologii pozwoli przedsiębiorstwom funkcjonującym w tym obszarze na wprowadzenie nowych standardów bezpieczeństwa chroniących przed zagrożeniami mikrobiologicznymi. Na terenie parków narodowych i krajobrazowych oraz obszarach Natura 2000 należy prowadzić zrównoważoną gospodarkę zasobami naturalnymi. Nanotechnologie umożliwiają ograniczanie stosowania tradycyjnych produktów chemicznych w przemyśle spożywczym, rolnictwie i hodowli (między innymi zastępując antybiotyki dodawane do pasz zwierząt) oddziałujących bardzo negatywnie na środowisko naturalne Podlasia, którego rolnictwo jest dominującym działem gospodarki.

Jednym z kierunków wykorzystywania unikalnych właściwości nanoproductów jest medycyna. Obecnie głównie są one stosowane do konstrukcji antybakteryjnych opatrunków, w przyszłości przewiduje się produkcję z ich udziałem wytrzymałych protez oraz opracowanie dzięki nim nowych sposobów dostarczania leków. Wielkość nanocząstek sprzyja także wchłanianiu do komórek, które przedostając się przez błonę komórkową mają możliwość ingerowania w ważne ich funkcje, takie jak ruchliwość i zdolność do usuwania bakterii [24].

Farbami zawierającymi nanosrebro możliwe jest pokrycie aparatury medycznej, pomieszczeń zabiegowych w szpitalach, a także ich wyposażenia. Dzięki temu zapewnia się sterylizację powierzchni; ponadto działanie bakteriobójcze ma mycie podłóg z dodatkiem srebra koloidalnego. Dodatkowo cząsteczkami nanosrebra impregnowane są między innymi odzież ochronna, pościel. Opisane zastosowania wpływają na poprawę warunków leczenia w szpitalach i innych ośrodkach zdrowia w regionie, pozwalają unikać infekcji nabytych w szpitalu, niezwiązanych z przeprowadzanymi zabiegami, a będących efektem istnienia w środowisku bakterii [51]. Zastosowanie takich technologii, jak: Nanomateriały i nanopowłoki w sprzęcie medycznym, Materiały kompozytowe na stałe wypełnienia stomatologiczne, Nanotechnologie warstw wierzchnich do zastosowań biomedycznych, Wytwarzanie warstw i powłok o strukturze nanometrycznej z wykorzystaniem hybrydowych metod PVD, Technologie nanoproszków do zastosowań biomedycznych wpłynę na poprawę komfortu i bezpieczeństwa pacjentów, czego bezpośred-

nim efektem jest poprawa stanu zdrowia społeczności lokalnej.

Sektor budownictwa to kolejny obszar potencjalnego zastosowania nanotechnologii w województwie podlaskim. Znane są metody wykorzystania specjalnych nanopowłok w pokryciach elewacji, które ułatwiają usuwanie zabrudzeń i jednocześnie są odporne na zanieczyszczenia atmosfery. Ich właściwości fizykochemiczne zapobiegają bioobrastaniu. Dzięki nim możliwa jest rezygnacja z dotychczas stosowanych toksycznych farb, szkodliwych dla środowiska. Kolejne korzyści, jakie przynoszą te rozwiązania to poprawa jakości środowiska naturalnego regionu, a także efekty wymierne – między innymi obniżenie kosztów utrzymania budynków. Nanosuwrowce wykorzystywane do produkcji farb i lakierów z wykorzystaniem nanotechnologii powodują bowiem wzrost odporności na ścieranie, zmniejszając możliwość przywierania zanieczyszczeń [58]. Wpływa to także na walory estetyczne zabudowań w województwie.

Z budownictwem ściśle związany jest sektor drzewny, którego rozwój jest widoczny również w województwie podlaskim. Duże możliwości dla nanotechnologii pojawiają się w dziedzinie wykańczania powierzchni drewna i materiałów drewnopochodnych. Pokrycie nanocząstkami  $\text{SiO}_2$  powłok ogranicza zarysowanie i ścieranie, nanocząstki  $\text{ZnO}$  i  $\text{TiO}_2$  chronią przed promieniami UV, nanosrebro wpływa na właściwości antybakteryjne [31].

Poprawa wydajności oraz funkcjonalności drewna i materiałów drewnopochodnych wydłuża czas użytkowania produktów z nich powstałych (odporność na rozkład, korniki, wilgoć). Impregnowanie drewna środkami chemicznymi o niskiej toksyczności, zawierającymi nanotechnologie może wpłynąć na zmniejszenie oddziaływania negatywnych czynników, przedłużając okres jego eksploatacji. Większa trwałość materiałów oznacza mniejsze zapotrzebowanie na surowiec. Przynosi to korzyści ekonomiczne użytkownikom, a także wpływa na stan środowiska, ograniczając wycinę lasów [60].

Kolejnym obszarem związanym z zastosowaniem nanotechnologii w województwie podlaskim jest ochrona środowiska, a przede wszystkim problem utrzymania w odpowiednim stanie jakości wód regionu. Możliwe jest zastosowanie technologii wykorzystujących między innymi nanomembrany, służące odsa-



laniu i oczyszczaniu wody, nanocząstek do oczyszczania ścieków i remediacji wód, a także urządzeń pozwalających na dokładne określenie ich jakości (nanometrologia). Rozwiązania te będą oddziaływać niewątpliwie na rozwój gospodarki województwa, jednocześnie determinując poprawę warunków życia oraz zdrowia społeczności lokalnej, a także wpływając na stan środowiska przyrodniczego [6].

Wśród metod wytwarzania materiałów metalowych o strukturze nanometrycznej, przeznaczonych między innymi dla przemysłu maszynowego wyróżnić można metody wykorzystujące intensywne odkształcenie plastyczne (SPD – *Severe Plastic Deformation*). Wytworzenie w efekcie struktury ultradrobnoziarnistej i nanodrobnoziarnistej wpływa na poprawę właściwości wytrzymałościowych, zwiększenie twardości, ciągliwości, a także odporności na pęknięcie [1]. Pozytywnym aspektem zastosowania nanotechnologii jest zmniejszenie ilości wykorzystywanych surowców nieodnawialnych i energii zużytych do produkcji, a także redukcja zanieczyszczeń i odpadów powstających w całym cyklu życia wyrobów [19].

Zastosowanie nanotechnologii w przemyśle odzieżowym umożliwia zwiększenie funkcjonalności tekstyliów poprzez nadanie im specyficznych cech zapobiegających działaniu czynników zewnętrznych. Dzięki wykorzystaniu w produkcji nanowłókien można uzyskać zmniejszoną palność produktów, zwiększyć odporność termiczną i wytrzymałość oraz nadać właściwości antybakteryjne i antystatyczne.

Zastosowanie nanotechnologii w różnych dziedzinach przemysłu może skutkować niekontrolowanym wydostaniem się nanomateriałów do środowiska. Przykładem może być przedostanie się nanosrebra stosowanego w produkcji tkanin do wody podczas użytkowania i prania odzieży.

W Polsce, również na Podlasiu, największym problemem związanym z nanotechnologiami jest brak kontroli nad ich bezpiecznym wdrażaniem w różnych przemysłowych zastosowaniach. Dotychczas nie pojawiły się żadne

regulacje prawne, które określałyby te warunki. Pewną trudność sprawia też określenie stanu i liczby przemysłowych wdrożeń w dziedzinie nanotechnologii. W raporcie na temat nanonauki i nanotechnologii wśród powodów takiej sytuacji wymieniono [38]:

- brak portalu informacyjnego w obszarze zastosowań przemysłowych;
- trudny dostęp do raportów o stanie przemysłu nano w Polsce;
- używanie terminu nano do charakterystyki produktów lub technologii w sposób nieuzasadniony.

W Unii Europejskiej tego typu tematyką zajmują się komitety naukowe, których zadaniem jest zapewnienie bezpieczeństwa konsumentów, a także ochrona zdrowia publicznego oraz środowiska (funkcje takie spełnia także Komitet Naukowy do spraw Pojawiających się i Nowo Rozpoznawalnych Zagrożeń dla Zdrowia). Europejska Grupa do spraw Etyki rozważa natomiast zagadnienia związane z etycznymi aspektami zastosowań nanotechnologii. Z kolei w Stanach Zjednoczonych uwarunkowania prawne rozwoju nanotechnologii określa ustawa *Nanotechnology Research and Development Act*. Powołano także instytucje – koordynowane przez rząd, które w skali ogólnokrajowej mają za zadanie informowanie społeczeństwa o potencjalnych zagrożeniach związanych ze sferą nano, a także koordynowania działań sektora przemysłowego i prac instytucji naukowo-badawczych (między innymi *The National Nanotechnology Coordination Office*), [38].

Ważnym zagadnieniem jest również zwiększenie wiedzy oraz świadomości społecznej w regionie na temat nanotechnologii i możliwości ich zastosowań w różnych dziedzinach życia. Należy też podejmować publiczną dyskusję na tematy związane z wpływem modyfikacji produktów na poziomie molekularnym na funkcjonowanie człowieka. Rozważać należy między innymi możliwości ujawnienia się pewnych efektów związanych z toksycznością tych produktów po kilkunastu latach [59].

Na podstawie zaprezentowanych w opracowaniu wyników badań dwóch paneli: mapowania technologii i kluczowych technologii oraz nanotechnologii w gospodarce Podlasia, w ramach projektu Foresight technologiczny «NT FOR Podlaskie 2020». Regionalna strategia rozwoju nanotechnologii wyłoniono katalog nanotechnologii kluczowych, które w najwyższym stopniu mogą przyczynić się do zrównoważonego rozwoju społeczno-gospodarczego województwa podlaskiego. Zidentyfikowano potencjalne możliwości wykorzystania nanotechnologii na rzecz istniejących oraz nowych branż przemysłu, a także zagrożenia związane z wykorzystaniem nanotechnologii. Opracowano również katalog podlaskich przedsiębiorstw wykorzystujących obecnie lub w przyszłości nanotechnologie.

W ramach prac Panelu mapowania technologii i kluczowych technologii przygotowano wykaz technologii priorytetowych, czyli takich nanotechnologii, które mają szanse zaistnieć w województwie podlaskim w pierwszej kolejności.

Podstawową techniką badawczą wykorzystywaną na potrzeby prac panelu były badania ankietowe 19 członków panelu ekspertów realizowane za pomocą 5 kwestionariuszy badawczych, których wypełnianie przez ekspertów odbywało się drogą elektroniczną. Użytkiwane w trakcie poszczególnych etapów wyniki zostały uporządkowane przez Kluczowy Zespół Badawczy.

Ostateczny wykaz 57 technologii kandydujących przyporządkowano do następujących obszarów zastosowań: przemysł drzewny, medycyna, przemysł odzieżowy, budownictwo i konstrukcje, rolnictwo i przemysł spożywczy, przemysł maszynowy i transport, ochrona środowiska. Wyróżniono pozostałe obszary zastosowań, do których zaliczono technologie związane z nanofotonią, spintroniką oraz nanoprocesami produkcyjnymi. Za obszar o potencjalnych najszerszych zastosowaniach nanotechnologii eksperci wskazali medycynę.

Wyniki przeprowadzonej oceny technologii kandydujących, oparte na zestawie kryteriów odnoszących się do atrakcyjności oraz wykonalności, pozwoliły na zawężenie zestawu technologii do 22 technologii kluczowych, dla których średnie ocen zarówno atrakcyjności, jak i wykonalności przekraczały poziom średni ocen eksperckich uzyskanych w obu grupach kryteriów.

Realizowana w dalszej kolejności priorytyzacja technologii została oparta na kryterium uwzględniającym dojrzałość technologii, wywodzącym się z miary *Technology Readiness Level*. Dla każdej z 22 technologii kluczowych został określony poziom dojrzałości technologicznej poprzez przyporządkowanie technologii do jednego z 10 poziomów dojrzałości. Za priorytetowe spośród kluczowych technologii uznano te technologie, które uzyskały poziom dojrzałości technologicznej powyżej 6. W wyniku przeprowadzonej eksperckiej oceny dojrzałości technologicznej wyłoniono 14 następujących technologii priorytetowych:

- nanomateriały i nanopokrycia w sprzęcie medycznym;
- materiały kompozytowe na stałe wypełnienia stomatologiczne;
- nanotechnologie warstw wierzchnich do zastosowań biomedycznych;
- technologie proszkowe do wykorzystania w przetwórstwie tworzyw sztucznych, kompozycji farb i lakierów;
- nanotechnologie związane z tkaninami specjalnymi np. materiały opatrunkowe;
- wytwarzanie warstw i powłok o strukturze nanometrycznej z wykorzystaniem hybrydowych metod PVD;
- nanotechnologie dla narzędzi tnących i przetwórstwa drewna;
- technologie nanostrukturyzacji metali i stopów lekkich w szczególności oparte na metodach dużego odkształcenia plastycznego;

- nanowarstwowe powłoki antybakteryjne dla aparatury produkcyjnej przemysłu spożywczego;
- produkcja nanotkanin do specjalnych zastosowań;
- technologie nanoproszków do zastosowań biomedycznych;
- zbrojenie materiałów polimerowych nanowłóknami;
- nanotechnologie w produkcji opakowań żywności;
- nanomembrany do oczyszczania wody.

Podstawową techniką badawczą wykorzystywaną na potrzeby prac panelu Nanotechnologie w gospodarce Podlasia były badania ankietowe zrealizowane wśród 47 przedsiębiorstw. W tym celu wykorzystano kwestionariusz badawczy, a jego wypełnienie odbywało się w drodze wywiadu przeprowadzonego przez studentów Wydziału Zarządzania Politechniki Białostockiej.

Gałęzie przemysłu województwa podlaskiego, biorąc pod uwagę poziom zastosowania nanotechnologii, można podzielić na trzy kategorie:

- wykorzystujące nanotechnologie: przemysł maszynowy, tekstylny i odzieżowy meblarski, budowlany, rolno-spożywczy i medyczny;
- planujące wykorzystać nanotechnologie: produkcja wyrobów gumowych i z tworzyw sztucznych;
- niezainteresowane wykorzystaniem nanotechnologii: przemysł drzewny i metalowy.

Nanotechnologie w opinii badanych przedsiębiorstw są znaczącym czynnikiem sprawczym, decydującym o rozwoju potencjału technologicznego przedsiębiorstw. Z drugiej jednak strony, dało się też zauważyć jednokierunkowe postrzeganie nanotechnologii tylko w kategoriach technologicznych. W mniejszym stopniu dostrzega się ten rodzaj usprawnień jako czynnik popytotwórczy, wpływający na poziom zaspokojenia potrzeb rynków docelowych.

Większą skłonność do wykorzystywania nanotechnologii mają przedsiębiorstwa, które posiadają już ten rodzaj usprawnień. Nanotechnologie w opinii większości badanych firm je wykorzystujących mają bezpośrednie przełożenie na osiągnięte efekty produkcyjne i rynkowe.

Podlaskie firmy dostrzegają pozytywny wpływ nanotechnologii na rozwój potencjału

ekonomicznego. Korzystny charakter oddziaływania nanotechnologii jest jednak oceniany na poziomie dużej ogólności.

Wiedza na temat nanotechnologii jako czynnika decydującego o rozwoju potencjału technologicznego jest w dużym stopniu ograniczona. Przedsiębiorcy często w ocenie zjawiska posługują się uogólnieniami. Należy dostrzec bezpośrednie zależności pomiędzy potencjałem wiedzy a zastosowaniem nanotechnologii. Po pierwsze, właściwie zgromadzona wiedza zmniejsza ryzyko porażki rynkowej. Po drugie, nanotechnologie są zjawiskiem stosunkowo nowym, wymagają więc wiedzy ciągłej i aktualnej. Luka informacyjna jest szansą dla uczelni i instytutów badawczych, co może być ważnym czynnikiem powodującym zacieśnianie związków pomiędzy nauką i praktyką gospodarczą.

Przedsiębiorstwa planujące wdrożenie nanotechnologii wykazują postawę raczej zachowawczą. Wynika ona przede wszystkim z relacji, jakie występują pomiędzy firmami na poziomie sektorów. Nie wymuszają one zmian oraz nie są bezpośrednią przyczyną przedsięwzięć o charakterze proinnowacyjnym. Planowanie zastosowania nanotechnologii w przyszłości pokazuje świadomość przedsiębiorstw w zakresie korzyści wynikających z zastosowania nanotechnologii, jednak, biorąc pod uwagę sytuację w sektorze, decyzje o ich zastosowaniu są odkładane na przyszłość. Przeszkodą we wdrażaniu nanotechnologii w podlaskich przedsiębiorstwach są: bariery technologiczne, ekonomiczne, organizacyjne, społeczne oraz mentalne i świadomościowe.

Autorzy wykazują, że nanotechnologie mogą być jednym z istotnych czynników podniesienia produktywności i konkurencyjności regionu. Z zastosowaniem nanotechnologii wiążą się korzyści kooperacyjne, innowacyjne, społeczne, wizerunkowe oraz strategiczne. Uzyskane wyniki badań stanowią istotne źródło wiedzy o uwarunkowaniach rozwoju gospodarczego regionu w warunkach globalnego rozwoju technologicznego i powinny być – w opinii autorów – ważną przesłanką w kształtowaniu polityki innowacyjnej województwa podlaskiego, wyrażającej się między innymi w podejmowaniu decyzji o wspieraniu przedsięwzięć związanych z opracowywaniem i wdrażaniem produkcji i usług opartych na nanoinnowacjach.

## Załącznik 1. Wzór ankiety na potrzeby oceny przydatności kryteriów oceny

Poniżej przedstawiono listę propozycji kryteriów. Proszę o wskazanie obok każdego z kryteriów oceny przydatności danego kryterium w skali: W, 1, 2 lub 3, gdzie za W należy przyjąć wykluczenie danego kryterium z listy, 1 – niską przydatność kryterium w ocenie atrakcyjności technologii, 2 – przeciętną przydatność w ocenie atrakcyjności technologii, 3 – wysoką przydatność w ocenie atrakcyjności technologii. W kratce przy wybranej wartości proszę wstawić znak „x”

PRZYDATNOŚĆ KRYTERIÓW ODNOSZĄCYCH SIĘ DO ATRAKCYJNOŚCI	W	1 NISKA	2 PRZECIĘTNA	3 WYSOKA
Wpływ rozwoju technologii na wzrost rynku regionu				
Wpływ rozwoju technologii na efektywność/wydajność materiałowo-energetyczną				
Wpływ rozwoju technologii na produktywność regionu				
Kapitałochłonność technologii				
Czasochłonność związana z opracowaniem danej technologii				
Wiedzochłonność				
Zdolność do absorpcji kapitału, w tym kapitału załączkowego				
Potencjał do masowej produkcji i cięcia kosztów				
Możliwość łatwej komercjalizacji				
Możliwość szerokiego rozpowszechniania i wykorzystania wyników				
Wpływ rozwoju technologii na wzrost eksportu regionalnego				
Wpływ rozwoju technologii na możliwość tworzenia mocnej pozycji konkurencyjnej podlaskich przedsiębiorstw				
Wpływ rozwoju technologii na jakość życia na Podlasiu				
Generowany przez technologię poziom innowacyjności – oceniany np. na podstawie liczby projektów rozwojowych oraz celowych				
Prawdopodobieństwo połączenia kierunku badawczego z innymi kierunkami badawczymi				
Stymulacja badań podstawowych				
Stymulacja badań stosowanych				
Prawdopodobieństwo nawiązania międzynarodowej naukowej współpracy				
Prawdopodobieństwo pojawienia się przełomowych odkryć				
Wpływ rozwoju technologii na zrównoważony rozwój regionu				
Wpływ rozwoju technologii na oszczędność energii i zasobów naturalnych				
Wpływ rozwoju technologii na emisję zanieczyszczeń i odpadów				
Wpływ rozwoju technologii na obronność				
Potencjał technologii do współdziałania/kombinacji z innymi technologiami				
Prawdopodobieństwo absorpcji technologii w istniejącym przemyśle Podlasia				
Prawdopodobieństwo absorpcji technologii w nowo tworzonych gałęziach przemysłu				
Wpływ rozwoju technologii na tworzenie nowych technologii				

## Załącznik 1. ... c.d.

PRZYDATNOŚĆ KRYTERIÓW ODNOSZĄCYCH SIĘ DO ATRAKCYJNOŚCI	W	1 NISKA	2 PRZECIĘTNA	3 WYSOKA
Wpływ rozwoju technologii na tworzenie nowych miejsc pracy				
Wpływ rozwoju technologii na wzrost (rozwój) kwalifikacji kadr				
Oddziaływanie na możliwie dużą liczbę przedsiębiorstw regionu poprzez powiązania kooperacyjne lub inne formy współpracy (echo innowacyjne, efekt mnożnikowy)				
Wzmacnianie kluczowych branż i firm regionu				
Relacja jakości technologii do jej cyklu (długości) życia				
Możliwość zastosowania technologii w kilku obszarach				
Możliwość długoterminowego rozwoju i doskonalenia technologii				
Możliwość dyfuzji technologii na rynku regionalnym				
Poziom kreowanych i oferowanych komercyjnie rozwiązań technologicznych umożliwiający sprostanie konkurencji globalnej				
Możliwość generowania technologii wyłaniających się				
Stopień zaangażowania potencjału intelektualnego i możliwości organizacyjnych w miejsce wykorzystywanych zasobów surowcowych i pracy fizycznej				
Akceptacja społeczna				
Wrażliwość technologii na kryteria etyczne				
Stopień zaspokajania potrzeb społecznych				
Pobudzenie przedsiębiorczości w tym MŚP, spin-off lub start-up				
Efektywność ekonomiczna				
Niszowość opracowanej technologii				
Wpływ na promowanie technologii niszowych				
Wpływ rozwoju technologii na atrakcyjność inwestycyjną regionu (przyciąganie nowych znaczących inwestorów)				
Wpływ rozwoju technologii na wzrost inwestycji prywatnych w B+R				
Wpływ rozwoju technologii na poziom B+R w regionie				
Możliwość wykorzystania potencjału naukowego, aparaturowego oraz przemysłowego regionu				
Wpływ na promocję regionu				
Wpływ na szybki zwrot nakładów				
Istnienie w regionie przedsiębiorstw o profilu działalności zgodnym z daną technologią				
Konkurencyjność technologii względem dostępnych rozwiązań (patentów)				
Wpływ na wzrost powiązań z sąsiednimi regionami (reguła 1-2 godziny lotu/podróży: Ryga, Wilno, Kaliningrad, Gdynia, Kowno, Warszawa)				

## Załącznik 2. Średnie oceny atrakcyjności i wykonalności technologii bez uwzględniania poziomu wiedzy ankietowanych

Obszar badań	Kategoria	Technologia	Symbol	Średnia wykonalność	Średnia atrakcyjność
Przemysł drzewny	Nanomateriały z drewna i roślin	Produkcja nanocelulozy	T1	2,98	3,22
		Wytwarzanie nanowłókien celulozowych metodą formowania w polu elektrycznym o wysokim gradencie	T2	2,72	2,94
	Nanotechnologie dla przetwórstwa i ochrony drewna	Nanotechnologie dla narzędzi tnących i przetwórstwa drewna	T3	3,08	3,22
		Nanotechnologie dla ochrony drewna (mechanicznej, fizycznej, chemicznej, biologicznej)	T4	3,09	3,61
Medycyna	Nanocząstki dla medycyny, terapia, diagnostyka, teranostyka	Technologie nanoproszków do zastosowań biomedycznych	T5	3,02	3,27
		Nanokontenery precyzyjnie dostarczające leki do komórek	T6	2,76	3,09
		Nanotechnologie związane z systemami uwalniania leków	T7	2,88	3,10
		Produkcja biokosmetyków i leczniczych specyfików ziołowych w nanoosłonkach	T8	3,14	3,51
		Celowana nanoterapia	T9	2,80	3,17
		Nanocząsteczki magnetyczne pod kątem ich różnorodnego wykorzystania jako: nośnik leku w lokalnej terapii magnetycznej; elementy diagnostyki medycznej; czynniki robocze w hipertermii magnetycznej	T10	2,82	3,05
		Nanotoksykologia	T11	3,05	3,14
		Nanodiagnostyka	T12	2,99	3,21
		Synteza nanocząsteczek jako czynnika diagnostycznego i terapeutycznego w chorobach nowotworowych	T13	2,92	3,11
		Nanorusztowania dla medycyny regeneracyjnej	Technologie regeneracji tkanek oparte na nanomaterii	T14	2,94
	Nanoinżynieria tkanek		T15	2,78	3,17
	Produkcja implantów układu kostnego		T16	3,34	3,50
	Nanokompozyty dla ortopedii i stomatologii	Materiały kompozytowe na stałe wypełnienia stomatologiczne	T17	3,48	3,51
		Kompozytowy materiał na bazie stopów tytanu z napełniaczem węglowym do zastosowań w połączeniach kinematycznych implantów dokostnych	T18	3,22	3,47
		Biomateriał	T19	3,09	3,17
	Nanowarstwy dla medycyny	Nanomateriały i nanopokrycia w sprzęcie medycznym	T20	3,49	3,64
Nanotechnologie warstw wierzchnich do zastosowań biomedycznych		T21	3,49	3,60	
Wytwarzanie warstw i powłok o strukturze manometrycznej z wykorzystaniem hybrydowych metod PVD		T22	3,18	3,44	
Przemysł odzieżowy	Nanowłókna (z nanostruktury powierzchniowej lub objętościowej) dla przemysłu tekstylnego	Produkcja nanotkanin do specjalnych zastosowań	T23	3,32	3,58
		Nanotechnologie związane z tkaninami specjalnymi np. materiały opatrunkowe	T24	3,37	3,52
		Zbrojenie materiałów polimerowych nanowłóknami	T25	3,30	3,34

Obszar badań	Kategoria	Technologia	Symbol	Średnia wykonalność	Średnia atrakcyjność
Budownictwo i konstrukcje	Nanokompozyty polimerowe	Zbrojenie ceramiki budowlanej nanowłóknami w różnym składzie chemicznym	T26	3,07	3,24
		Technologie nanostrukturyzacji warstw wierzchnich o specjalnych właściwościach mechanicznych, fizycznych, chemicznych i biologicznych	T27	3,21	3,17
		Nanowarstwy zmieniające właściwości powierzchni w wyrobach przemysłu szklarskiego	T28	2,93	3,06
		Kompozyty polimerowe na bazie akrylowej z napełniaczem nanosrebra	T29	2,88	2,90
		Samoczyszczące powłoki do szerokiego spectrum zastosowań	T30	3,09	3,18
		Technologie proszkowe do wykorzystania w przetwórstwie tworzyw sztucznych, kompozycji farb i lakierów	T31	3,32	3,30
Rolnictwo i przemysł spożywczy	Nanonawozy	Produkcja nanonawozów z użyciem nanocząsteczek, łatwiej wchłanianych przez rośliny oraz zwiększających jakość upraw	T32	2,91	2,99
	Nanotechnologie dla bezpieczeństwa żywności	Nanotechnologie w produkcji opakowań żywności	T33	3,16	3,55
		Produkcja inteligentnych opakowań	T34	2,99	3,35
		Technologia nanosensorów do produkcji i testowania (produkowanej) żywności	T35	2,84	3,03
		Nanowarstwowe powłoki antybakteryjne dla aparatury produkcyjnej przemysłu spożywczego	T36	3,07	3,39
Przemysł maszynowy i transport	Nanosmary	Zastosowanie nanokomponentów smarujących w elementach maszyn i urządzeń warsztatowych	T37	3,13	3,04
	Nanometale konstrukcyjne	Technologie nanostrukturyzacji metali i stopów lekkich w szczególności oparte na metodach dużego odkształcenia plastycznego	T38	3,01	2,98
Ochrona środowiska	Nanoczujniki dla ochrony środowiska	Produkcja nanoczujników do monitorowania stanu środowiska	T39	2,79	3,21
		Nanocząsteczki w kontroli zanieczyszczenia wód	T40	2,88	3,12
		Technologia nanokodów paskowych do wczesnej diagnostyki roślin	T41	2,65	2,94
	Nanomembrany dla ochrony środowiska	Technologia wytwarzania nanostrukturalnych filtrów włókninowych do oczyszczania gazów i cieczy	T42	3,12	3,27
		Nanokatalizatory do ochrony powietrza	T43	2,88	3,21
		Selektywne membrany chemiczne, biologiczne, optyczne typu: polimer-nanocząstka	T44	3,00	3,25
		Nanomembrany do oczyszczania wody	T45	3,13	3,40
	Nanotechnologia dla energii odnawialnej	Technologie nanokompozytów do baterii słonecznych	T46	2,88	3,06
		Produkcja ogniw paliwowych	T47	2,82	2,87
		Wytwarzanie wydajnych ogniw fotowoltaicznych	T48	2,83	2,96



Obszar badań	Kategoria	Technologia	Symbol	Średnia wykonalność	Średnia atrakcyjność
Pozostałe obszary zastosowań	Nanofotonika	Nanomateriały dla techniki światłowodowej (materiały typu szkło-ceramika)	T49	2,80	3,02
		Projektowanie i wytwarzanie zaawansowanych konstrukcji optoelektronicznych (np. lasery włóknowe, czujniki optoelektroniczne)	T50	2,68	2,90
		Technologia światłowodów niekonwencjonalnych (światłowody o specjalnych konstrukcjach optymalizowanych pod kątem konkretnych zastosowań)	T51	2,78	3,00
		Techniki nieelastycznego rozpraszania światła (głównie z wykorzystaniem efektu Brillouina i Ramana) z czasową i przestrzenną rozdzielczością	T52	2,40	2,54
		Technologia osadzania z fazy gazowej CVD ( <i>Chemical Vapor Deposition</i> ) kompozytowych nanomateriałów optoelektronicznych do detekcji skażenia środowiska, wykrywania materiałów niebezpiecznych itp.	T53	2,78	3,04
	Spintronika	Nanomateriały magnetyczne pod kątem zastosowań w spintronice oraz w zastosowaniach biologicznych, medycznych	T54	2,56	2,73
		Ultraszybkie metody badań procesów magnesowania z wykorzystaniem femtosekundowych laserów	T55	2,40	2,51
	Nanoproceny produkcyjne	Metody pozwalające na strukturyzację z wykorzystaniem technik litografii optycznej, elektronowej oraz wiązek jonowych (głównie FIB – <i>Focus Ion Beam</i> )	T56	2,53	2,43
		Techniki dyspergowania nanocząstek, w szczególności nanorurek węglowych w osnowach polimerowych, celem uzyskania wyrobów o wyższych właściwościach mechanicznych, termicznych i przewodnictwie	T57	2,92	3,05

Źródło: opracowanie własne.

## Załącznik 3. Średnie oceny atrakcyjności i wykonalności technologii z uwzględnieniem poziomu wiedzy ankietowanych

Obszar badań	Kategoria	Technologia	Symbol	Średnia wykonalność	Średnia atrakcyjność
Przemysł drzewny	Nanomateriały z drewna i roślin	Produkcja nanocelulozy	T1	3,08	3,32
		Wytwarzanie nanowłókien celulozowych metodą formowania w polu elektrycznym o wysokim gradiencie	T2	2,78	3,03
	Nanotechnologie dla przetwórstwa i ochrony drewna	Nanotechnologie dla narzędzi tnących i przetwórstwa drewna	T3	3,20	3,35
		Nanotechnologie dla ochrony drewna (mechanicznej, fizycznej, chemicznej, biologicznej)	T4	3,17	3,63
Medycyna	Nanocząstki dla medycyny, terapia, diagnostyka, teranostyka	Technologie nanoproszków do zastosowań biomedycznych	T5	3,08	3,32
		Nanokontenery precyzyjnie dostarczające leki do komórek	T6	2,83	3,14
		Nanotechnologie związane z systemami uwalniania leków	T7	2,91	3,16
		Produkcja biokosmetyków i leczniczych specyfików ziołowych w nanonośnikach	T8	3,16	3,62
		Celowana nanoterapia	T9	2,87	3,26
		Nanocząsteczki magnetyczne pod kątem ich różnorodnego wykorzystania jako: nośnik leku w lokalnej terapii magnetycznej; elementy diagnostyki medycznej; czynniki robocze w hipertermii magnetycznej	T10	2,87	3,12
		Nanotoksykologia	T11	3,09	3,19
		Nanodiagnostyka	T12	3,03	3,30
		Synteza nanocząsteczek jako czynnika diagnostycznego i terapeutycznego w chorobach nowotworowych	T13	2,98	3,25
	Nanorusztowania dla medycyny regeneracyjnej	Technologie regeneracji tkanek oparte na nanomaterii	T14	3,04	3,34
		Nanoinżynieria tkanek	T15	2,83	3,27
		Produkcja implantów układu kostnego	T16	3,39	3,61
	Nanokompozyty dla ortopedii i stomatologii	Materiały kompozytowe na stałe wypełnienia stomatologiczne	T17	3,51	3,61
		Kompozytowy materiał na bazie stopów tytanu z napełniaczem węglowym do zastosowań w połączeniach kinematycznych implantów dokostnych	T18	3,19	3,56
		Biomateriał	T19	3,11	3,24
	Nanowarstwy dla medycyny	Nanomateriały i nanopokrycia w sprzęcie medycznym	T20	3,54	3,72
Nanotechnologie warstw wierzchnich do zastosowań biomedycznych		T21	3,55	3,68	
Wytwarzanie warstw i powłok o strukturze manometrycznej z wykorzystaniem hybrydowych metod PVD		T22	3,16	3,43	
Przemysł odzieżowy	Nanowłókna (z nanostrukturą powierzchniową lub objętościową) dla przemysłu tekstylnego	Produkcja nanotkanin do specjalnych zastosowań	T23	3,41	3,63
		Nanotechnologie związane z tkaninami specjalnymi np. materiały opatrunkowe	T24	3,46	3,56
		Zbrojenie materiałów polimerowych nanowłóknami	T25	3,39	3,44

Obszar badań	Kategoria	Technologia	Symbol	Średnia wykonalność	Średnia atrakcyjność
Budownictwo i konstrukcje	Nanokompozyty polimerowe	Zbrojenie ceramiki budowlanej nanowłóknami w różnym składzie chemicznym	T26	3,14	3,32
		Technologie nanostrukturyzacji warstw wierzchnich o specjalnych właściwościach mechanicznych, fizycznych, chemicznych i biologicznych	T27	3,32	3,24
		Nanowarstwy zmieniające właściwości powierzchni w wyrobach przemysłu szklarskiego	T28	3,03	3,12
		Kompozyty polimerowe na bazie akrylowej z napełniaczem nanosrebra	T29	2,90	2,94
		Samoczyszczące powłoki do szerokiego spectrum zastosowań	T30	3,10	3,18
		Technologie proszkowe do wykorzystania w przetwórstwie tworzyw sztucznych, kompozycji farb i lakierów	T31	3,42	3,41
Rolnictwo i przemysł spożywczy	Nanonawozy	Produkcja nanonawozów z użyciem nanocząsteczek, łatwiej wchłanianych przez rośliny oraz zwiększających jakość upraw	T32	2,99	3,11
	Nanotechnologie dla bezpieczeństwa żywności	Nanotechnologie w produkcji opakowań żywności	T33	3,20	3,62
		Produkcja inteligentnych opakowań	T34	2,99	3,35
		Technologia nanosensorów do produkcji i testowania (produkowanej) żywności	T35	2,86	3,05
		Nanowarstwowe powłoki antybakteryjne dla aparatury produkcyjnej przemysłu spożywczego	T36	3,07	3,42
Przemysł maszynowy i transport	Nanosmary	Zastosowanie nanokomponentów smarujących w elementach maszyn i urządzeń warsztatowych	T37	3,23	3,05
	Nanometale konstrukcyjne	Technologie nanostrukturyzacji metali i stopów lekkich w szczególności oparte na metodach dużego odkształcenia plastycznego	T38	3,94	3,93
Ochrona środowiska	Nanoczujniki dla ochrony środowiska	Produkcja nanoczujników do monitorowania stanu środowiska	T39	2,75	3,22
		Nanocząsteczki w kontroli zanieczyszczenia wód	T40	2,86	3,12
		Technologia nanokodów paskowych do wczesnej diagnostyki roślin	T41	2,56	2,91
	Nanomembrany dla ochrony środowiska	Technologia wytwarzania nanostrukturalnych filtrów włókninowych do oczyszczania gazów i cieczy	T42	3,12	3,29
		Nanokatalizatory do ochrony powietrza	T43	2,87	3,24
		Selektywne membrany chemiczne, biologiczne, optyczne typu: polimer-nanocząstka	T44	2,98	3,25
		Nanomembrany do oczyszczania wody	T45	3,14	3,43
	Nanotechnologie dla energii odnawialnej	Technologie nanokompozytów do baterii słonecznych	T46	2,79	3,08
		Produkcja ogniw paliwowych	T47	2,73	2,87
		Wytwarzanie wydajnych ogniw fotowoltanicznych	T48	2,74	3,00

Obszar badań	Kategoria	Technologia	Symbol	Średnia wykonalność	Średnia atrakcyjność
Pozostałe obszary zastosowań	Nanofotonika	Nanomateriały dla techniki światłowodowej (materiały typu szkło-ceramika)	T49	2,92	3,17
		Projektowanie i wytwarzanie zaawansowanych konstrukcji optoelektronicznych (np. lasery włóknowe, czujniki optoelektroniczne)	T50	2,80	3,09
		Technologia światłowodów niekonwencjonalnych (światłowodowy o specjalnych konstrukcjach optymalizowanych pod kątem konkretnych zastosowań)	T51	2,94	3,17
		Techniki nieelastycznego rozpraszania światła (głównie z wykorzystaniem efektu Brillouina i Ramana) z czasową i przestrzenną rozdzielczością	T52	2,45	2,64
		Technologia osadzania z fazy gazowej CVD ( <i>Chemical Vapor Deposition</i> ) kompozytowych nanomateriałów optoelektronicznych do detekcji skażenia środowiska, wykrywania materiałów niebezpiecznych itp.	T53	2,86	3,18
	Spintronika	Nanomateriały magnetyczne pod kątem zastosowań w spintronice oraz w zastosowaniach biologicznych, medycznych	T54	2,64	2,87
		Ultraszybkie metody badań procesów magnesowania z wykorzystaniem femtosekundowych laserów	T55	2,46	2,63
	Nanoprocesy produkcyjne	Metody pozwalające na strukturyzację z wykorzystaniem technik litografii optycznej, elektronowej oraz wiązek jonowych (głównie FIB - Focus Ion Beam)	T56	2,62	2,58
Techniki dyspergowania nanocząstek, w szczególności nanorurek węglowych w osnowach polimerowych, celem uzyskania wyrobów o wyższych właściwościach mechanicznych, termicznych i przewodnictwie		T57	3,00	3,19	

Źródło: opracowanie własne.

## Załącznik 4. Wzór formularza na potrzeby priorytetyzacji

Proszę wskazać poziom gotowości technologicznej poszczególnych technologii kluczowych wpisując odpowiednią liczbę w skali od 1 do 10 w odpowiedniej komórce - opis poszczególnych poziomów gotowości technologicznej w załączonym pliku

Lp.	Ozn.	Obszar badań/ zastosowań	Kategoria	Technologia	Poziom gotowości technologicznej – trl
1	T1	Przemysł drzewny	Nanomateriały z drewna i roślin	Produkcja nanocelulozy	
2	T3		Nanotechnologie dla przetwórstwa i ochrony drewna	Nanotechnologie dla narzędzi tnących i przetwórstwa drewna	
3	T4			Nanotechnologie dla ochrony drewna (mechanicznej, fizycznej, chemicznej, biologicznej)	
4	T5	Medycyna	Nanocząstki dla medycyny, terapia, diagnostyka, teranostyka	Technologie nanoproszków do zastosowań biomedycznych	
5	T8			Produkcja biokosmetyków i leczniczych specyfików ziołowych w nano-nośnikach	
6	T14		Nanorusztowania dla medycyny regeneracyjnej	Technologie regeneracji tkanek oparte na nanomaterii	
7	T16			Produkcja implantów układu kostnego	
8	T17		Nanokompozyty dla ortopedii i stomatologii	Materiały kompozytowe na stałe wypełnienia stomatologiczne	
9	T18			Kompozytowy materiał na bazie stopów tytanu z napełniaczem węglowym do zastosowań w połączeniach kinematycznych implantów okostnych	
10	T20		Nanowarstwy dla medycyny	Nanomateriały i nanopokrycia w sprzęcie medycznym	
11	T21			Nanotechnologie warstw wierzchnich do zastosowań biomedycznych	
12	T22			Wytwarzanie warstw i powłok o strukturze nanometrycznej z wykorzystaniem hybrydowych metod PVD	
13	T23		Przemysł odzieżowy	Nanowłókna (z nanostruktury powierzchniowej lub objętościowej) dla przemysłu tekstylnego	Produkcja nanotkanin do specjalnych zastosowań
14	T24			Nanotechnologie związane z tkaninami specjalnymi np. materiały opatrunkowe	
15	T25			Zbrojenie materiałów polimerowych nanowłóknami	

## Załącznik 4. ... c.d.

Lp.	Ozn.	Obszar badań/ zastosowań	Kategoria	Technologia	Poziom gotowości technologicznej – trl
16	T26	Budownictwo i konstrukcje	Nanokompozyty polimerowe	Zbrojenie ceramiki budowlanej nanowłóknami w różnym składzie chemicznym	
17	T31			Technologie proszkowe do wykorzystania w przetwórstwie tworzyw sztucznych, kompozycji farb i lakierów	
18	T33	Rolnictwo i przemysł spożywczy	Nanotechnologie dla bezpieczeństwa żywności	Nanotechnologie w produkcji opakowań żywności	
19	T36			Nanowarstwowe powłoki antybakteryjne dla aparatury produkcyjnej przemysłu spożywczego	
20	T42	Ochrona środowiska	Nanomembrany dla ochrony środowiska	Technologia wytwarzania nanostrukturalnych filtrów włókninowych do oczyszczania gazów i cieczy	
21	T45			Nanomembrany do oczyszczania wody	
22	T38	Przemysł maszynowy i transport	Nanometale konstrukcyjne	Technologie nanostrukturyzacji metali i stopów lekkich w szczególności oparte na metodach dużego odkształcenia plastycznego	

Źródło: opracowanie własne.

- [1] Andrzejewski D., Wendland J., Borowski J., Pachla W., *Właściwości plastyczne półwyrobów z miedzi wykonanych metodami dużych odkształceń plastycznych*, „Obróbka Plastyczna Metali” t, 32 nr 3/2011.
- [2] Bowman D. M., Hodge G. A., *Nanotechnology: Mapping the Wild Regulatory Frontier*, “Futures” 2006 nr 38, s. 1060-1073.
- [3] Czaplicka-Kolarz K. (red.), *Scenariusze rozwoju technologicznego kompleksu paliwowo-energetycznego dla zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego kraju*, cz. 1, Główny Instytut Górnictwa, Katowice 2007.
- [4] Durand T., *Twelve Lessons from ‘Key Technologies 2005’: the French Technology Foresight Exercise*, „Journal of Forecasting” 2003 nr 22, s. 161-177.
- [5] Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/>, stan na dzień 25.08.2011
- [6] Fleischer T., Grunwald A., *Making nanotechnology developments sustainable. A role for technology assessment?* „Journal of Cleaner Production”, 2008 nr 16.
- [7] Foltynowicz Z., *Nanotechnologia wkracza do opakownictwa*, „Ważenie, Dozowanie, Pakowanie”, 2006 nr 3 (22).
- [8] Gildia Aniołów Biznesu [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.aniolybiznesu.org/>, stan na dzień 24.10.2011.
- [9] Głodek P., Gołębiowski M., *Finansowanie innowacji w małych i średnich przedsiębiorstwach*, Warszawa 2006.
- [10] Górak K., *Strategie komercjalizacji technologii*, Grupa tematyczna: Innowacyjność, PARP, 2008, materiał pobrany ze strony internetowej Krajowego Systemu Usług [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://ksu.parp.gov.pl/pl>, stan na dzień 25.08.2011.
- [11] Graettinger C. P., Garcia S., Siviyy J., Schenk R. J., Van Syckle P. J., *Using the Technology Readiness Levels Scale to Support Technology Management in the DoD’s ATD/STO Environments*, Special Report Carnegie Mellon Software Engineering Institute, Pittsburgh 2002.
- [12] *Homeland Security Studies and Analysis Institute*, Department of Homeland Security Science and Technology Readiness Level Calculator (ver. 1.1). Final Report and User’s Manual, 2009.
- [13] Jezierska M., *Tworzenie studium wykonalności*, pismo Samorządu Terytorialnego, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.wspolnota.org.pl/>, stan na dzień 25.08.2011.
- [14] Klusaczek K., *Technology Foresight in the Czech Republic*, “International Journal of Foresight and Innovation Policy” 2004, t. 2, nr 1.
- [15] Komunikat Komisji Dla Parlamentu Europejskiego, Rady I Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego w sprawie informacji naukowej w epoce cyfrowej: dostęp, rozpowszechnianie i konserwacja, Bruksela, dnia 14.2.2007, KOM(2007) 56 wersja ostateczna.
- [16] *Leksykon własności przemysłowej i intelektualnej*, strona internetowa PARP [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.pi.gov.pl/>, stan na dzień 31.08.2012.
- [17] *Lewiatan Business Angels* [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.lba.pl/>, stan na dzień 24.10.2011.
- [18] Lis A., Lis A., *Dostępne źródła finansowania działalności innowacyjnej w firmach*, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.pi.gov.pl/>, stan na dzień 26.10.2011.



- [19] Maliszewska-Mazur M., *Nanotechnologia – nowe wyzwania, nowe możliwości i nowe problemy*, "Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych" 2010 nr 45.
- [20] Mankins J. C., *Technology Readiness Levels. A White Paper*, Office of Space Access and Technology NASA, 1995.
- [21] Martin B., *Technology foresight in a rapidly globalizing economy, presentation*, The international conference on technology foresight for central and eastern europe and the newly independent states, Vienna 2001.
- [22] Mielcarek J., Skupin P., *Biomedyczne zastosowania i toksyczność nanorurek węglowych*, „Nanotechnologia w Farmacji i Medycynie” 2009 nr 6(65).
- [23] Misiak P., *Myslą w przyszłość*, „Forum Akademickie” 2003, s. 58-59.
- [24] *Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties*, Report of The Royal Society and The Royal Academy of Engineering, July 2004, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.nanotec.org.uk/>, stan na dzień 31.08.2010.
- [25] Nazarko J. (red.), Ejdyś J. (red.), *Metodologia i procedury badawcze w projekcie Foresight technologiczny «NT FOR Podlaskie 2020» Regionalna strategia rozwoju nanotechnologii*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok 2011.
- [26] Nazarko J., Kędzior Z., *Uwarunkowania rozwoju nanotechnologii w województwie podlaskim. Wyniki analizy STEEPVL i SWOT*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok 2010.
- [27] Nazarko J., *Kształtowanie polityki proinnowacyjnej regionu np. foresightu technologicznego «NT FOR Podlaskie 2020»*, „Optimum. Studia Ekonomiczne”, 2011 nr 2 (50).
- [28] Nowak S., *Metodologia badań społecznych*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [29] Nowicki M. (red.) *Atrakcyjność inwestycyjna województw i podregionów Polski 2010*, opracowanie wykonane w Instytucie Badań Nad Gospodarką Rynkową w ramach współpracy z Fundacją Konrada Adenauera, Gdańsk 2010, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: [ibngr.pl/index.php/pl/content/.../atrakcyjnos\\_inwestycyjna\\_2010.pdf](http://ibngr.pl/index.php/pl/content/.../atrakcyjnos_inwestycyjna_2010.pdf), stan na dzień 23.08.2011.
- [30] Okulski T., *Metody badań foresightowych na przykładzie projektu foresight w górnictwie i hutnictwie Republiki Południowej Afryki*, Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 2008 t. 24, z. 3/3.
- [31] Oniśko W., *Nowe generacje tworzyw drzewnych i nowoczesne technologie*, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.drewno.pl/artykuly/7524,nowe-generacje-tworzyw-drzewnych-i-nowoczesne-technologie.html>, stan na dzień 26.10.2011.
- [32] Pietras P., Głodek P., *Finansowanie przedsięwzięć innowacyjnych w MSP*, Łódź 2011 [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.pi.gov.pl>, stan na dzień 25.08.2011.
- [33] *Podręcznik Foresight Technologiczny, t. 1: Organizacja i metody*, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, Warszawa 2005.
- [34] Polok I., Choromański P., *Kredyt technologiczny – prosta droga do innowacyjnego sukcesu*, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://manager.inwestycje.pl>, stan na dzień 25.08.2011.
- [35] Portal Funduszy Europejskich. Program Innowacyjna Gospodarka, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.poig.gov.pl/>, stan na dzień 24.10.2011.
- [36] Portal Innowacji [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.pi.gov.pl/>, stan na dzień 24.10.2011.
- [37] Raczyk A., Dołzbłasz S., Leśniak-Johann M., *Atrakcyjność inwestycyjna regionu Dolnego Śląska w świetle współczesnych trendów, w ramach projektu Analizy, badania i prognozy na rzecz Strategii Rozwoju Województwa Dolnośląskiego* [POKL 08.01.04-02-003/08] współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego, publikacja pobrana z portalu województwa dolnośląskiego
- [38] *Raport Nanonauka i nanotechnologia. Narodowa strategia dla Polski*, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Warszawa 2006.
- [39] *Regionalna Strategia Innowacji Województwa Łódzkiego, Analiza potencjału naukowobadawczego w Regionie Łódzkim*, wersja robocza, Łódź, 2004, publikacja pobrana ze strony internetowej klastra łódzkiego [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: [http://www.klasterlodzki.pl/pub\\_ana/pliki/loris/loris\\_potencjal.pdf](http://www.klasterlodzki.pl/pub_ana/pliki/loris/loris_potencjal.pdf), stan na dzień 25.08.2011.
- [40] *Regionalny program operacyjny województwa podlaskiego – portal* [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.rpowp.wrota-podlasia.pl/obszary-wsparcia.html>, stan na dzień 24.10.2011.

- [41] Reid D. M., Zyglidopoulos S. C., *Causes and consequences of the lack of strategic foresight in the decisions of multinational enterprises to enter China*, "Futures" 2004, t. 36.
- [42] Rogut A., Piasecki B., *Główne kierunki polskiej innowacyjności. Odstawowe czynniki warunkujące kreowanie powstawanie innowacji*, opracowanie przygotowane na zlecenie Departamentu Koordynacji Polityki Strukturalnej Ministerstwa Rozwoju Regionalnego, Łódź, 2011.
- [43] Santarek K. (red.), Bagiński J., Buczacki A., Sobczak D., Szerenos A., *Transfer technologii z uczelni do biznesu. Tworzenie mechanizmów transferu technologii*, PARP, Warszawa 2008.
- [44] Silverman D., *Prowadzenie badań jakościowych*, Wyd. Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [45] Simon Ch., Kaus I., *Nanosized Particles for Improved Scratch Resistance of Polymeric Materials*, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.nordicinnovation.org>, stan na dzień 25.08.2012.
- [46] *Słownik biznesowy on-line*, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu <http://www.biznesowe.edu.pl/>, stan na dzień 25.08.2011.
- [47] *Słownik Portalu Innowacji*, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://pi.gov.pl/>, stan na dzień 25.08.2011.
- [48] Sosnowska A. i in., *Jak wdrażać innowacje technologiczne w firmie. Poradnik dla przedsiębiorców*, PARP, Warszawa 2005.
- [49] *Strategia rozwoju województwa podlaskiego do 2020 roku*, Urząd Marszałkowski Województwa Podlaskiego, Białystok 2006.
- [50] Strona Banku Gospodarstwa Krajowego, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.bgk.com.pl/>, stan na dzień 24.10.2011.
- [51] Strona Dental Nanotechnology, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.dentalnt.com/nanotechnology.html>, stan na dzień 26.10.2011.
- [52] Strona firmy „Nano-Tech Polska” sp. z o.o. sp. k., [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: [www.nano-tech.pl](http://www.nano-tech.pl), stan na dzień 25.08.2011.
- [53] Strona internetowa <http://www.plazma.efuturo.pl/poster2.htm>
- [54] Strona Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.parp.gov.pl>, stan na dzień 24.10.2011.
- [55] Strona Science Daily, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.science-daily.com/>, stan na dzień 25.08.2011.
- [56] *Studium Wykonalności projektu Foresight technologiczny «NT FOR Podlaskie 2020» Regionalna strategia rozwoju nanotechnologii*, Politechnika Białostocka, Białystok 2008.
- [57] Sugier A., *Jak pozyskać środki finansowe na wdrożenie innowacji i transfer technologii w Polsce?*, portal DlaFirmy, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://dlafirmy.info.pl>, stan na dzień 25.08.2011.
- [58] Szponder D. K., *Nanomateriały w środowisku – korzyści i zagrożenia*, Materiały Krakowskiej Konferencji Młodych Uczonych 2010, Kraków 23-25 września 2010.
- [59] Tomczak J., *Zagrożenia wyływające z nanotechnologii*, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.nanotechnologia.republika.pl/>, stan na dzień 26.10.2011.
- [60] Wegner T. H., Winandy J. E., Ritter M. A., *Nanotechnology opportunities in residential and non-residential construction*, 2nd International Symposium on Nanotechnology in Construction, Bilbao, Spain, 13-16 November 2005.
- [61] *Wielkopolski Klaster Lotniczy*, prezentacja on-line <http://www.rsi-wielkopolska.pl>, stan na dzień 27.07.2011
- [62] *Wordnet Dictionary*, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.wordnet-online.com/technology.shtml>
- [63] Wójtowicz M., *Analiza potencjału nauki w Małopolsce*, w ramach projektu „Rozwój systemu wymiany informacji między sektorem nauki i gospodarki poprzez tworzenie baz danych projektów wspierających innowacyjność w Regionie Małopolskim” finansowanego działania 2.6 Zintegrowanego Programu Operacyjnego Rozwoju Regionalnego (ZPORR) Centrum Transferu Technologii Politechnika Krakowska, Kraków 2007, [Dokument elektroniczny]. Tryb dostępu: <http://www.innowacje.malopolska.pl>, stan na dzień 25.08.2011.

## Wykaz rysunków

Rys. 1.	Schemat współdziałania paneli eksperckich w projekcie Foresight technologiczny «NT FOR Podlaskie 2020» Regionalna strategia rozwoju nanotechnologii .....	12
Rys. 2.	Powiązanie wyników prac paneli PMTiKT i POB1 .....	12
Rys. 3.	Schemat ogólnej metodyki badawczej Panelu mapowania technologii i kluczowych technologii w zakresie utworzenia priorytetowych technologii kluczowych .....	13
Rys. 4.	Schemat ogólnej metodyki badawczej Panelu nanotechnologie w gospodarce Podlasia .....	15
Rys. 5.	Operacjonalizacja metodyki badawczej na potrzeby zadań badawczych Panelu nanotechnologie w gospodarce Podlasia .....	16
Rys. 6.	Procentowy udział przemysłu i sektorów w badaniach ankietowych .....	17
Rys. 7.	Struktura badanych przedsiębiorstw ze względu na wielkość zatrudnienia .....	18
Rys. 8.	Zasięg działalności badanych przedsiębiorstw .....	18
Rys. 9.	Procent badanych przedsiębiorstw pod względem wdrażanych nanotechnologii .....	20
Rys. 10.	Gotowość przedsiębiorstw stosujących nanotechnologie do ich rozszerzenia o nowe rodzaje .....	21
Rys. 11.	Obszary zmian w przedsiębiorstwie w związku z zastosowaniem nanotechnologii .....	22
Rys. 12.	Gotowość badanych przedsiębiorstw nie stosujących do tej pory nanotechnologii do wdrożenia nanorozwiązań .....	22
Rys. 13.	Planowany czas wdrażania nanotechnologii w badanych przedsiębiorstwach .....	23
Rys. 14.	Ocena sytuacji ekonomicznej w opinii badanych przedsiębiorstw .....	25
Rys. 15.	Wpływ nanotechnologii na sytuację ekonomiczną przedsiębiorstwa .....	25
Rys. 16.	Możliwe kierunki rozwoju przedsiębiorstwa opartego na nanotechnologiach .....	26
Rys. 17.	Źródła finansowania nanotechnologii w opinii podlaskich przedsiębiorstw .....	27
Rys. 18.	Stopecin wykorzystywania benchmarkingu w procesie wdrażania nanotechnologii .....	28
Rys. 19.	Krajowe i zagraniczne przedsiębiorstwa jako punkty odniesienia w procesie benchmarkingu dla podlaskich przedsiębiorstw .....	29
Rys. 20.	Testy produktów jako źródło wiedzy .....	29
Rys. 21.	Stopecin wykorzystania badań rynku w procesie wdrażania nanotechnologii .....	30
Rys. 22.	Ocena poziomu konkurencji w sektorze w opinii przedsiębiorstw stosujących nanotechnologie .....	31
Rys. 23.	Ocena poziomu innowacyjności branży przez przedsiębiorstwa stosujące nanotechnologie .....	31
Rys. 24.	Symptomy wzrostu konkurencyjności przedsiębiorstw w związku z zastosowaniem nanotechnologii .....	32
Rys. 25.	Ocena poziomu konkurencji w sektorze w opinii przedsiębiorstw planujących zastosowanie nanotechnologii .....	33
Rys. 26.	Ocena poziomu innowacyjności branży przez przedsiębiorstwa planujące wdrożenie nanotechnologii .....	33
Rys. 27.	Ocena poziomu konkurencji w sektorze w opinii przedsiębiorstw, które nie stosują nanotechnologii .....	34
Rys. 28.	Ocena poziomu innowacyjności branży przez przedsiębiorstwa nie stosujące nanotechnologie .....	35
Rys. 29.	Przebieg procesu wyboru kryteriów oceny technologii kandydujących .....	37
Rys. 30.	Deklarowany średni poziom wiedzy ankietowanych w poszczególnych obszarach .....	45
Rys. 31.	Ocena technologii kandydujących pod względem kryterium atrakcyjności .....	46
Rys. 32.	Ocena nanotechnologii pod kątem kryterium wykonalności .....	46
Rys. 33.	Ranking nanotechnologii pod względem atrakcyjności .....	47

Rys. 34. Poziom oceny eksperckiej według kryteriów atrakcyjności.....	49
Rys. 35. Ranking nanotechnologii według kryteriów wykonalności .....	51
Rys. 36. Poziom oceny eksperckiej według kryteriów wykonalności .....	51
Rys. 37. Wykres atrakcyjności i wykonalności ważony deklarowanym poziomem wiedzy .....	52
Rys. 38. Poziomy gotowości technologicznej przyjęte w procesie priorytetyzacji w pracach PMTiKT.....	67
Rys. 39. Ocena ekspercka poziomu dojrzałości poszczególnych technologii przy uwzględnieniu deklarowanego poziomu wiedzy eksperckiej w poszczególnych obszarach.....	69
Rys. 40. Umieszczenie technologii kluczowych na osi dojrzałości technologicznej .....	70
Rys. 41. Bariery wdrażania nanotechnologii w podlaskich przedsiębiorstwach [%] .....	78
Rys. 42. Możliwe źródła finansowania wdrożenia i stosowania nanotechnologii w województwie podlaskim.....	80
Rys. 43. Możliwe drogi oddziaływania nanotechnologii na człowieka i środowisko .....	84

## Wykaz tabel

Tab. 1. Wykaz technologii kandydujących według obszarów zastosowań i kategorii .....	38
Tab. 2. Wykaz przyjętych kryteriów odnoszących się do atrakcyjności .....	40
Tab. 3. Wykaz przyjętych kryteriów odnoszących się do wykonalności .....	43
Tab. 4. Ranking nanotechnologii kandydujących pod względem kryterium atrakcyjności.....	48
Tab. 5. Ranking nanotechnologii kandydujących pod względem kryterium wykonalności .....	50
Tab. 6. Lista kluczowych technologii .....	53
Tab. 7. Ranking technologii kluczowych uwzględniający deklarowany poziom wiedzy Ekspertów .....	71-72
Tab. 8. Ocena możliwości zastosowania nanotechnologii priorytetowych w poszczególnych gałęziach przemysłu w województwie podlaskim .....	75
Tab. 9. Ocena poziomu zastosowania nanotechnologii priorytetowych w poszczególnych gałęziach przemysłu w województwie podlaskim .....	76
Tab. 10. Katalog podlaskich przedsiębiorstw wykorzystujących obecnie lub w przyszłości nanotechnologie .....	77
Tab. 11. Porównanie <i>Venture Capital</i> i kredytu bankowego .....	81



