



RAPORT

Scenariusze zintegrowane rozwoju technologicznego i społecznego w obszarze zrównoważonego rozwoju

opracowany w ramach projektu

Zaawansowane technologie przemysłowe i ekologiczne dla zrównoważonego rozwoju kraju

Prof. dr hab. inż. Adam Mazurkiewicz
dr Beata Poteralska
dr inż. Krzysztof Symela
mgr Anna Sacio-Szymańska
mgr Joanna Łabędzka
mgr Urszula Wnuk
dr inż. Jerzy Dobrodziej
dr inż. Tomasz Giesko
dr inż. Marian Grądkowski
dr inż. Andrzej Majcher
doc. Jerzy Smolik
dr inż. Andrzej Zbrowski
dr Beata Belina
mgr Katarzyna Wachowicz
mgr Ludmiła Łopacińska

Wprowadzenie

Cel zadania Z4 „Scenariusze” realizowanego w ramach projektu „Zaawansowane technologie przemysłowe i ekologiczne dla zrównoważonego rozwoju kraju” koordynowanego przez Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy (ITeE – PIB) w Radomiu we współpracy z Instytutem Badań nad Przedsiębiorczością i Rozwojem Ekonomicznym przy SWSPiZ (EEDRI) w Łodzi, stanowiła budowa scenariuszy rozwoju technologicznego i społecznego w obszarze technicznego wspomaganie zrównoważonego rozwoju.

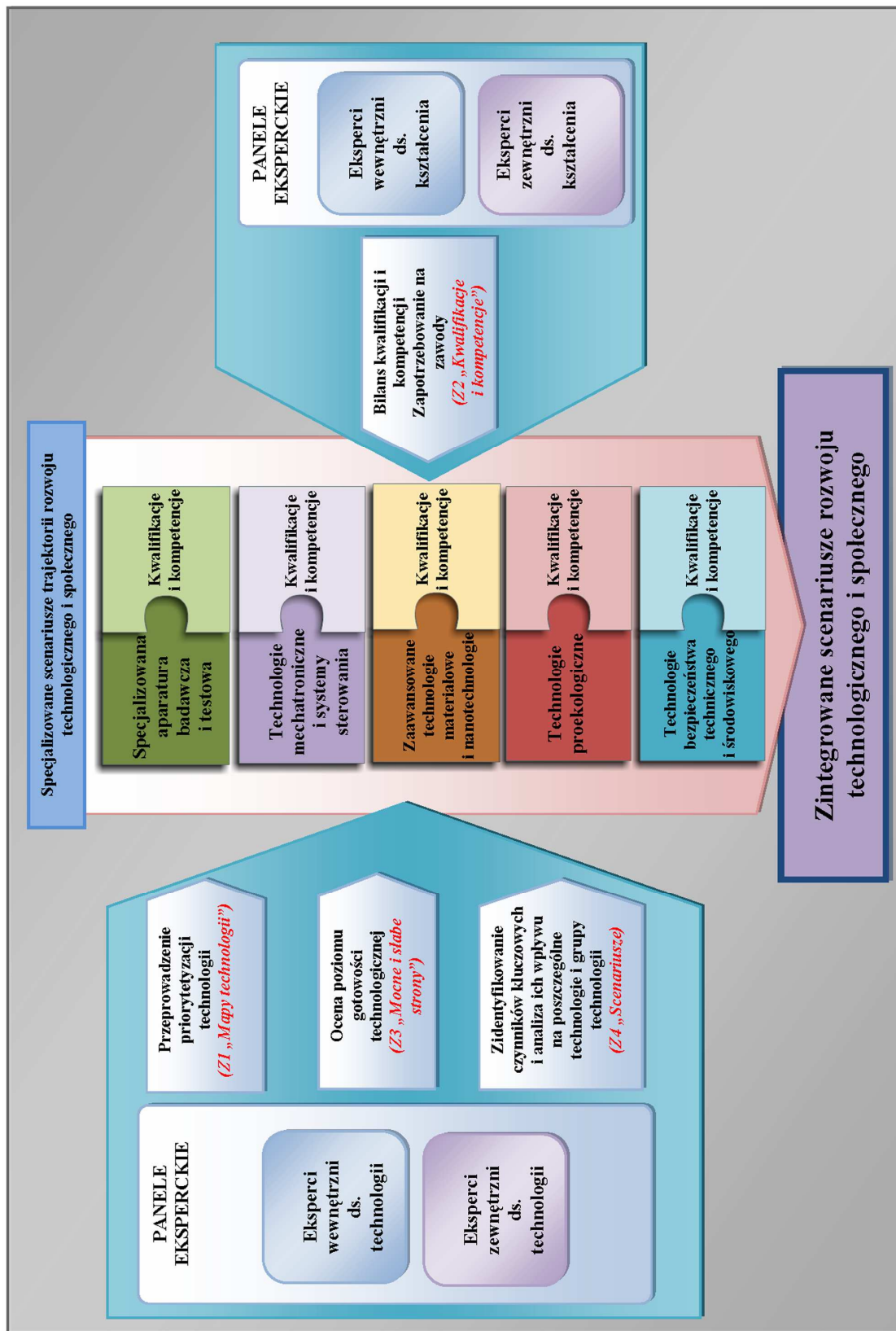
Budowa zintegrowanych scenariuszy poprzedzona była pracami badawczymi obejmującymi opracowanie scenariuszy rozwoju technologicznego oraz scenariuszy społecznych dotyczących zapotrzebowania na nowe kwalifikacje i kompetencje niezbędne do opracowania i wdrożenia zaawansowanych technologii w poszczególnych obszarach tematycznych:

- Specjalizowana aparatura badawcza i testowa.
- Technologie mechatroniczne i systemy sterowania do wspomaganie procesów wytwarzania i eksploatacji
- Zaawansowane technologie materiałowe i nanotechnologie oraz systemy techniczne wspomagające ich projektowanie i aplikacje.
- Technologie proekologiczne, racjonalizacja zużycia surowców i zasobów oraz odnawialne źródła energii.
- Technologie bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego¹.

Finalny etap prac w ramach zadania stanowiło opracowanie scenariuszy zintegrowanych na bazie scenariuszy rozwoju przygotowanych dla poszczególnych obszarów tematycznych. Schemat realizacji prac prowadzących do opracowania zintegrowanych scenariuszy rozwoju technologicznego i społecznego w obszarze zrównoważonego rozwoju zaprezentowano na rys. 1.

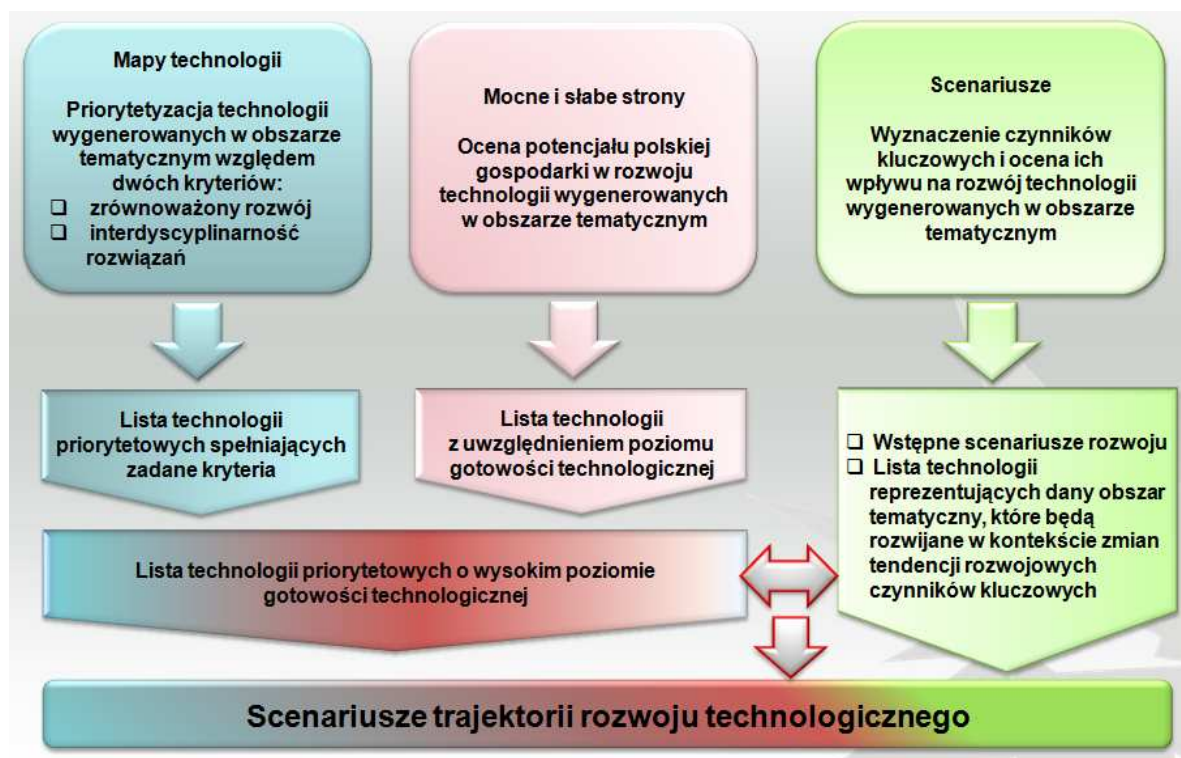
W trakcie, realizowanej w zadaniu Z4 „Scenariusze” budowy scenariuszy rozwoju technologicznego i społecznego w pięciu obszarach tematycznych objętych projektem wykorzystano wyniki prac uzyskane w zadaniach Z1 „Mapy technologii, Z2 „Kwalifikacje i kompetencje” oraz Z3 „Mocne i słabe strony”, stanowiących wkład do scenariuszy zintegrowanych.

¹ Scenariusze trajektorii rozwoju technologicznego i społecznego zostały zaprezentowane w raportach z realizacji zadania Z4 „Scenariusze”, zamieszczonych na stronie projektu www.portaltechnologii.pl



Rys. 1. Algorytm opracowania zintegrowanych scenariuszy rozwoju technologicznego i społecznego w obszarze zrównoważonego rozwoju gospodarki
 Źródło: opracowanie własne.

Przyjęto, że w trakcie budowy scenariuszy wykorzystane będą wyniki obejmujące ranking technologii priorytetowych (wynik zadania Z1) oraz wyniki oceny poziomu gotowości technologicznej zidentyfikowanych technologii i grup technologii (wynik zadania Z3). Na tej bazie opracowano scenariusze w poszczególnych obszarach tematycznych, wskazujące kierunki badawcze i technologie, stanowiące priorytet dla Polski, dla których istnieją warunki rozwoju w kraju i jednocześnie których rozwój determinowany jest zmianami tendencji czynników kluczowych wpływających na dynamikę prac badawczo-rozwojowych w danym obszarze (rys. 2).



Rys. 2. Algorytm budowy scenariuszy rozwoju technologicznego
Źródło: opracowanie własne

Prace merytoryczne ukierunkowane na opracowanie scenariuszy prowadzone były przez kilkudziesięciu ekspertów wewnętrznych reprezentujących koordynatora projektu (Instytut Technologii Eksploatacji – Państwowy Instytut Badawczy (ITeE – PIB)) oraz liczną grupę ponad 100 ekspertów zewnętrznych – przedstawicieli sfery nauki i przemysłu w kraju. Prace realizowane były w trakcie spotkań paneli ekspertów oraz warsztatów budowy scenariuszy, a także drogą internetową z wykorzystaniem opracowanych w tym celu elektronicznych kwestionariuszy.

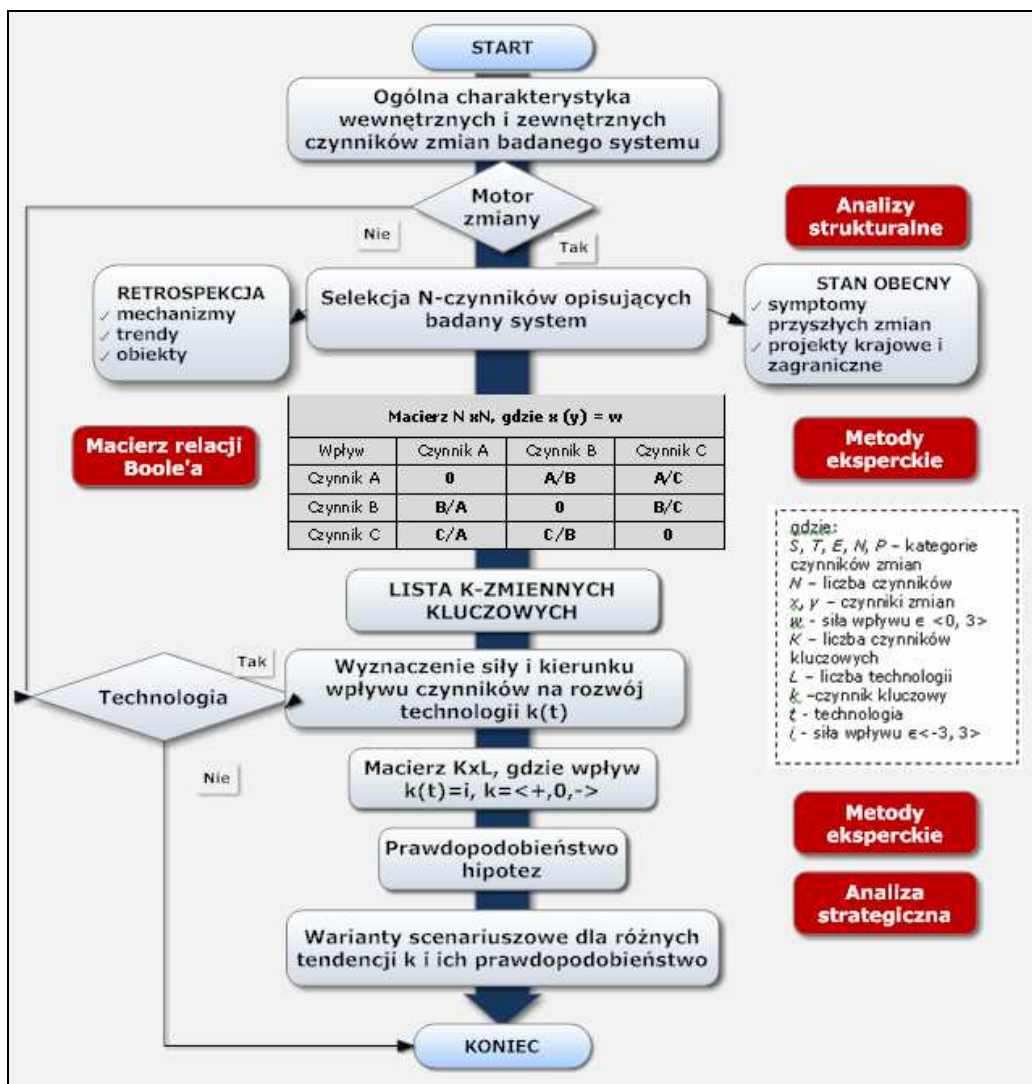
Metodyka realizacji prac

W raporcie zaprezentowano metodykę budowy, w ramach poszczególnych obszarów tematycznych, scenariuszy rozwoju technologicznego i scenariuszy rozwoju społecznego obejmujących zapotrzebowania na nowe kwalifikacje i kompetencje oraz metodykę budowy, opracowanych na tej bazie, scenariuszy zintegrowanych w ramach projektu.

Scenariusze rozwoju technologicznego

Bazę do budowy scenariuszy rozwoju technologicznego w poszczególnych obszarach tematycznych stanowiły listy priorytetowych przyszłościowych kierunków badań² oraz technologii przyrostowych i wyłaniających się³ w kierunkach uznanych za priorytetowe w rozwoju gospodarki krajowej.

W opracowanej autorskiej metodyce przyjęto, że pierwszy etap prac stanowi budowa scenariuszy w poszczególnych obszarach tematycznych na podstawie wyników analiz strukturalnych, które umożliwiły identyfikację zależności pomiędzy czynnikami kluczowymi a technologiami i kierunkami badawczymi w ramach danego obszaru tematycznego. Metodyka identyfikacji czynników zmian, czynników kluczowych oraz ich wpływu na rozwój technologii została zaprezentowana na rys. 3.



Rys. 3. Metodyka identyfikacji czynników zmian, czynników kluczowych oraz ich wpływu na rozwój badanego obszaru tematycznego.

Źródło: opracowanie własne

² A. Mazurkiewicz (red.) Techniczne wspomaganie zrównoważonego rozwoju gospodarki. Kierunki badawcze i aplikacyjne, ITeE – PIB, Radom 2011.

³ Szczegółowe informacje o technologiach zamieszczono w opracowanym w ramach projektu raporcie A. Mazurkiewicza, i in. „Charakterystyki technologii” (Zadanie Z1 „Mapy technologii”).

Prace ukierunkowane na identyfikację czynników kluczowych prowadzone były w czterech etapach:

- przygotowanie wstępnych list czynników zmian zasadniczo wpływających na rozwój analizowanego obszaru tematycznego,
- rankingowanie czynników zmian w każdym z badanych obszarów,
- identyfikacja relacji występujących pomiędzy poszczególnymi czynnikami zmian w danym obszarze tematycznym,
- wyznaczenie czynników kluczowych w poszczególnych obszarach tematycznych realizowanego projektu.

Wstępne listy czynników zmian charakteryzujących się silnym oddziaływaniem na dany obszar tematyczny realizowanego projektu zostały przygotowane z wykorzystaniem analizy STEEP z podziałem na pięć grup czynników: społecznych, technologicznych, ekonomicznych, środowiskowych i polityczno-prawnych.

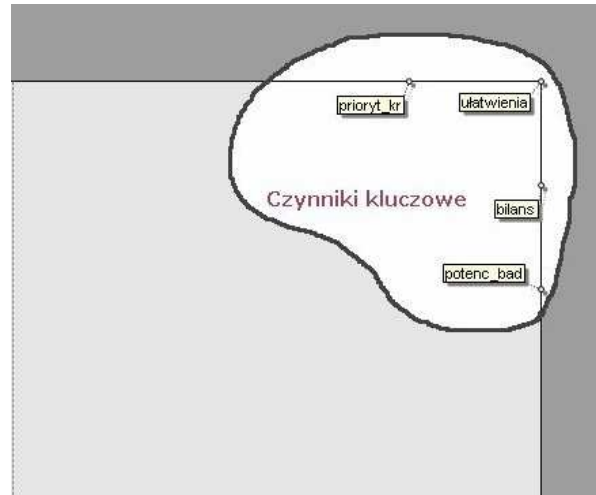
Przygotowana wstępna lista czynników zmian znacząco wpływających na rozwój prac badawczo-rozwojowych w każdym z obszarów objętych projektem została następnie, w drugim etapie prac zrealizowanych w ramach zadania Z4 „Scenariusze”, poddana eksperckiej weryfikacji, której celem było określenie listy najważniejszych czynników zmian w analizowanym obszarze tematycznym. Ranking czynników przeprowadzono drogą badania kwestionariuszowego skierowanego zarówno do ekspertów wewnętrznych (ITeE-PIB)), jak i zewnętrznych (przedstawiciele instytucji współpracujących, tj. uczelni, instytutów badawczych i przedsiębiorstw).

Kolejny etap prac zrealizowanych w ramach przedmiotowego zadania badawczego – Z4 „Scenariusze” dotyczył identyfikacji wzajemnych zależności pomiędzy wyselekcjonowanymi czynnikami zmian. W tym celu, dla każdego z analizowanych obszarów tematycznych zbudowano macierz wpływów bezpośrednich, w której wytypowane czynniki zmian zostały umieszczone w kolumnach i wierszach w tej samej kolejności, w celu oceny przez ekspertów wzajemnego oddziaływania poszczególnych czynników wg zaproponowanej przez M. Godeta⁴ skali 0-3 (gdzie 0 = brak wpływu, 1 = mały wpływ, 2 = umiarkowane oddziaływanie, 3 = duży wpływ). Uśrednione wyniki oceny eksperckiej, stanowiły podstawę wskazania czynników kluczowych dla rozwoju analizowanego obszaru tematycznego. Podobnie jak w przypadku rankingowania czynników zmian, identyfikacja relacji pomiędzy nimi przeprowadzona została zarówno przez ekspertów wewnętrznych, jak i zewnętrznych. Ten etap prac uwzględniał wykorzystanie analiz strukturalnych, na bazie których dokonano identyfikacji czynników kluczowych. Procedura identyfikacji czynników kluczowych została przeprowadzona z wykorzystaniem programu komputerowego Mic-Mac⁵. Przykładową macierz wpływów bezpośrednich dla obszaru obejmującego technologie mechatroniczne i systemy sterowania oraz wytypowane czynniki kluczowe zaprezentowano na rys. 4.

⁴ M. Godet, *From anticipation to action*, A handbook of strategic prospective, UNESCO Publishing, 1994.

⁵ Program komputerowy MicMac jest oprogramowaniem typu *freeware*, opracowanym m.in. przez LIPSOR (*Laboratory for the investigation in prospective strategy and organisation*), 3IE (*Institute of Computer Science and Innovation for Industries*) oraz EPITA (*School of Computer Science and Advanced Technologies*).

	1 Zasoby kadry naukowej	2 Potencjał badawczy	3 Zainteresowanie społeczeństwa	4 Ułatwienia partnerstwa	5 Krajowe priorytety	6 Polityka fiskalna	7 Zasady funkcjonowania	8 Bilans korzyści	9 Regulacje prawne
1 Zasoby kadry naukowej	x	3	1,33	1,33	2	0,33	1,33	2	1
2 Potencjał badawczy	3	x	1,33	2,33	2,66	1,33	2	3	1
3 Zainteresowanie społeczeństwa	1	1,5	x	1,66	2,33	2	1,33	1,66	1,66
4 Ułatwienia partnerstwa	1,5	1,5	1	x	1,66	1,66	3	2,33	1,33
5 Krajowe priorytety	2,5	2,5	1,5	2	x	1,33	2,66	3	2
6 Polityka fiskalna	1,5	2	0,5	3	0,5	x	2,33	2	1
7 Zasady funkcjonowania	2	2	0,5	2,5	1,5	0,5	x	2,33	1,33
8 Bilans korzyści	1	1,5	2	1,5	2,5	1,5	2	x	1,33
9 Regulacje prawne	2	2,5	0	2,5	1,5	1,5	3	2	x



Rys. 4. Macierz wpływów bezpośrednich oraz wynik identyfikacji czynników kluczowych z wykorzystaniem programu komputerowego Mic-Mac na przykładzie obszaru tematycznego obejmującego technologie mechatroniczne i systemy sterowania

Czynniki kluczowe: Potencjał badawczy i technologiczny (baza laboratoryjna, infrastruktura techniczna – instytucje badawcze i innowacyjne przedsiębiorstwa); Ułatwienia w tworzeniu partnerstwa publiczno-prywatnego w zakresie przedsiębiorczości innowacyjnej; Krajowe priorytety badawczo-rozwojowe; Bilans korzyści i kosztów środowiskowych wynikających z opracowania i wdrożenia technologii.

Źródło: opracowanie własne

Czynniki zidentyfikowane jako kluczowe dla pięciu obszarów tematycznych projektu przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Czynniki kluczowe wskazane dla poszczególnych obszarów tematycznych

Obszar tematyczny
Specjalizowana aparatura badawcza i testowa
– Poziom zapotrzebowania gospodarki na aparaturę badawczą i testową
– Poziom innowacyjności i gotowości wdrożeniowej wyników prac badawczo-rozwojowych
– Gotowość przemysłu do rozwijania innowacyjnych technologii i wyrobów
Obszar tematyczny
Technologie mechatroniczne i systemy sterowania do wspomaganie procesów wytwarzania i eksploatacji
– Potencjał badawczy i technologiczny (baza laboratoryjna, infrastruktura techniczna – instytucje badawcze i innowacyjne przedsiębiorstwa)
– Ułatwienia w tworzeniu partnerstwa publiczno-prywatnego w zakresie przedsiębiorczości innowacyjnej
– Krajowe priorytety badawczo-rozwojowe
– Bilans korzyści i kosztów środowiskowych wynikających z opracowania i wdrożenia technologii
Obszar tematyczny
Zaawansowane technologie materiałowe i nanotechnologie oraz systemy techniczne wspomagające ich projektowanie i aplikacje
– Zasoby kadry naukowej, badawczej i technicznej oraz dostosowanie programów edukacyjnych do wymogów kreowania i aplikacji rozwiązań innowacyjnych
– Przepływ wiedzy i doświadczeń między indywidualnymi naukowcami, przedsiębiorcami i instytucjami, dostęp do baz wiedzy (<i>open innovation</i>)
– Krajowe priorytety badawczo-rozwojowe

Obszar tematyczny	
Technologie proekologiczne, racjonalizacja zużycia surowców i zasobów oraz odnawialne źródła energii	
–	Potencjał badawczy i technologiczny (baza laboratoryjna, infrastruktura techniczna – instytucje badawcze i innowacyjne przedsiębiorstwa)
–	Poziom innowacyjności i gotowości wdrożeniowej wyników prac badawczo-rozwojowych
–	Dynamika i efektywność transferu uzyskanych rozwiązań do gospodarki
–	Krajowe priorytety badawczo-rozwojowe
Obszar tematyczny	
Technologie bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego	
–	Potencjał badawczy i technologiczny (baza laboratoryjna, infrastruktura techniczna – instytucje badawcze i innowacyjne przedsiębiorstwa)
–	Poziom innowacyjności i gotowości wdrożeniowej wyników prac badawczo-rozwojowych
–	Dynamika i efektywność transferu uzyskanych rozwiązań do gospodarki
–	Gotowość przemysłu do rozwijania innowacyjnych technologii i wyrobów

Źródło: opracowanie własne na podstawie analiz wyników badania przeprowadzonego z udziałem ponad 100 ekspertów

Następnie dokonano eksperckiej oceny wpływu tendencji rozwojowych zidentyfikowanych czynników kluczowych na poszczególne technologie, a w następnej kolejności na grupy technologii w ramach poszczególnych obszarów tematycznych (tab. 2).

Tabela 2. Analiza relacji występujących między czynnikami kluczowymi oraz technologiami priorytetowymi w danym obszarze tematycznym

		T1		T2		T...		Tn	
K1	↑	w	P1	w	P1	w	P1	w	P1
	→	w	P2	w	P2	w	P2	w	P2
	↓	w	P3	w	P3	w	P3	w	P3
K2	↑	w	P1	w	P1	w	P1	w	P1
	→	w	P2	w	P2	w	P2	w	P2
	↓	w	P3	w	P3	w	P3	w	P3
K...	↑	w	P1	w	P1	w	P1	w	P1
	→	w	P2	w	P2	w	P2	w	P2
	↓	w	P3	w	P3	w	P3	w	P3
Kn	↑	w	P1	w	P1	w	P1	w	P1
	→	w	P2	w	P2	w	P2	w	P2
	↓	w	P3	w	P3	w	P3	w	P3

gdzie:

K – czynnik kluczowy,

T – technologia,

w – siła wpływu **K** na **T** $\langle -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5 \rangle$,

↑ – tendencja wzrostowa czynnika,

→ – tendencja stała czynnika,

↓ – tendencja spadkowa czynnika,

P – prawdopodobieństwo wystąpienia danej tendencji, gdzie $\sum P1, P2, P3 = 1$.

Źródło: opracowanie własne

Tabela 3. Średnia wyników analizy wpływu czynników kluczowych na poszczególne technologie

	Autonomiczne systemy monitoringu środowiska		Inteligentne systemy (procesy) współspalania odpadów		Technologia upłyniniania biomasy		Technologie odzyskiwania surowców i materiałów		Biotechnologiczne metody oczyszczania ścieków		Metody stabilizacji i poprawy właściwości biopaliw		Metody utylizacji cieczy odpadowych		Systemy pomiarów on-line lotnych i stałych produktów spalania	
	↑	↓	w	P	w	P	w	P	w	P	w	P	w	P	w	P
Potencjał badawczy i technologiczny (baza laboratoryjna, infrastruktura techniczna)	→		5,00	0,60	4,00	0,50	4,25	0,53	4,50	0,63	4,25	0,50	4,50	0,60	4,50	0,55
	↓		2,00	0,25	2,75	0,28	0,50	0,33	1,50	0,25	0,50	0,30	1,50	0,23	1,00	0,30
	↑		-2,75	0,15	-2,75	0,22	-3,00	0,14	-3,00	0,12	-2,75	0,12	-2,50	0,17	-2,25	0,15
Poziom innowacyjności i gotowości wdrożeniowej wyników prac badawczo-rozwojowych	→		5,00	0,50	3,75	0,45	4,25	0,53	4,00	0,55	4,50	0,40	4,50	0,55	3,25	0,55
	↓		2,00	0,38	0,75	0,38	2,00	0,25	1,00	0,35	0,75	0,40	0,50	0,28	1,25	0,28
	↑		-2,75	0,12	-3,25	0,17	-2,00	0,22	-2,00	0,10	-3,75	0,20	-3,25	0,17	-3,50	0,17
Dynamika i efektywność transferu uzyskanych rozwiązań do gospodarki	→		4,75	0,30	4,25	0,48	4,25	0,40	4,00	0,42	4,50	0,43	4,75	0,45	3,75	0,43
	↓		1,00	0,48	0,75	0,32	0,00	0,38	0,25	0,35	1,00	0,32	0,00	0,33	1,50	0,33
	↑		-2,25	0,22	-3,50	0,20	-2,50	0,22	-2,00	0,23	-3,50	0,25	-4,00	0,22	-3,50	0,24
Krajowe priorytety badawczo-rozwojowe	→		4,00	0,33	4,00	0,38	3,75	0,38	4,50	0,35	4,75	0,40	4,75	0,33	3,75	0,25
	↓		1,75	0,45	0,00	0,50	-0,25	0,48	2,00	0,53	0,00	0,48	0,25	0,53	0,75	0,55
	↑		-2,00	0,22	-3,25	0,12	-2,50	0,14	-3,25	0,12	-2,75	0,12	-3,75	0,14	-1,00	0,20
Potencjał badawczy i technologiczny (baza laboratoryjna, infrastruktura techniczna)	↑		4,00	0,50	4,25	0,53	4,25	0,50	4,00	0,55	4,00	0,53	4,75	0,53	4,25	0,63
	→		0,25	0,35	0,50	0,33	0,28	0,30	1,00	0,35	1,75	0,24	1,50	0,15	0,75	0,22
	↓		-3,25	0,15	-3,00	0,14	-3,00	0,20	-3,50	0,10	-2,75	0,23	-2,75	0,22	-2,50	0,15
Poziom innowacyjności i gotowości wdrożeniowej wyników prac badawczo-rozwojowych	↑		4,50	0,48	4,25	0,53	3,58	0,42	4,25	0,50	3,50	0,43	4,00	0,53	4,75	0,43
	→		1,00	0,30	2,00	0,24	1,25	0,38	0,00	0,28	1,50	0,35	0,00	0,30	1,00	0,40
	↓		-3,00	0,22	-2,00	0,23	-2,00	0,10	-3,75	0,20	-2,25	0,22	-3,25	0,17	-3,75	0,17
Dynamika i efektywność transferu uzyskanych rozwiązań do gospodarki	↑		4,00	0,32	4,25	0,40	4,00	0,47	4,00	0,38	3,50	0,50	4,00	0,45	4,50	0,38
	→		0,25	0,48	0,00	0,38	0,00	0,33	0,75	0,40	0,75	0,33	0,25	0,33	-0,25	0,38
	↓		-3,00	0,20	-2,50	0,22	-2,00	0,20	-2,75	0,22	-2,00	0,17	-1,75	0,22	-3,00	0,24
Krajowe priorytety badawczo-rozwojowe	↑		4,00	0,28	3,75	0,38	4,50	0,45	3,25	0,35	3,00	0,40	3,75	0,30	4,75	0,35
	→		1,00	0,48	-0,25	0,48	2,00	0,53	1,00	0,43	1,25	0,48	-0,50	0,50	0,50	0,45
	↓		-2,50	0,24	-2,50	0,14	-3,25	0,12	-1,25	0,22	-2,75	0,12	-1,75	0,20	-3,25	0,20

(w – siła wpływu czynnika na technologię, P – prawdopodobieństwo wystąpienia tendencji rozwojowej czynnika (wzrostowa ↑, stała →, spadkowa ↓))

Źródło: opracowanie własne

Eksperti dokonali oceny dwóch elementów⁶:

- oceny wpływu jednej z trzech zidentyfikowanych tendencji rozwojowych czynnika kluczowego na rozwój poszczególnych technologii priorytetowych według skali od -5 do +5 punktów,
- oceny prawdopodobieństwa wystąpienia danej tendencji rozwojowej czynnika kluczowego.

Przyjęto założenia:

- każdy czynnik kluczowy ma trzy możliwe tendencje rozwoju tj. tendencję wzrostową, stałą lub spadkową,
- ocena wpływu czynnika na technologię jest prowadzona dla każdej z trzech tendencji rozwoju czynnika,
- ocena wpływu czynnika na technologię jest prowadzona według skali (-5;+5); gdzie: -5 – najwyższy negatywny wpływ, 0 – brak wpływu, +5 – najwyższy pozytywny wpływ.
- suma wartości przypisanych dla prawdopodobieństwa wystąpienia trzech tendencji rozwojowych czynnika wynosi 1.

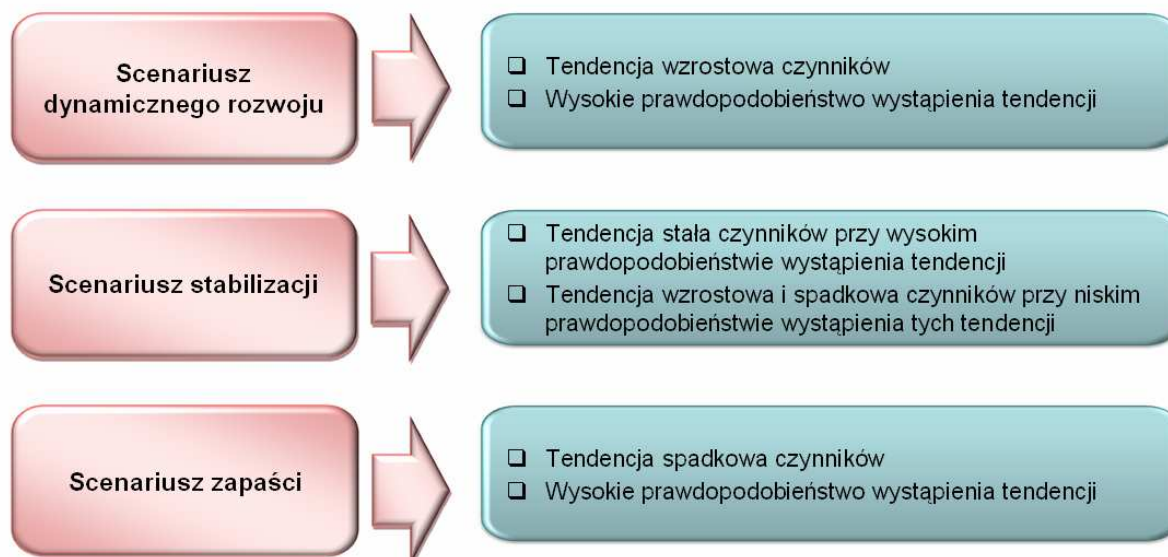
Uśrednione wyniki przeprowadzonej analizy w obszarze technologii proekologicznych przedstawiono w tabeli 3 i 4.

		Technologie wytwarzania materiałów eksploatacyjnych o podwyższonych walorach ekologicznych		Technologie racjonalizacji zużycia surowców i zasobów		Technologie recyklingu i utylizacji odpadów		Niskoodpadowe technologie wytwarzania i regeneracji elementów maszyn i urządzeń		Proekologiczne technologie wytwarzania energii		Systemy logistyczne w gospodarce odpadami i energią	
		w	P	w	P	w	P	w	P	w	P	w	P
Potencjał badawczy i technologiczny (baza laboratoryjna, infrastruktura techniczna – instytucje badawcze i innowacyjne przedsiębiorstwa)	↑	3,7	0,5	4,6	0,5	3,8	0,5	3,6	0,5	4,3	0,5	3,1	0,4
	→	1,8	0,3	1,7	0,3	0,7	0,3	1,3	0,3	2,1	0,3	0,8	0,4
	↓	-1,6	0,2	-1,4	0,2	-2,1	0,2	-2	0,2	-1,1	0,2	-1,6	0,2
Poziom innowacyjności i gotowości wdrożeniowej wyników prac badawczo-rozwojowych	↑	3,8	0,5	4,1	0,5	3,3	0,5	3,8	0,6	4	0,6	3,6	0,4
	→	2	0,4	2,3	0,3	1,4	0,3	1,4	0,2	2	0,3	1,7	0,4
	↓	-1,1	0,1	-1,7	0,2	-1,1	0,2	-1,6	0,2	-1,4	0,1	-1,7	0,2
Dynamika i efektywność transferu uzyskanych rozwiązań do gospodarki	↑	4	0,5	4	0,5	3	0,5	3,7	0,5	3,7	0,6	3,1	0,5
	→	1,6	0,4	1,1	0,3	0,7	0,3	0,7	0,3	1,4	0,3	1	0,4
	↓	-2,1	0,1	-1,3	0,2	-2,1	0,2	-1,8	0,2	-1,3	0,1	-1,1	0,1
Krajowe priorytety badawczo-rozwojowe	↑	4	0,4	3,8	0,5	4	0,4	4	0,4	3,8	0,5	3,6	0,4
	→	1	0,4	-1,3	0,3	2,2	0,4	1,1	0,4	2	0,3	1,6	0,4
	↓	-1,3	0,2	-1,8	0,2	-1,6	0,2	-2,3	0,2	-1,6	0,2	-1	0,2

Tabela 4. Średnia wyników analizy wpływu czynników kluczowych na grupy technologii (w – siła wpływu czynnika na technologię, P – prawdopodobieństwo wystąpienia tendencji rozwojowej czynnika kluczowego)
Źródło: opracowanie własne

⁶ G. Gierszewska, M. Romanowska, *Analiza strategiczna przedsiębiorstwa*, PWE Warszawa 2009, s. 199-212

Z uwzględnieniem wyników eksperckiej analizy opracowano scenariusze rozwoju w poszczególnych obszarach tematycznych. Biorąc pod uwagę tendencje rozwojowe poszczególnych czynników kluczowych oraz prawdopodobieństwa wystąpienia tych tendencji zaproponowano opracowanie scenariuszy: dynamicznego rozwoju, stabilizacji i zapaści (rys. 5).



Rys. 5. Typy scenariuszy rozwoju technologicznego opracowane z uwzględnieniem tendencji rozwojowych czynników kluczowych oraz prawdopodobieństwa wystąpienia tych tendencji
Źródło: opracowanie własne

Kolejny etap prac nad opracowaniem scenariuszy zakładał wykorzystanie uzyskanych w ramach projektu wyników dotyczących priorytetowości technologii i ich gotowości technologicznej.

Wykorzystano zatem uzyskaną w zadaniu Z1 „Mapy technologii” listę priorytetowych technologii, które oceniono według następujących kryteriów: zrównoważony rozwój (obejmujący subkryteria: efekty ekologiczne, ekonomiczne i społeczne) oraz generyczność technologii (uwzględniająca poziom interdyscyplinarności rozwiązań)⁷.

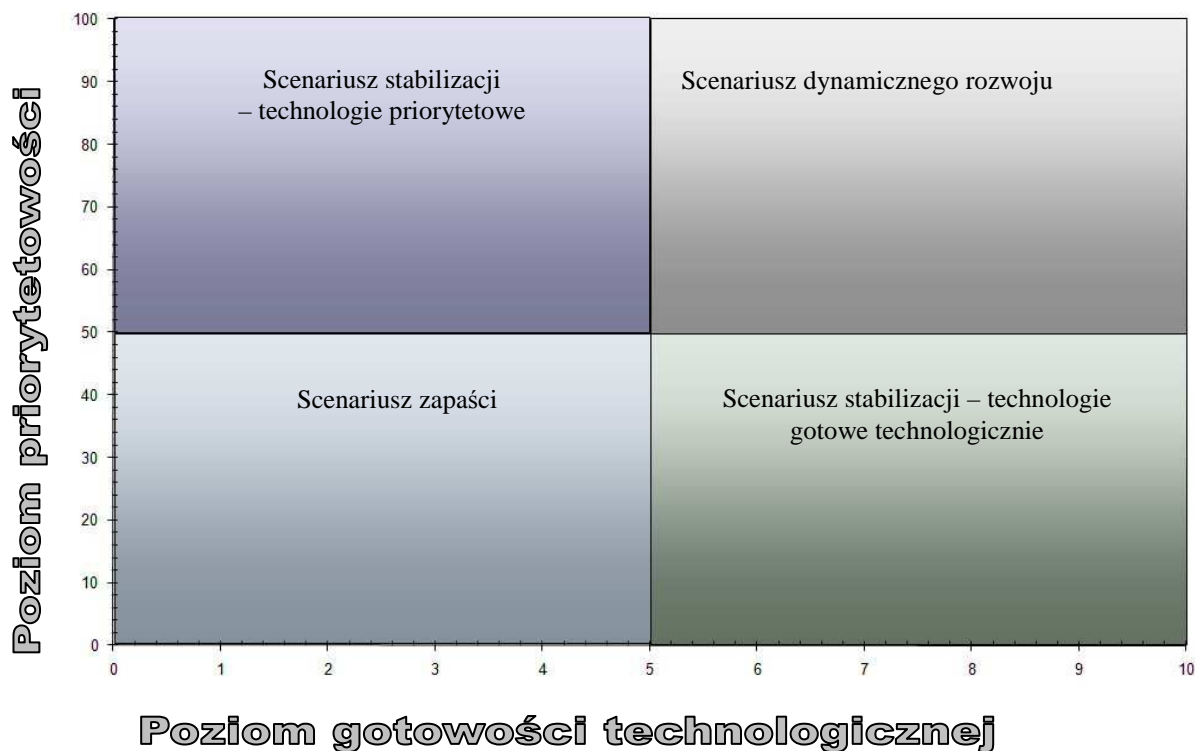
Następnie technologie z przypisanym im poziomem priorytetowości porównano z wynikami, uzyskanymi w ramach prac przeprowadzonych w zadaniu Z3 „Mocne i słabe strony”, dotyczącymi poziomu gotowości technologicznej technologii i grup technologii (szczegółowych kierunków badań). Poziom gotowości technologicznej dotyczy możliwości podjęcia lub kontynuacji prac, w wytypowanych kierunkach badawczych, co powinno skutkować opracowaniem technologii. Przyjęto⁸, że do technologii o wysokim poziomie gotowości technologicznej można zaliczyć technologie na etapie komercjalizacji i dyfuzji, istotne dla budowy konkurencyjności kompetencyjnej oraz inkrementalnego postępu technologicznego, a także technologie generyczne i przedkonkurencyjne, mające podstawowe znaczenie dla budowy konkurencyjności technologicznej, warunkującej bardziej radykalny postęp technologiczny.

⁷ A. Mazurkiewicz, A. Sacio-Szymańska, B. Poteralska, K. Symela, Raport „Mapy technologii w obszarze zrównoważonego rozwoju” opracowany w ramach projektu „Zaawansowane technologie przemysłowe i ekologiczne dla zrównoważonego rozwoju kraju”, Radom 2010.

⁸ A. Rogut, B. Piasecki: Pozycja konkurencyjna Polski w obszarze zrównoważonego rozwoju. Raport z realizacji zadania Mocne i słabe strony. Łódź 2010.

W celu uwzględnienia jednocześnie poziomu priorytetowości oraz gotowości technologicznej technologii priorytetowych przygotowano macierz (rys. 6), która umożliwiła wskazanie list technologii:

- priorytetowych o wysokim poziomie gotowości technologicznej,
- priorytetowych o niskim poziomie gotowości technologicznej,
- nisko priorytetowych o wysokim poziomie gotowości technologicznej,
- nisko priorytetowych o niskim poziomie gotowości technologicznej.



Rys. 6. Schemat oceny technologii wytypowanych w projekcie pod względem poziomu priorytetowości i gotowości technologicznej

Źródło: Opracowanie własne

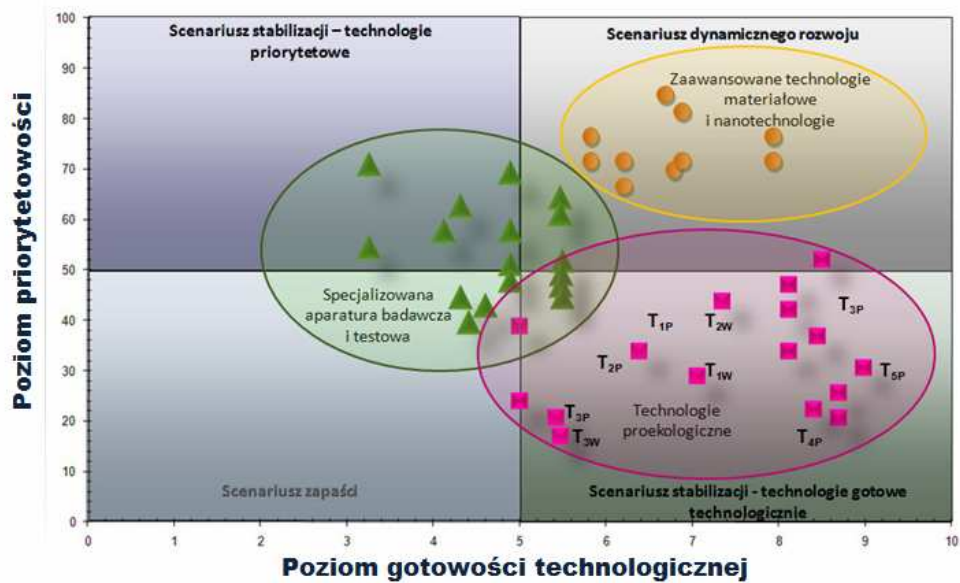
Macierz zbudowaną dla poszczególnych obszarów tematycznych zaprezentowano na rys. 7. W poszczególnych ćwiartkach macierzy zlokalizowano technologie (kierunki badań) zgodnie z poziomem priorytetowości i gotowości technologicznej.

W ramach tego etapu prac przeprowadzono konfrontację następujących wyników:

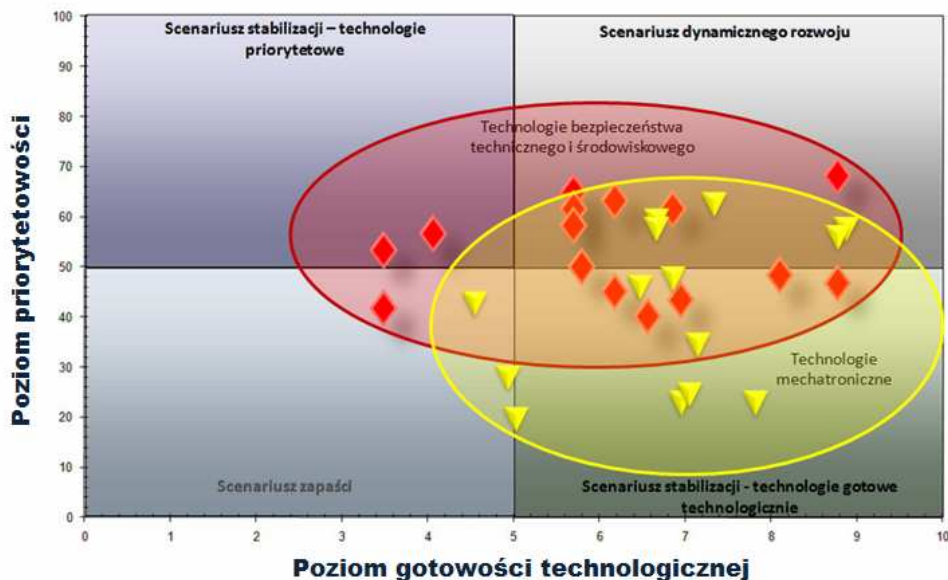
- lista technologii o wysokim priorytecie i wysokim poziomie gotowości technologicznej oraz technologii i kierunków badań wskazanych w scenariuszu dynamicznego rozwoju zbudowanym z uwzględnieniem tendencji rozwoju czynników kluczowych oraz prawdopodobieństwa wystąpienia tych tendencji
- lista technologii o wysokim priorytecie i niskim poziomie gotowości technologicznej oraz technologii i kierunków badań wskazanych w scenariuszu stabilizacji zbudowanym z uwzględnieniem tendencji rozwoju czynników kluczowych oraz prawdopodobieństwa wystąpienia tych tendencji,
- lista technologii o niskim priorytecie, w przypadku których występuje na wysokim poziomie gotowość technologiczna oraz technologii i kierunków badań wskazanych w scenariuszu stabilizacji.

Otrzymane wyniki stanowiły bazę do opracowania zintegrowanych scenariuszy rozwoju technologicznego w pięciu obszarach tematycznych objętych projektem.

a)



b)



Rys. 7. Zestawienie poziomu priorytetowości i gotowości technologicznej technologii (T_{1P} , T_{2P} ... – technologie przyrostowe; T_{1W} , T_{2W} , ... – technologie wyłaniające się) w kierunkach badawczych wytypowanych w projekcie w wybranych obszarach tematycznych: a) Zaawansowane technologie materiałowe i nanotechnologie, Specjalizowana aparatura badawcza i testowa, Technologie proekologiczne, b) Technologie mechatroniczne, Technologie bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego

Źródło: Opracowanie własne

W trakcie tworzenia scenariuszy przyjęto założenie, że powinny one uwzględniać kierunki badań i w ich ramach technologie, których opracowanie i wdrożenie przyczyni się do wzrostu poziomu technicznego i konkurencyjności przedsiębiorstw wykorzystujących innowacyjne rozwiązania w wymienionych dziedzinach. Dodatkowy, bardzo istotny wymiar stanowi identyfikacja i prognozowanie potrzeb dotyczących wiedzy, umiejętności i kompetencji niezbędnych do tworzenia i wykorzystywania nowych technologii, jak również opracowanie rekomendacji odnośnie przyszłościowych zawodów, kwalifikacji oraz modułowych rozwiązań programowych, co przyczyni się do efektywnej organizacji i realizacji kształcenia i doskona-

lenia oraz przekwalifikowania kadry na potrzeby zaawansowanych technologii przemysłowych. Takie systemowe podejście powinno zdecydowanie zwiększyć zgodność programowanej oferty usług kształcenia i doskonalenia zawodowego na wszystkich poziomach z wymaganiami gospodarki w zakresie technicznego wspomaganie zrównoważonego rozwoju.

W wyniku przeprowadzenia konfrontacji technologii ocenionych według kryteriów priorytetowości i gotowości technologicznej z technologiami i kierunkami badawczymi wskazanymi w scenariuszach opracowanych dla poszczególnych obszarów tematycznych otrzymano cztery hipotetyczne scenariusze:

- dynamicznego rozwoju
- stabilizacji – uwzględniający wysoce priorytetowe technologie
- stabilizacji – uwzględniający technologie gotowe technologicznie
- zapaści.

Z uwagi na uwzględnienie jedynie scenariuszy umożliwiających realizację zrównoważonego rozwoju, na dalszym etapie prac rozważano scenariusz dynamicznego rozwoju (uwzględniający technologie o wysokim poziomie priorytetowości i gotowości technologicznej) oraz scenariusz stabilizacji (w projekcie scenariusz uwzględnia rozwiązania technologiczne i kierunki badań o średnim i wysokim poziomie gotowości technologicznej, gdyż większość analizowanych technologii jest gotowa technologicznie).

Scenariusze rozwoju społecznego

Rozwój i wdrożenie technologii wytypowanych w ramach realizacji projektu przyczyni się do wzrostu poziomu technicznego i konkurencyjności przedsiębiorstw wykorzystujących innowacyjne rozwiązania w wymienionych dziedzinach. Dodatkowo, bardzo istotny wymiar projektu stanowi identyfikacja i prognozowanie potrzeb dotyczących wiedzy, umiejętności i kompetencji niezbędnych do tworzenia i wykorzystywania nowych technologii, jak również opracowanie przyszłościowych zawodów, kwalifikacji oraz modułowych rozwiązań programowych, co przyczyni się do efektywnej organizacji i realizacji kształcenia, doksztalcenia, doskonalenia oraz przekwalifikowania kadry na potrzeby zaawansowanych technologii przemysłowych w celu wyposażenia ich w potencjał intelektualny zdolny do generowania i wykorzystania nowych technologii, a co za tym idzie i nowych, atrakcyjnych dla gospodarki miejsc pracy. Dzięki temu przewidywane jest radykalne zmniejszenie rozdzwisku pomiędzy wymaganiami gospodarki, a ofertą usług kształcenia i doskonalenia zawodowego na wszystkich poziomach.

Poza scenariuszami technologicznymi opracowano scenariusze rozwoju społecznego dotyczące zapotrzebowania na nowe kwalifikacje i kompetencje niezbędne do opracowania i wdrożenia zaawansowanych technologii w poszczególnych obszarach tematycznych. W ramach scenariuszy wskazano krajowe i światowe trendy rozwoju kształcenia i doskonalenia w poszczególnych obszarach tematycznych objętych projektem oraz niezbędne kwalifikacje, obejmujące wiedzę, umiejętności i kompetencje.

Metodyka przyjęta do opracowania scenariuszy rozwoju kwalifikacji i kompetencji zakłada występowanie pięciu etapów prac, które przedstawiono na rys. 8. Jest to zarazem droga prowadząca do opracowania zintegrowanych scenariuszy trajektorii rozwoju społecznego skoncentrowanych na kwalifikacjach i kompetencjach.

Przy opracowaniu scenariuszy rozwoju kwalifikacji i kompetencji wykorzystane zostały wyniki uzyskane w ramach realizacji zadań:

- Z2 „Kwalifikacje i kompetencje w obszarze zaawansowanych technologii przemysłowych” (Etapy: I, II, III).

- Z4 „Scenariusze” (Etap IV) – w części dot. opisu scenariuszy „dynamicznego” oraz „stabilizacji” rozwoju wytypowanych technologii przyrostowych i wyłaniających się w poszczególnych obszarach tematycznych.
- Z1 „Mapy technologii” (Etap V) – w części dot. warstwy „Zasoby” tzn. kwalifikacji (w podziale na wiedzę i umiejętności) oraz kompetencji personelu naukowo-badawczego opracowującego innowacyjne rozwiązania technologiczne w ramach kierunków badawczych, wyspecyfikowanych dla każdego obszaru tematycznego wyodrębnionego w projekcie.

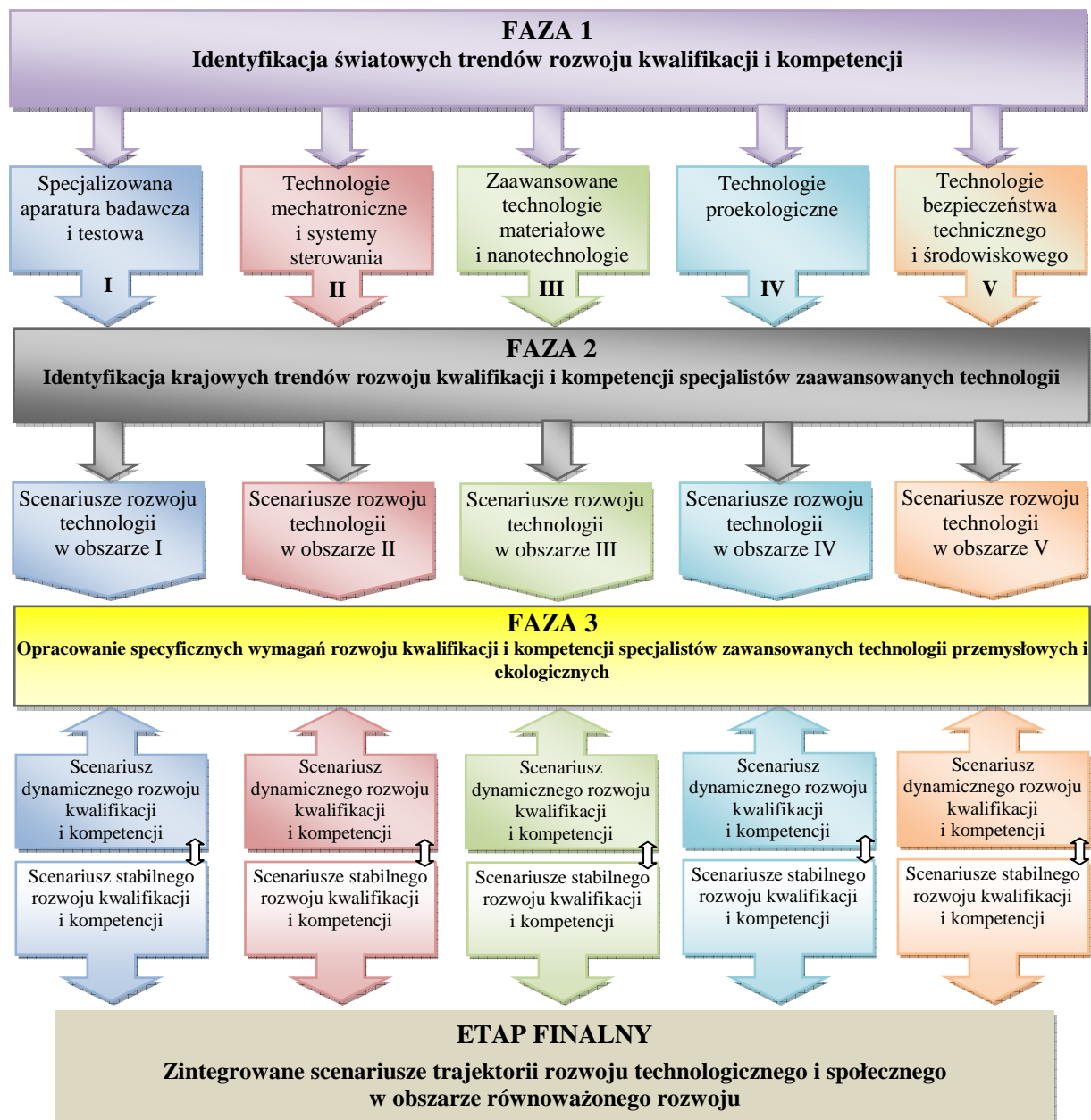


Rys. 8. Etapy prac stanowiące punkt odniesienia do budowy scenariuszy rozwoju społecznego (kwalifikacji i kompetencji)

Źródło: opracowanie własne

Skumulowana w ramach I, II i III etapu prac wiedza na temat aktualnych i przyszłych wymagań w zakresie rozwoju kwalifikacji i kompetencji specjalistów zaawansowanych technologii przemysłowych i ekologicznych umożliwiła wskazanie trendów światowych i krajowych, jakie są „wspólne” dla wszystkich pięciu obszarów tematycznych oraz trendów rozwojowych „specyficznych” dla każdego obszaru (tabela 5).

W ramach Etapu V wyodrębniono trzy fazy działań prowadzących do przygotowania opisu scenariuszy rozwoju kwalifikacji i kompetencji, co przedstawiono na rys. 9. W fazie pierwszej i drugiej zostały zidentyfikowane światowe i krajowe trendy rozwoju kwalifikacji i kompetencji, przy uwzględnieniu kluczowych czynników determinujących ten rozwój. Natomiast faza trzecia bezpośrednio jest związana z opracowaniem specyficznych wymagań rozwoju kwalifikacji i kompetencji specjalistów zaawansowanych technologii przemysłowych i ekologicznych, w kontekście opracowanych scenariuszy: dynamicznego rozwoju technologii oraz stabilizacji. W efekcie opracowano 10 scenariuszy rozwoju kwalifikacji i kompetencji (po 2 scenariusze dla każdego z pięciu obszarów tematycznych projektu), które zostały zintegrowane w ramach etapu finalnego.



Rys. 9. Schemat realizacji prac prowadzących do opracowania scenariuszy rozwoju społecznego (kwalifikacji i kompetencji) w obszarze równoważonego rozwoju

Źródło: opracowanie własne

W tabeli 5 przedstawiono komponenty, które stanowią strukturę opisu scenariuszy rozwoju kwalifikacji i kompetencji.

Punktem odniesienia do budowy scenariusza rozwoju kwalifikacji i kompetencji w danym obszarze tematycznym jest scenariusz dynamicznego rozwoju technologii (SDRT) oraz scenariusz stabilizacji rozwoju technologii (SSRT) – kolumna 1 w tabeli 5. Scenariusze technologiczne determinują jednocześnie zakres „części specyficznej” jaka została zawarta w scenariuszach rozwoju kwalifikacji i kompetencji w komponentach (kolumny 2÷5 w tabeli 5):

- Trendy światowe rozwoju kwalifikacji i kompetencji.
- Trendy krajowe rozwoju kwalifikacji i kompetencji.
- Scenariusz dynamicznego rozwoju kwalifikacji i kompetencji.
- Scenariusz stabilizacji rozwoju kwalifikacji i kompetencji.

Tabela 5. Komponenty składające się na opis scenariuszy rozwoju kwalifikacji i kompetencji w obszarach tematycznych objętych projektem

Scenariusze rozwoju technologii (SDRT i SSRT) dla obszarów tematycznych	Scenariusze rozwoju kwalifikacji i kompetencji					
	Trendy światowe rozwoju kwalifikacji i kompetencji		Trendy krajowe rozwoju kwalifikacji i kompetencji		Scenariusz dynamicznego rozwoju kwalifikacji i kompetencji	Scenariusz stabilizacji rozwoju kwalifikacji i kompetencji
1	2		3		4	5
1. Specjalizowana aparatura badawcza	Część wspólna	Część specyficzną	Część wspólna	Część specyficzną	Część specyficzną dot. SDRT	Część specyficzną dot. SSRT
2. Technologie mechatroniczne i systemy sterowania		Część specyficzną		Część specyficzną	Część specyficzną dot. SDRT	Część specyficzną dot. SDRT
3. Zaawansowane technologie materiałowe i nanotechnologie		Część specyficzną		Część specyficzną	Część specyficzną dot. SDRT	Część specyficzną dot. SSRT
4. Technologie proekologiczne		Część specyficzną		Część specyficzną	Część specyficzną dot. SDRT	Część specyficzną dot. SSRT
5. Technologie bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego		Część specyficzną		Część specyficzną	Część specyficzną dot. SDRT	Część specyficzną dot. SSRT

Źródło: opracowanie własne

W opisie „części wspólnej” dotyczącej trendów światowych i krajowych rozwoju kwalifikacji i kompetencji skoncentrowano uwagę na horyzoncie czasowym do roku 2020. Wzięto pod uwagę zwłaszcza te uwarunkowania i czynniki, które mają aktualnie i będą mieć w przyszłości największy wpływ na kształcenie, doksztalcanie i doskonalenie zawodowe specjalistów niezbędnych do opracowania i wdrażania zaawansowanych technologii przemysłowych i ekologicznych. W ramach trendów światowych w szczególności względnie uwarunkowania wynikające z globalizacji gospodarki, priorytety UE oraz wynikające z podaży i popytu na pracę oraz umiejętności. Natomiast trendy krajowe w zakresie rozwoju kwalifikacji i kompetencji opisane w scenariuszach są pochodną trendów światowych, uwzględniają strategię i programy rozwoju innowacyjnej gospodarki (w tym zrealizowane w Polsce projekty foresight) oraz rozwoju systemu formalnej, pozaformalnej i nieformalnej edukacji zawodowej, zwłaszcza na poziomie akademickim (poziomy 6÷8 wg europejskich i krajowych ram kwalifikacji)⁹.

Trendy światowe rozwoju kwalifikacji i kompetencji

- Globalne uwarunkowania rozwoju kadr.
- Priorytety nowej strategii „Europa 2020” na rzecz zatrudnienia i wzrostu gospodarczego.
- Rozwój kluczowych technologii wspomagających w UE.
- Rozwój społeczeństwa informacyjnego i gospodarki opartej na wiedzy oraz serwicyzacja i digitalizacja przemysłu.
- Wdrażanie instrumentów UE wspierających rozwój, przejrzystość i uznawanie kwalifikacji i kompetencji.
- Tendencje rozwoju rynku pracy i zmiana charakteru zarządzania pracą.
- Problemy ochrony środowiska i edukacja dla zrównoważonego rozwoju.
- Uwarunkowania demograficzne i społeczno-gospodarcze.
- Rozwój społeczeństwa usługowego.
- Rozwój idei uczenia się przez całe życie.
- Rozwój inteligentnych organizacji w globalnej gospodarce.

⁹ W Europejskich Ramach Kwalifikacji (EQF) przyjęto, że: 6 poziom odnosi się do stopnia licencjata, 7 poziom – do stopnia magistra, 8 poziom – do stopnia doktora.

Trendy krajowe rozwoju kwalifikacji i kompetencji

- Kierunki rozwoju gospodarki i dziedzin, w jakich państwo będzie długoterminowo wspierać rozwój zasobów ludzkich.
- Uwarunkowania rozwoju kadr oraz podaży i popytu na prace w długim horyzoncie czasowym.
- Perspektywa uczenia się przez całe życie uwzględniona w krajowych dokumentach strategicznych.
- Perspektywa rozwoju kwalifikacji i kompetencji w programach i projektach systemowych oraz zrealizowanych projektach foresight.
- Rozwój systemu Krajowych Ram Kwalifikacji.
- Rozwój systemu Krajowych Standardów Kwalifikacji Zawodowych.
- Strategiczne kierunki rozwoju szkolnictwa wyższego w aspekcie wysoko wykwalifikowanych absolwentów kierunków ścisłych i technicznych.
- Perspektywiczne kwalifikacje i kompetencje zawodowe oraz metody tworzenia i rozwijania wiedzy w organizacji sprzyjające innowacyjności.
- Rozwój kwalifikacji i kompetencji personelu naukowo-badawczego w aspekcie przedsiębiorczości i komercjalizacji wyników badań.
- Edukacja społeczeństwa w zakresie zrównoważonego rozwoju.
- Perspektywiczne cele, metody i formy organizacyjne kształcenia, doksztalcania i doskonalenia zawodowego, wspierające rozwój specjalistów zaawansowanych technologii przemysłowych.
- Kierunki zwiększenia jakości edukacji zawodowej na poziomie akademickim i przedakademickim.

Procedura konstruowania scenariuszy rozwoju kwalifikacji i kompetencji dla obszarów tematycznych projektu obejmuje następujące działania:

1. Analiza scenariuszy rozwoju technologii dla danego obszaru tematycznego w celu określenia „wspólnych” dla całego obszaru tematycznego uwarunkowań rozwoju kwalifikacji i kompetencji powiązanych z wytypowanymi, ze względu na priorytet i poziom gotowości technologicznej, technologiami (przyrostowymi i wyłaniającymi się).
2. Wskazanie światowych trendów rozwoju kwalifikacji i kompetencji.
3. Wskazanie krajowych trendów rozwoju kwalifikacji i kompetencji.
4. Analiza scenariuszy rozwoju technologii dla danego obszaru tematycznego w celu określenia „specyficznych” dla danego obszaru tematycznego wymagań kwalifikacyjnych i kompetencyjnych powiązanych z wytypowanymi, ze względu na priorytet i poziom gotowości technologicznej, technologiami (przyrostowymi i wyłaniającymi się).
5. Dopasowanie zidentyfikowanych w badaniach dziedzin wiedzy, kierunków studiów i zawodów funkcjonujących w gospodarce do specyfiki grup technologii przyrostowych i wyłaniających się.
6. Sporządzenie syntetycznych opisów wymagań kwalifikacyjnych (wiedza i umiejętności) i kompetencyjnych (kompetencje poznawcze, osobiste, społeczne, instytucjonalne, menadżerskie) dla personelu naukowo-badawczego, uczestniczącego w przygotowaniu technologii innowacyjnych z wykorzystaniem wyników badań Etapu I, II, III oraz Raportu „Mapy technologii w obszarze zrównoważonego rozwoju”.
7. Scharakteryzowanie nowych zawodów, kwalifikacji i kompetencji powiązanych ze specyfiką grup technologii przyrostowych i wyłaniających się.
8. Wskazanie podstawowych obszarów doskonalenia kompetencji kadry dydaktycznej uczestniczącej w przygotowaniu zawodowym specjalistów zaawansowanych technologii przemysłowych.

9. Wskazanie kierunków rozwoju metod dydaktycznych oraz bazy technodydaktycznej zalecanej do kształtowania kwalifikacji i kompetencji specjalistów zaawansowanych technologii przemysłowych.
10. Weryfikacja opracowanych scenariuszy rozwoju kwalifikacji i kompetencji z udziałem ekspertów wewnętrznych i zewnętrznych.
11. Opracowanie zintegrowanego scenariusza rozwoju społecznego (kwalifikacji i kompetencji) w obszarze zrównoważonego rozwoju.

W poszczególnych obszarach tematycznych opracowano scenariusze dynamicznego rozwoju kwalifikacji i kompetencji oraz scenariusze stabilizacji. Przygotowane scenariusze rozwoju społecznego są komplementarne do scenariuszy technologicznych oraz uwzględniają trendy zewnętrzne (światowe i europejskie) oraz trendy wewnętrzne (krajowe) w zakresie rozwoju kapitału intelektualnego.

Zintegrowane scenariusze rozwoju

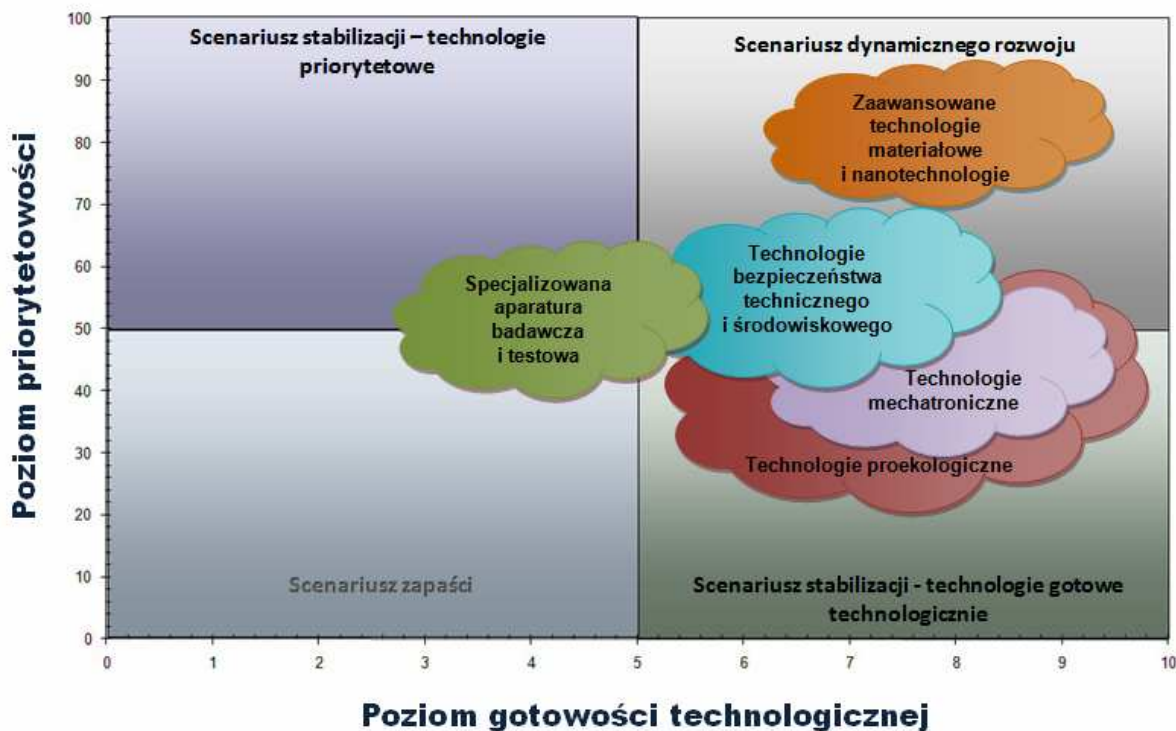
W ramach scenariuszy zintegrowanych wskazano krajowe i europejskie trendy rozwoju technologii oraz kształcenia i doskonalenia. Uwzględniono kierunki badań i aplikacji charakteryzujące się najwyższym priorytetem z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju oraz interdyscyplinarności prowadzonych badań i jednocześnie mające szanse skutecznej implementacji ze względu na wysoki poziom gotowości technologicznej. Dodatkowo wskazano kierunki zapotrzebowania na kwalifikacje i kompetencje niezbędne do opracowania i wdrożenia zaawansowanych technologii w poszczególnych obszarach tematycznych.

Na bazie analiz zależności pomiędzy poziomem priorytetowości i gotowości technologii i opracowanych scenariuszy technologicznego rozwoju w poszczególnych obszarach tematycznych, dokonano zestawienia tendencji rozwojowych we wszystkich obszarach projektu, które przedstawiono na wykresie (rys. 10). Stanowiły one bazę do opracowania scenariusza dynamicznego rozwoju oraz scenariusza stabilizacji¹⁰.

W scenariuszu dynamicznego rozwoju uwzględniono kierunki badań i technologie o wysokim poziomie priorytetowości (powyżej 50 pkt.) oraz wysokim lub średnim poziomie gotowości technologicznej (powyżej 5 pkt.). Z kolei scenariusz stabilnego rozwoju uwzględnia kierunki badań i technologie, charakteryzujące się niezbyt wysokim priorytetem (poniżej 50 pkt.), ale jednocześnie o wysokim lub średnim poziomie gotowości technologicznej. Scenariusz dynamicznego rozwoju uwzględnia, dotyczące poszczególnych obszarów tematycznych, technologie przyrostowe i wyłaniające się spełniające podane kryteria odnośnie poziomu priorytetowości i gotowości technologicznej. Scenariusz stabilizacji, ze względu na swój charakter, obejmuje wyłącznie technologie o charakterze przyrostowym. W poszczególnych scenariuszach trendy rozwoju technologicznego opisano w korelacji z rozwojem zapotrzebowania na kwalifikacje i kompetencje specjalistów zaawansowanych technologii przemysłowych i ekologicznych.

Wyniki zrealizowanych prac wskazują, że rozwój badań ukierunkowanych na opracowanie nowatorskich rozwiązań technologicznych lub doskonalenie istniejących rozwiązań zależy ściśle od czynników kluczowych wskazanych dla poszczególnych obszarów tematycznych, priorytetowości technologii w aspekcie przyczyniania się do realizacji strategii zrównoważonego rozwoju gospodarki, a także od poziomu ich gotowości technologicznej.

¹⁰ A. Mazurkiewicz, i in. Raport „Scenariusze zintegrowane rozwoju technologicznego i społecznego w obszarze zrównoważonego rozwoju”, Radom 2010.



Rys. 10. Ocena poziomu priorytetowości i gotowości technologicznej technologii we wszystkich obszarach tematycznych objętych projektem

Źródło: opracowanie własne

Wygenerowane krajowe rozwiązania technologiczne w obszarach tematycznych objętych projektem charakteryzuje w przeważającej większości wysoki poziom gotowości technologicznej. Obserwowany jednocześnie wysoki poziom gotowości technologicznej i priorytetowości cechuje zaawansowane technologie materiałowe i nanotechnologie, których dynamiczny rozwój jest najbardziej pożądanym gdyż oddziałuje bezpośrednio na powstawanie zaawansowanych rozwiązań procesowych i produktowych w sferze konsumpcji masowej, a zatem stymuluje rozwój całej gospodarki. Wysoki i średni poziom gotowości technologicznej charakteryzuje rozwiązania z zakresu mechatroniki i systemów sterowania, ekologii oraz bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego. Poziom gotowości technologicznej specjalizowanej aparatury badawczej i testowej jest niższy od poziomu charakteryzującego pozostałe obszary tematyczne, co wynika z faktu, że aparatura każdorazowo opracowywana jest niejako od podstaw, pod nowe zastosowania i przy uwzględnieniu najnowszych osiągnięć naukowych w innych dziedzinach.

Rozwiązania z zakresu mechatroniki i systemów sterowania oraz aparatury badawczej i testowej mają charakter wspomagający technologie produktowe i procesowe, przy czym technologie mechatroniczne wspierają przede wszystkim procesy produkcyjne, a aparatura – sferę prac badawczych.

Najniższy poziom priorytetowości przyznano technologiom proekologicznym, co wynika z faktu, że jeden z analizowanych aspektów zrównoważonego rozwoju dotyczy efektów ekonomicznych opracowywania i wdrażania technologii. W przypadku znacznej grupy technologii proekologicznych występuje przewaga kosztów nad bezpośrednimi korzyściami finansowymi, analizowanymi w krótkim okresie bez uwzględniania długoterminowych efektów ekonomicznych i przede wszystkim społecznych technicznego wspomagania zrównoważonego rozwoju gospodarki.

Trendy krajowe i europejskie

Rozwój nowych produktów i usług w znacznej mierze zależy od stosowania kluczowych technologii bazujących na najnowszej wiedzy i wynikach prac badawczo-rozwojowych, charakteryzujących się krótkimi cyklami innowacji, często wymagającymi jednostkowych wysokich nakładów kapitałowych oraz wysokich kwalifikacji pracowników. Wśród wskazanych przez Komisję Europejską¹¹ kluczowych obszarów wpływających na zrównoważony rozwój gospodarki wskazano przede wszystkim badania i innowacje, w tym głównie w zakresie bezpieczeństwa energetycznego i ochrony środowiska, a także rozwój kapitału ludzkiego. Aspekty te uwzględniono w opracowanych scenariuszach rozwoju technologicznego i społecznego. Realizacji nowatorskich rozwiązań w zakresie energetyki sprzyja wprowadzanie zaawansowanych rozwiązań w obszarze technologii materiałowych i częściowo technologii mechatronicznych. Z kolei zagadnienia dotyczące ochrony środowiska korespondują z tematyką uwzględnioną w obszarach tematycznych obejmujących technologie proekologiczne oraz technologie bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego.

Kształcenie i doskonalenie kadr stanowi element niezbędny do rozwijania nowych technologii procesowych i produktowych i rozważane jest głównie w aspekcie kwalifikacji i kompetencji niezbędnych do opracowywania i wdrażania zaawansowanych technologii. Dynamiczny rozwój kraju uzależniony jest od poziomu wykształcenia, doświadczenia oraz kreatywności i innowacyjności kadry naukowej i technicznej.

Nowoczesne społeczeństwo i konkurencyjna gospodarka budowane są m.in. w oparciu o innowacyjne procesy, wyroby i usługi. Aby zapewnić innowacyjność, konieczne jest racjonalne wykorzystanie wiedzy, w tym odpowiednie kształtowanie procesu transformacji wiedzy ze sfery badań naukowych do środowiska edukacji zawodowej. Jednym z głównych kierunków strategii rozwoju edukacji powinno być szybkie i elastyczne dostosowanie się do zmian zachodzących w gospodarce i na rynkach pracy: lokalnym, regionalnym, krajowym, europejskim i globalnym. W okresie do roku 2020 przewidywana jest kolejna rewolucja technologiczna, a Komisja Europejska planuje ustanowić międzysektorową strategię polityki przemysłowej, mającą na celu identyfikację i wspieranie kluczowych technologii (*Key Enabling Technologies*) w UE.

Dane i prognozy europejskie wskazują, że najbliższa dekada to okres wzmoczonego rozwoju kapitału intelektualnego, który ma bezpośredni wpływ na generowanie nowych technik i technologii. Znacząco wzrośnie w Europie popyt na specjalistów nauk ścisłych i technicznych. Do roku 2020 nastąpi wzrost zapotrzebowania na specjalistów z wyższym wykształceniem oraz o średnich kwalifikacjach. Nowe wyzwania dla Europy przewidują poprawę jakości kapitału ludzkiego, zwiększenie szans zatrudnienia poprzez podwyższenie poziomu kwalifikacji, dostosowanie umiejętności do potrzeb rynku pracy, nabywanie nowych umiejętności i kompetencji pozwalających na pełne wykorzystanie możliwości rozwoju i ożywienia gospodarczego, poprawę monitorowania, oceny, prognozowania oraz dostosowywania umiejętności do zmieniającego się rynku pracy

Kraje Unii Europejskiej stają przed wyzwaniem zapewnienia odpowiednio wykwalifikowanych i elastycznych kadr potrafiących szybko udoskonalić lub zmienić profil kwalifikacji w zależności od wymagań gospodarki. Osiągnięcie ww. celu wymaga opracowania odpowiednich instrumentów pozwalających na prowadzenie monitoringu rynku pracy i prognozowanie zapotrzebowania na kwalifikacje, a także instrumentów pozwalających na tworzenie odpowiednich programów edukacyjnych, czy szkoleniowych oraz szybkie ich wdrażanie i udostępnianie grupom docelowym. Ważne jest także dążenie do uznawalności kwalifikacji zdobywanych na różnych poziomach i zarówno w drodze formalnego, pozaformalnego i nie-

¹¹ EUROPA 2020. Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu. Komunikat Komisji Europejskiej, Bruksela, 3.3.2010, KOM(2010)

formalnego kształcenia na terenie UE, co pozwoli na przepływ wykwalifikowanych pracowników na terenie Wspólnoty. Priorytetem jest także włączenie pracodawców w proces doskonalenia kompetencji kadr oraz dążenie do optymalnego wykorzystywania kwalifikacji posiadanych przez ich personel.

Powyższy kontekst wskazuje na potrzebę modernizacji w Polsce systemu kształcenia i doskonalenia zawodowego w takim zakresie aby w szczególności możliwe było zdobywanie wiedzy, umiejętności i kompetencji na kierunkach technicznych, informatycznych i matematyczno-przyrodniczych, oferując jednocześnie absolwentom kompleksowe, interdyscyplinarne przygotowanie zawodowe oraz specjalistyczny komponent nawiązujący do innowacyjnych technologii. Jest to zgodne z nową perspektywą strategiczną Polski do roku 2030 oraz Polskimi Ramami Kwalifikacji dla uczenia się przez całe życie.

Jednym z kluczowych wyzwań dla polskiego szkolnictwa wyższego i średniego jest tworzenie warunków do pozyskiwania wiedzy, umożliwiającej rozwój kluczowych dla Europy i Polski technologii zrównoważonego rozwoju. Stosowanie i rozwijanie tych technologii, jest równoznaczne z budową innowacyjnej gospodarki oraz poprawy jakości życia. Tworzenie innowacyjnych technologii oraz umiejętność ich wdrażania jest najlepszym dowodem na jakość kapitału intelektualnego. Nowe technologie wpływają na zmiany kwalifikacji zawodowych i wzrost znaczenia kompetencji niezbędnych na danym stanowisku pracy. Zmiany technologiczne znacząco wpływają również na strukturę gospodarki oraz organizację przedsiębiorstw. Rozwój nowych technologii uwarunkowany jest ścisłą współpracą sektora nauki z przemysłem oraz sferą edukacji zawodowej.

W warunkach szybkiego rozwoju zaawansowanych technologii produkcji i eksploatacji, szczególnego znaczenia nabiera przygotowanie specjalistów zaawansowanych technologii przemysłowych i ekologicznych. Dotyczy to różnych poziomów kwalifikacji i kompetencji zawodowych w wielu różnych zawodach – od wykwalifikowanego robotnika, poprzez średni personel techniczny do kadry inżynierskiej i zarządzającej oraz naukowo-badawczej i dydaktycznej.

Pojawiające się na rynku nowe zawody, kwalifikacje, kompetencje i umiejętności wykazują bezpośredni związek z nowymi technologiami oraz wynikającymi z nich nowymi wzorcami zachowań produkcyjnych i konsumpcyjnych. Stąd wynika potrzeba transferu wyników badań nad rozwojem nowych technologii do sfery edukacji zawodowej.

Kształcenie kadr dla potrzeb zaawansowanych technologii przemysłowych i ekologicznych powinno uwzględniać kompetencje kluczowe i umiejętności ogólne wykorzystywane w różnych dziedzinach. Interdyscyplinarny charakter zaawansowanych technologii wymaga szerokich zainteresowań, współpracy zespołowej, efektywnego komunikowania się za pomocą najnowszych technologii informacyjnych i w różnych językach, ale także samodzielności i odpowiedzialności. Jedną z najważniejszych kompetencji ogólnych, jakie powinny towarzyszyć edukacji dla potrzeb zaawansowanych technologii jest umiejętność uczenia się przez całe życie.

Scenariusz dynamicznego rozwoju technologicznego

Dynamiczny rozwój badań obserwowany jest w obszarach charakteryzujących się wysokim poziomem priorytetowości oraz wysokim lub średnim poziomem gotowości technologicznej. Dynamiczny rozwój cechuje przede wszystkim rozwiązania z zakresu zaawansowanych technologii materiałowych i nanotechnologii¹², ale także technologii mechatronicznych,

¹² Scenariusze dynamicznego rozwoju i stabilizacji w obszarze technologii materiałowych i nanotechnologii przygotowano na podstawie opracowania J. Smolika zamieszczonego w raporcie: Scenariusze rozwoju technologicznego. Zaawansowane technologie materiałowe i nanotechnologie oraz systemy techniczne wspomagające ich projektowanie i aplikacje, Radom 2010

systemów sterowania¹³, aparatury badawczo-testowej¹⁴, a także technologii proekologicznych¹⁵ oraz technologii bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego¹⁶.

Obszar tematyczny technologii materiałowych i nanotechnologii obejmuje kierunki rozwojowe, w których opracowywane są zaawansowane rozwiązania produktowe i procesowe. Pozostałe obszary mają charakter wspomagający.

Technologie materiałowe i nanotechnologie to obszar silnie ugruntowany w Polsce, odgrywający znaczącą rolę w stymulowaniu rozwoju całej gospodarki. Poprzez wpływ na zwiększanie innowacyjności, ochronę środowiska oraz obniżanie kosztów produkcji, decyduje on o znaczeniu gospodarczym, a tym samym potrzebie rozwoju innych grup technologii. Technologie materiałowe i nanotechnologie cechuje bardzo wysoki poziom interdyscyplinarności, czego wynikiem jest istotny wpływ i stymulowanie rozwoju innych obszarów działalności naukowo-badawczej. Stąd też szybkie tempo rozwoju wielu nowoczesnych gałęzi przemysłu jest wyznaczone możliwościami technologii materiałowych i nanotechnologii. Rozwój w tej dziedzinie jest bardzo dynamiczny i obejmuje zarówno technologie przyrostowe jak i technologie wyłaniające się. Rozwój technologii wyłaniających się bazuje na najnowszych osiągnięciach inżynierii powierzchni, jakimi są hybrydowe technologie obróbki powierzchniowej, stwarzające szerokie możliwości kształtowania właściwości fizycznych i chemicznych wytwarzanych warstw i powłok. Technologie wyłaniające się powstają na bazie nowatorskich rozwiązań materiałowych i towarzyszących im opracowań technologicznych, umożliwiających wytwarzanie unikatowych materiałów funkcjonalnych. Szczególnie cenne są dwa główne kierunki rozwoju technologii wyłaniających się. Pierwszym z nich jest wytwarzanie powłok o strukturze nanometrycznej, w tym: powłok nanowarstwowych i nanokompozytowych, o ściśle ukierunkowanych właściwościach funkcjonalnych, np. przeznaczonych do wytwarzania mikro-ogniw voltaicznych, czy też bioczułych lub chemoczułych mikro-sensorów. Drugi kierunek rozwoju technologii wyłaniających się obejmuje technologie przeznaczone do modyfikowania właściwości warstwy wierzchniej stopów metali lekkich, w tym: tytanu, aluminium i magnezu.

Rozwój technologii przyrostowych ukierunkowany jest na stopniowe doskonalenie istniejących już rozwiązań, jak również na rozszerzanie możliwości ich aplikacyjnego wykorzystania w nowych obszarach gospodarki. Prace badawczo-rozwojowe o charakterze przyrostowym koncentrują się przede wszystkim w zakresie kształtowania charakterystyk cienkich warstw i powłok, przeznaczonych do poprawy właściwości mechanicznych, tribologicznych i korozyjnych narzędzi i elementów maszyn pracujących w trudnych warunkach eksploatacyjnych. Dotyczy to głównie aplikacji w przemyśle narzędziowym (matryce do obróbki plastycznej metali, formy ciśnieniowe i odlewnicze), przemyśle lotniczym i samochodowym (elementy turbin lotniczych i silników spalinowych) oraz medycynie (implanty i wszczepy medyczne, narzędzia chirurgiczne).

¹³ Scenariusze dynamicznego rozwoju i stabilizacji w obszarze technologii mechatronicznych i systemów sterowania przygotowano na podstawie opracowania T. Giesko zamieszczonego w raporcie: Scenariusze rozwoju technologicznego. Technologie mechatroniczne i systemy sterowania do wspomagania procesów wytwarzania i eksploatacji, Radom 2010

¹⁴ Scenariusze dynamicznego rozwoju i stabilizacji w obszarze aparatury badawczej i testowej przygotowano na podstawie opracowania J. Dobrodziejza zamieszczonego w raporcie: Scenariusze rozwoju technologicznego. Specjalizowana aparatura badawcza i testowa, Radom 2010

¹⁵ Scenariusze dynamicznego rozwoju i stabilizacji w obszarze technologii proekologicznych przygotowano na podstawie opracowania M. Grądkowskiego zamieszczonego w raporcie: Scenariusze rozwoju technologicznego. Technologie proekologiczne, racjonalizacja zużycia surowców oraz odnawialne źródła energii, Radom 2010

¹⁶ Scenariusze dynamicznego rozwoju i stabilizacji w obszarze technologii materiałowych i nanotechnologii przygotowano na podstawie opracowania A. Zbrowskiego zamieszczonego w raporcie: Scenariusze rozwoju technologicznego. Technologie bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego, Radom 2010

Opracowywanie i wdrażanie nowych rozwiązań z zakresu technologii materiałowych i nanotechnologii ma zdecydowanie pozytywny wpływ na rozwój innych obszarów tematycznych, w tym technologii mechatronicznych i systemów sterowania, specjalizowanej aparatury badawczej i testowej, technologii proekologicznych oraz technologii bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego.

Znaczenie **technologii mechatronicznych i systemów sterowania** wynika z bardzo pozytywnego oddziaływania tej grupy technologii na gospodarkę w wielu jej obszarach. Wysoki poziom naukowy i techniczny cechujący rozwijane technologie, ich interdyscyplinarny charakter, wielokierunkowe możliwości aplikacyjne oraz potencjalnie wysoka atrakcyjność ekonomiczna przedsięwzięć wdrożeniowych wpływają na pobudzanie inicjatywy realizatorów i przedsiębiorców.

W obszarze technologii mechatronicznych i systemów sterowania opracowywane i doskonalone są zaawansowane innowacyjne rozwiązania przeznaczone do aplikacji charakteryzujących się wysokim poziomem specjalizacji. Rozwijane technologie cechuje wysoki poziom interdyscyplinarności wykorzystywanej wiedzy na etapie prac badawczych, jak również transferu do przemysłu. Rozwój technologii przebiega zgodnie z modelem „technology push”. Rozwój tych technologii stanowi zazwyczaj wtórny efekt dynamicznego rozwoju technologii produktowych i procesowych ukierunkowanych na masowe wytwarzanie nowej generacji innowacyjnych wyrobów.

Dynamiczny rozwój obejmuje zarówno technologie przyrostowe jak i wyłaniające się. Rozwój technologii przyrostowych ukierunkowany jest na stopniowe doskonalenie istniejących rozwiązań. Badania przyrostowe prowadzone są w obrębie specjalizowanych technologii i urządzeń mechatronicznych oraz technologii teleinformatycznych i systemów diagnostyki i sterowania, w szczególności dotyczących systemów sterowania urządzeń przemysłowych z tolerancją uszkodzeń w torach przesyłania danych.

Rozwijane technologie wyłaniające się obejmują przede wszystkim specjalizowane technologie i urządzenia mechatroniczne oraz technologie teleinformatyczne i systemy diagnostyki i sterowania, których czołowym przykładem jest rozwój interfejsów człowiek-komputer z funkcją sterowania głosem do zastosowań w systemach sterowania procesów wytwarzania i eksploatacji.

Rozwój w zakresie **specjalizowanej aparatury badawczej i testowej** jest ściśle zintegrowany z rozwojem innych dziedzin, w tym przede wszystkim technologii materiałowych, produktowych i procesowych oraz mechatroniki. Dynamika rozwoju w obszarze specjalizowanej aparatury badawczej i testowej uzależniona jest w równej mierze od gotowości przemysłu do rozwijania innowacyjnych technologii i wyrobów, jak i zapotrzebowania ze sfery nauki.

W obszarze specjalizowanej aparatury badawczej i testowej, na bazie odkryć naukowych i osiągnięć w zakresie technologii materiałowych i nanotechnologii rozwijane są nowatorskie techniki pomiarowe należące do grupy technologii wyłaniających się. Wykorzystywane są one w początkowej fazie istnienia głównie w empirycznych badaniach naukowych, by następnie ewoluować ze sfery nauki do praktyki gospodarczej. Technologie wyłaniające się silnie oddziałują na innowacje techniczne, a ponadto cechuje je „skokowy” progres przekładający się zwykle na dużą dynamikę rozwoju aparatury badawczej i testowej stwarzając możliwość uzyskania przewagi konkurencyjnej. W ramach rozwoju aparatury badawczej obserwowane są dwa uzupełniające się trendy. W ramach pierwszego: „odkrycie naukowe – zastosowanie laboratoryjne – wykorzystanie w przemyśle” rozwijane jest instrumentarium i metody pomiarowe do monitorowania on-line procesów próżniowo-plazmowych oraz do badań procesów syntezy nanoproczków.

Drugi trend obejmuje ścieżkę: „zapotrzebowanie ze strony przemysłu – opracowanie techniki pomiarowej – zastosowanie laboratoryjne – wykorzystanie przemysłowe” stymulują-

cą rozwój aparatury badawczej i testowej, m.in. bezprzewodowych systemów pomiarowych do monitorowania stanu eksploatacyjnego linii technologicznych oraz dużych, rozproszonych obiektów technicznych. W ramach tego trendu realizowany jest głównie rozwój technologii przyrostowych. Badania przyrostowe dotyczą rozwoju istniejących technik pomiarowych w celu zmniejszenia materiałochłonności, energochłonności i czasochłonności, w szczególności w przypadku aparatury do badań testowych, atestacyjnych i certyfikujących, aparatury do badań właściwości zużyciowych materiałów i obiektów technicznych, a także aparatury badawczej i systemów kontrolno-pomiarowych do monitorowania stanu środowiska naturalnego, zwłaszcza mobilnych, zintegrowanych laboratoriów diagnostycznych.

Przewiduje się znaczące skrócenie czasu pomiędzy wykorzystaniem nowych technik pomiarowych w laboratoriach badawczych a ich użyciem w praktyce przemysłowej. Do opracowania tych technik niezbędna jest interdyscyplinarna wiedza przede wszystkim z zakresu fizyki, chemii, elektroniki, modelowania matematycznego, informatyki i inżynierii systemów. Przykładem interdyscyplinarnego wykorzystania wiedzy do opracowania jakościowo nowych technik pomiarowych jest aparatura do badań nieniszczących uznawana za szczególnie perspektywiczną i o wysokim prawdopodobieństwie dynamicznego rozwoju.

W ramach obszaru tematycznego obejmującego **technologie proekologiczne** prowadzone są prace w zakresie determinowanym w znacznym stopniu kierunkami prac w innych dziedzinach oraz wynikającym z konieczności spełnienia wymogów regulacji legislacyjnych w zakresie ochrony środowiska.

Technologie proekologiczne charakteryzuje wysoki stopień interdyscyplinarności, zaawansowania technicznego, elastyczności, często wysoka złożoność i wielkoskalowość. Rozwijane technologie wyłaniające się stanowią nowatorskie innowacje techniczne w tym obszarze wiedzy i praktyki, stwarzające możliwość uzyskania przewagi konkurencyjnej. Obejmują one w szczególności proekologiczne technologie wytwarzania energii, co sprzyja osiągnięciu celów w zakresie klimatu i energii. Przykładem technologii wyłaniających się są technologie upłynniania i zgazowania biomasy, wytwarzania energii z odpadów, recyklingu surowców i materiałów zawartych w poszczególnych strumieniach odpadów, a także technologie współpalania odpadowej biomasy z paliwami konwencjonalnymi. Szczęólnego znaczenia w grupie technologii wyłaniających nabiera rozwój wysokoefektywnych technologii pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych.

W przypadku znacznej grupy technologii proekologicznych występuje przewaga kosztów nad bezpośrednimi korzyściami finansowymi, rozpatrywanymi w krótkookresowym horyzoncie czasowym. Pozorna przewaga kosztów nad efektami wynika głównie z koncentracji społeczeństwa na osiąganiu celów krótkoterminowych bez uwzględniania długoterminowych horyzontów zrównoważonego rozwoju oraz trudności bezwzględnego oszacowania zysków ekologicznych, wynikających z wdrożenia poszczególnych technologii. W wielu przypadkach skutkuje to obojętnością, a czasami wręcz brakiem akceptacji społecznej dla ponoszenia kosztów rozwijania i wdrażania tych technologii. Najczęściej dotyczy to technologii, których opracowywanie i wdrażanie wynika z konieczności dostosowania gospodarki krajowej do wytycznych międzynarodowych uregulowań prawnych w zakresie ochrony środowiska i klimatu. Rozwój zaawansowanych technologii proekologicznych niesie ze sobą jednakże niezwykle istotny efekt, jakim jest racjonalizacja zużycia surowców i zasobów. A czynnik ten warunkuje stały i zrównoważony rozwój gospodarki.

Szczęólnie znaczenie **technologii bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego** wynika z faktu, że zadaniem technologii z tego zakresu jest bezpośrednio wsparcie nowych procesów technologicznych, z prowadzeniem których wiąże się konieczność spełnienia coraz wyższych wymogów dotyczących zapewnienia bezpieczeństwa ich realizacji. Szczęólnie duże znaczenie w rozwoju technologii bezpieczeństwa technicznego ma poziom gotowości

wdrożeniowej, ze względu na bezpośrednie zastosowanie wyników prac w przemyśle i gospodarce.

W obszarze technologii bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego opracowywane i doskonalone są zaawansowane, nowatorskie rozwiązania dostosowane do wysoce specjalistycznych potrzeb. Dynamiczny rozwój w tym obszarze obejmuje zarówno technologie przyrostowe jak i wyłaniające się. Rozwój technologii przyrostowych ukierunkowany jest na stopniowe doskonalenie istniejących rozwiązań poprzez systematyczne wdrażanie innowacyjnych produktów bazujących na nowej wiedzy. Badania przyrostowe prowadzone są w obrębie tematyki dotyczącej systemów technicznych wspomagających bezpieczeństwo obiektów i procesów produkcyjnych, w tym szczególnie w zakresie technicznych systemów zabezpieczeń z wykorzystaniem identyfikatorów elektronicznych oraz inteligentnych systemów monitorowania zużycia mediów energetycznych i technologicznych w obiektach technicznych.

Rozwijane technologie wyłaniające się dotyczą przede wszystkim nowatorskich systemów monitorowania i diagnozowania procesów i obiektów technicznych.

Dynamiczny rozwój badań w analizowanych obszarach determinowany jest istnieniem z jednej strony niezbędnego i kompetentnego potencjału kadrowego, stabilnej infrastruktury badawczej, innowacyjnych i gotowych wdrożeniowo wyników prac badawczo-rozwojowych, a z drugiej istnieniem efektywnych i dynamicznych mechanizmów transformacji wiedzy i transferu zaawansowanych rozwiązań technologicznych z sektora nauki do przemysłu. W aspekcie rozwoju kapitału intelektualnego kluczowe znaczenie odgrywa tworzenie interdyscyplinarnych zespołów badawczych skupiających specjalistów z różnych obszarów wiedzy, przykładowo w przypadku technologii materiałowych i nanotechnologii: m.in. z zakresu: inżynierii materiałowej, technologii informatycznych, fizyki, chemii oraz mechaniki, a w przypadku aparatury badawczej i testowej specjalistów m.in. z zakresu: elektroniki, modelowania matematycznego, informatyki i inżynierii systemów.

Krajowe jednostki naukowe i instytuty badawcze posiadają znaczące doświadczenie w opracowywaniu i budowie zaawansowanej technologicznie aparatury badawczej, często unikalnej w skali światowej. Obserwowane jest także, np. w zakresie technologii proekologicznych, istnienie w kraju korzystnych uwarunkowań regionalnych w odniesieniu do kadry badawczo-rozwojowej, wpływających na specjalizację w regionach, skupionych w szczególności wokół dużych przedsiębiorstw o kluczowym znaczeniu dla gospodarki.

Intensyfikacja prac badawczych realizowanych w krajowych ośrodkach naukowych i badawczych wymaga umiejętnego i racjonalnego kształtowania wysoko kwalifikowanego potencjału kadrowego oraz koncentracji środków finansowych na wybranych inwestycjach infrastrukturalnych.

W zakresie transformacji wiedzy i transferu technologii istnieje potrzeba intensyfikacji współpracy pomiędzy polskimi ośrodkami naukowymi oraz w skali międzynarodowej, a także wzmocnienie powiązań ośrodków naukowych z przemysłem.

Dynamiczny rozwój badań w analizowanych obszarach, przede wszystkim w zakresie bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego, technologii proekologicznych, racjonalizacji zużycia surowców i zasobów oraz odnawialnych źródeł energii determinowany jest także czynnikami o charakterze makroekonomicznym, w tym przede wszystkim pojawieniem się globalnych bądź regionalnych oddziaływań środowiskowych. Czynniki o charakterze makroekonomicznym warunkują także dynamiczny rozwój badań w zakresie technologii proekologicznych oraz specjalizowanej aparatury badawczej i testowej. Obejmują one między innymi procesy integracyjne i globalizacyjne oraz pojawienie się sytuacji kryzysowych o charakterze ekonomicznym i ekologicznym. Istotne znaczenie ma także wzrost świadomości ekologicznej społeczeństwa i, postępująca w ślad za tym, akceptacja dla konieczności ponoszenia kosztów ochrony środowiska. W niektórych przypadkach kierunki rozwoju technologii determinowane są wystąpieniem klęsk ekologicznych, żywiołowych i zdarzeń losowych.

Dodatkowy czynnik, istotny przede wszystkim w aspekcie rozwoju technologii mechatronicznych i systemów sterowania obejmuje ułatwienia w tworzeniu partnerstwa publiczno-prywatnego w zakresie przedsiębiorczości innowacyjnej, którego wpływ jest szczególnie istotny w przypadku rozwoju innowacyjnych technologii adresowanych do wytypowanych odbiorców przemysłowych, na potrzeby zaawansowanej i wysokowydajnej kontroli jakości wyrobów.

Badania prowadzone we wskazanych kierunkach oraz opracowywane i wdrażane w ich ramach technologie mają pozytywny wpływ na rozwój gospodarki przede wszystkim w aspekcie ekologicznym i społecznym oraz jednocześnie charakteryzują się wysokim poziomem interdyscyplinarności. Opracowanie i wdrożenie technologii skutkuje też osiągnięciem efektów ekonomicznych, jednakże w przypadku niektórych rozwiązań technologicznych, przede wszystkim w odniesieniu do znacznej grupy technologii proekologicznych występuje pozorna przewaga kosztów nad bezpośrednimi korzyściami finansowymi, rozpatrywanymi w krótkookresowym horyzoncie czasowym.

Scenariusz dynamicznego rozwoju kwalifikacji i kompetencji

Zaawansowane technologie materiałowe i nanotechnologie oraz systemy techniczne wspomagające ich projektowanie i aplikacje generują rozwój interdyscyplinarnych kwalifikacji i kompetencji personelu naukowo-badawczego oraz kadry dydaktycznej i innych specjalistów, do których w szczególności należą: inżynier inżynierii materiałowej oraz specjalista zastosowań informatyki. W tym obszarze szczególnego znaczenia nabiera wiedza i umiejętności w dziedzinach takich jak: fizyka, chemia, inżynieria materiałowa, fizyka plazmy, elektronika.

Wymagana wiedza szczegółowa dotyczy między innymi: hybrydowych technologii obróbki powierzchniowej, łączenia właściwości warstw hybrydowych oraz zwiększania odporności korozyjnej i tribologicznej powłok.

Kompetencje osobowościowe i uzdolnienia przydatne w pracy z zaawansowanymi technologiami materiałowymi i nanotechnologiami to przede wszystkim: zdolność komunikowania się i pracy w zespole, zdolność analizowania sytuacji oraz rozwiązywania problemów, samodzielność i samokontrola, kreatywność techniczna oraz innowacyjność, zdolność dostrzegania złożonych zjawisk i zależności przyczynowo-skutkowych.

Interdyscyplinarny charakter technologii materiałowych i nanotechnologii powoduje, że struktury kwalifikacji powinny być opracowywane poprzez modyfikację istniejących kwalifikacji w obszarze różnych nauk podstawowych i technicznych. Szczególnie wskazany jest rozwój modułowych struktur kształcenia i doskonalenia zawodowego. Moduły te mogą dotyczyć takich obszarów jak: nanochemia, nanomateriały, nanobiotechnologia, nanoelektronika i nanooptyka. Moduły szkoleń ustawicznych powinny być ze sobą powiązane w celu umożliwienia budowania elastycznych programów nauczania.

Technologie mechatroniczne i systemy sterowania do wspomagania procesów wytwarzania i eksploatacji generują rozwój interdyscyplinarnych kwalifikacji i kompetencji personelu naukowo-badawczego i kadry dydaktycznej, które są powiązane w szczególności z takimi dyscyplinami naukowymi jak: automatyka i robotyka, technologia budowy i eksploatacji maszyn, metrologia, mechatronika, systemy sterowania, inżynieria systemów, informatyka, automatyka przemysłowa, systemy teleinformatyczne, opto-mechatronika, optyczna inspekcja, teleinformatyka.

Do zawodów, które w szczególności powinny być rozwijane na użytek tego obszaru tematycznego w przyszłości należą: inżynier mechatronik, inżynier automatyki i robotyki, inżynier elektronik, inżynier mechanik, inżynier systemów i sieci komputerowych, inżynier bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej inżynier awionik, inżynier elektryk –

automatyk, i specjalista do spraw rozwoju oprogramowania systemów informatycznych, specjalista zastosowań informatyki, inżynier urządzeń zabezpieczenia i sterowania ruchem kolejowym, nanotechnolog, inżynier inżynierii środowiska, oraz nowy zawód – inżynier ds. produktów mechatronicznych, jak również: technik mechatronik, technik elektronik, technik elektryk, technik informatyk, technik mechanik, technik metrolog, technolog inżynierii telekomunikacyjnej.

Specjaliści o profilu mechatronicznym powinni posiadać kompetencje, które obejmują: uzdolnienia naukowe, informatyczne, techniczne i organizacyjne, zdolność analizowania sytuacji oraz rozwiązywania problemów, wyobraźnię i myślenie twórcze, zdolność dostrzegania złożonych zjawisk i zależności przyczynowo-skutkowych, gotowość ustawicznego uczenia się i dzielenia się wiedzą, zdolność komunikowania się i pracy w zespole, odporność emocjonalną, operatywność i skuteczność, sumienność, zaangażowanie, otwartość na zmiany; dokładność i dbałość o jakość pracy, samodzielność i samokontrolę, świadomość roli transferu wiedzy, kreatywność techniczną oraz nastawienie na innowacje, myślenie interdyscyplinarne i systemowe w kontekście zrównoważonego rozwoju. Ważne są również kompetencje menadżerskie dotyczące budowania zespołu badawczego, zarządzania procesami i projektami, zarządzania zmianą oraz nastawienie na wdrażanie i komercjalizację wyników badań.

Wymagania w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji inteligentnych systemów mechatronicznych prowadzi będą w przyszłości również do powstawania nowych specjalności. Dotyczą one istniejących zawodów uzupełnionych treściami z zakresu mechatroniki.

Wprowadzenie nowych zawodów o profilu mechatronicznym stwarza określone konsekwencje dla rynku pracy. Nowe zawody spowodują zwiększenie podaży nowych specjalistów, którzy będą bardziej konkurencyjni dla pracodawców. Nie należy jednak spodziewać się gwałtownego ich naboru, zarówno z powodu wciąż niskiej świadomości oraz niewystarczającej wiedzy mechatronicznej pracodawców. Tym niemniej przygotowywanie specjalistów w zawodach mechatronicznych ma szerokie znaczenie ogólnospołeczne, gdyż przyczynia się do rozwoju gospodarki.

Specjalizowana aparatura badawcza i testowa generuje rozwój kwalifikacji i kompetencji personelu naukowo-badawczego i kadry dydaktycznej we wszystkich rodzajach działalności zawodowej. Twórcy specjalistycznej aparatury badawczej i testowej powinni posiadać interdyscyplinarne przygotowanie z zakresu nauk technicznych, a w szczególności takich dyscyplin naukowych jak: automatyka i robotyka, technologia budowy i eksploatacji maszyn, metrologia, ekologia, inżynieria ochrony środowiska, informatyka, inżynieria materiałowa, a także z zakresu nauk humanistycznych, medycznych i ochrony pracy ze względu na istotę czynnika ludzkiego.

Potrzebna jest również wysoce wyspecjalizowana, interdyscyplinarna i najnowsza wiedza w takich dziedzinach jak: elektronika, automatyka, modelowanie matematyczne, informatyka i inżynieria systemów, fizyka kwantowa i zaawansowane modelowanie matematyczne, obejmująca krytyczne rozumienie teorii i zasad, w tym dotycząca badań właściwości elektrycznych, magnetycznych, optycznych, mechanicznych nanostruktur (nanorurek, nanowłókien, nanokryształów, fulerenów). Specjalistyczne umiejętności dotyczą rozwiązywania złożonych i nieprzewidywalnych problemów z zakresu: wysokorozdzielczej mikroskopii z sondami skanującymi, a w szczególności zaawansowanej aparatury pomiarowej do badania właściwości elektrycznych i magnetycznych nanostruktur oraz dotyczących monitorowania stanu środowiska i wykrywania zanieczyszczeń, w aparaturze do badań materiałów wielopowłokowych i kompozytowych, w hybrydowych wielofunkcyjnych systemach pomiarowych do badań destrukcji materiałów i obiektów technicznych.

Do zawodów, które w szczególności powinny być rozwijane na użytek tego obszaru tematycznego w przyszłości należą: biochemik, inżynier biocybernetyki i inżynierii biome-

dycznej, inżynier elektroenergetyk, inżynier mechatronik, inżynier mechatronik – mechanika precyzyjna, inżynier mechatronik – technologia mechaniczna, inżynier mechatronik – maszyny i urządzenia przemysłowe, inżynier inżynierii materiałowej, inżynier automatyki i robotyki, inżynier elektronik, inżynier mechanik, inżynier technologii cerami, inżynier technologii szkła, inżynier telekomunikacji, nanotechnolog, optoelektronik, specjalista do spraw ergonomii i projektowania form użytkowych, jak również: technik analityk, technik elektroniki medycznej, technik mechatronik, technik elektronik, technik elektryk, technik informatyk, technik mechanik, technik technologii chemicznej, technik metrolog, technolog inżynierii telekomunikacyjnej.

Technologie proekologiczne, racjonalizacji zużycia surowców i zasobów oraz odnawialnych źródeł energii stanowią ważne ogniwo transferu wiedzy do edukacji dla zrównoważonego rozwoju kraju. Zdobywanie wiedzy, umiejętności i kompetencji o tematyce proekologicznej wykazuje stały progres rozwojowy. Na kierunkach technicznych powinno być oferowane kompleksowe, interdyscyplinarne przygotowanie zawodowe oraz specjalistyczny komponent nawiązujący do innowacyjnych technologii proekologicznych. Szczególne wysiłki należy kierować na propagowanie umiejętności związanych z wiedzą o środowisku naturalnym i jego ochroną w powiązaniu z zasadami zrównoważonego rozwoju.

Do rozwijania technologii proekologicznych potrzebna jest specjalistyczna interdyscyplinarna wiedza z takich dziedzin jak: chemia, fizyka, inżynieria procesowa, ekologia, biotechnologia i nanotechnologia.

Natomiast do zawodów, które w szczególności powinny być rozwijane na użytek tego obszaru tematycznego w przyszłości należą: biochemik, biotechnolog, chemik, chemik – technologia chemiczna, ekolog, inspektor ochrony środowiska, inżynier inżynierii chemicznej, inżynier technologii chemicznej, laborant chemiczny, specjalista ochrony środowiska, technik analityk, technik ochrony środowiska oraz nowy zawód – inżynier ds. produktów proekologicznych.

Pracownik naukowo-badawczy w tym obszarze powinien dysponować w szczególności wiedzą ogólną dotyczącą fizyki ciała stałego i cieczy, chemii fizycznej, ekologii, inżynierii chemicznej i procesowej, ekotoksykologii, chemii, biotechnologii, a także wiedzą specjalistyczną z zakresu: kluczowych problemów ekologicznych, technologii na rzecz ochrony środowiska, metod zarządzania zasobami wodnymi, technologii usuwania i unieszkodliwiania substancji szczególnie szkodliwych lub toksycznych, technik membranowych, technologii charakteryzujących się niskim zapotrzebowaniem energetycznym, nowoczesnych technologii pozyskiwania i wykorzystania paliw odnawialnych, w tym biodegradowalnych odpadów przemysłowych, technologii wykorzystujących surowce naturalne oraz pochodzące z recyklingu materiałowego

Preferowane dla tego obszaru tematycznego kompetencje społeczne i personalne przewidują rozwój i doskonalenie umiejętności zarządzania złożonymi technicznymi przedsięwzięciami lub projektami oraz autonomicznego działania. Ponadto korzystne jest posiadanie uzdolnień naukowych, informatycznych, technicznych i organizacyjnych oraz wykazywanie się kreatywnością naukowo-badawczą, innowacyjnością, myśleniem interdyscyplinarnym i systemowym w kontekście zrównoważonego rozwoju. Ważne jest również dostrzeganie złożonych zjawisk i zależności przyczynowo-skutkowych oraz odpowiedzialność proekologiczna.

Rozwój **technologii w obszarze bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego** jest ściśle zintegrowany ze wzrostem wymagań w zakresie kwalifikacji i kompetencji potencjalnych pracowników zatrudnionych w tych obszarach, w szczególności kadr naukowo-badawczych i dydaktycznych. Na wszystkich poziomach kształcenia, a także we wszystkich rodzajach działalności zawodowej pojawia się konieczność interdyscyplinarnego wykorzystania przez pracowników wiedzy z zakresu nauk technicznych, a w szczególności takich dyscy-

plin naukowych jak: mechanika, fizyka, chemia, elektronika, informatyka, kosmonautyka, inżynieria bezpieczeństwa, a także z zakresu nauk humanistycznych, medycznych i ochrony pracy.

Do zawodów, które w szczególności powinny być rozwijane na użytek tego obszaru tematycznego w przyszłości należą: biochemik, chemik – technologia chemiczna, inspektor dozoru technicznego, inspektor ochrony środowiska, inżynier budownictwa, inżynier elektroenergetyk, inżynier mechanik, inżynier organizacji i planowani produkcji, inżynier utrzymania ruchu, nanotechnolog, nawigator lotniczy, specjalista ochrony środowiska, technik analityk, technik ochrony środowiska, technik budownictwa, technik elektroenergetyk, technik elektronik, technik elektryk, technik energetyk, technik gazownictwa, technik inżynierii środowiska i melioracji, technik mechanik, technik mechatronik, technik pożarnictwa, technik technologii chemicznej oraz nowy zawód – inżynier ds. produktów w obszarze bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego.

Należy tworzyć i promować centra kształcenia, szkolenia i wymiany dobrych praktyk w obszarze bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego. Taka strategia koncentracji wysiłków edukacyjnych może okazać się skuteczna w początkowym okresie rozwoju zaawansowanych. Środki finansowe mogą być wtedy wydane bardziej celowo, a jakość kształcenia i szkolenia łatwiejsza do monitorowania i oceny.

Preferowane kompetencje osobiste i społeczne w tym obszarze tematycznym obejmują: zdolność analizowania sytuacji oraz rozwiązywania problemów, myślenia twórczego, zdolność dostrzegania złożonych zjawisk i zależności przyczynowo-skutkowych, zdolność radzenia sobie ze stresem, gotowość ustawicznego uczenia się i dzielenia się wiedzą, zdolność komunikowania się i pracy w zespole; odporność emocjonalną, operatywność i skuteczność; sumienność; zaangażowanie, otwartość na zmiany; dokładność i dbałość o jakość pracy, samodzielność i samokontrolę, świadomość roli transferu wiedzy, kreatywność techniczną oraz nastawienie na innowacje, myślenie interdyscyplinarne i systemowe w kontekście zrównoważonego rozwoju, a także zdolność przeciwdziałania zagrożeniom w zakresie bezpieczeństwa technicznego i ekologicznego.

Scenariusz stabilizacji rozwoju technologicznego

Stabilny rozwój realizowany jest w wielu kierunkach w obszarze zaawansowanych technologii materiałowych, technologii proekologicznych, racjonalizacji zużycia surowców i zasobów oraz odnawialnych źródeł energii, a także technologii mechatronicznych i systemów sterowania. Ponadto rozwój w ograniczonym zakresie obejmuje wybrane kierunki w zakresie bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego, a także specjalizowanej aparatury badawczej i testowej.

Technologie materiałowe i nanotechnologie charakteryzuje stały stabilny rozwój dotyczący istniejących rozwiązań technologicznych, prowadzenie prac w dotychczas realizowanych kierunkach obejmujących wyłącznie technologie przyrostowe. Sytuacja taka spowodowana jest przede wszystkim bardzo wysokimi kosztami wiążącymi się z rozwijaniem nowych kierunków badań w zakresie technologii materiałowych i nanotechnologii, co z kolei wynika z konieczności stosowania unikatowych, bardzo drogich urządzeń.

Realizowany rozwój dotyczy przede wszystkim rozwiązań w zakresie technologii podwyższania jakości i trwałości narzędzi oraz zwiększania trwałości elementów wytwarzanych na potrzeby różnych przemysłów. Badania przyrostowe prowadzone są w zakresie powłok i warstw do szczególnie wymagających zastosowań wytwarzanych metodami inżynierii powierzchni oraz hybrydowych procesów wytwarzania warstw i powłok.

Rozwój **technologii mechatronicznych i systemów sterowania** także charakteryzuje kontynuacja prac w dotychczas prowadzonych kierunkach, umiarkowana dynamika i ukierunkowanie na stopniowe doskonalenie istniejących rozwiązań poprzez systematyczne wdrażanie innowacyjnych produktów bazujących na nowej wiedzy.

Kontynuowany jest rozwój technologii, które nie są uznawane za najbardziej priorytetowe z punktu widzenia ich wpływu na zrównoważony rozwój gospodarki w aspekcie środowiskowym, ekologicznym i ekonomicznym. Jednocześnie, rozwijane technologie cechuje wysoki poziom gotowości technologicznej, co zapewnia wysokie prawdopodobieństwo ich opracowania zakończonego sukcesem komercyjnym.

Rozwój technologii mechatronicznych i systemów sterowania bardzo pozytywnie oddziałuje na gospodarkę w wielu jej obszarach. Wysoki poziom naukowy i techniczny cechujący rozwijane technologie, ich interdyscyplinarny charakter, wielokierunkowe możliwości aplikacyjne oraz potencjalnie wysoka atrakcyjność ekonomiczna przedsięwzięć wdrożeniowych wpływają na pobudzanie inicjatywy realizatorów i przedsiębiorców.

Stale rosnące zapotrzebowanie ze strony przemysłu i pozostałych obszarów gospodarki na zaawansowane rozwiązania wykorzystujące technologie mechatroniczne i systemy sterowania potwierdza, że wytypowane kierunki badań odpowiadają w pełni długookresowym prognozom rozwoju gospodarki.

Najbardziej intensywny rozwój dotyczy rozwiązań z zakresu technologii i systemów optomechatronicznych, w tym przede wszystkim systemów monitorowania wytwarzania zespołów materiałowych z wykorzystaniem metody wizyjnej i termowizji oraz specjalizowanych technologii i urządzeń mechatronicznych, w tym robotów do zastosowań medycznych, wykorzystujących zaawansowane komputerowe systemy sterowania.

Stabilny rozwój obejmuje także wybrane obszary badań w zakresie specjalizowanej aparatury badawczej i testowej, technologie proekologiczne oraz bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego.

Rozwój technologii w obszarze **specjalizowanej aparatury badawczej i testowej** charakteryzuje przede wszystkim kontynuacja prac w dotychczas prowadzonych kierunkach badań i ukierunkowanie na doskonalenie istniejących rozwiązań, co przekłada się na umiarkowaną dynamikę rozwoju. Technologie przyrostowe stanowią dominującą grupę technologii charakteryzujących się stosunkowo nieznacznymi, jakościowymi zmianami w dłuższym horyzoncie czasowym. Wśród rozwijanych technologii znajdują się zarówno technologie o wysokim poziomie gotowości technologicznej, jak i średnim priorytecie spełnienia kryteriów zrównoważonego rozwoju. Doskonalona jest głównie aparatura do badań właściwości użytkowych materiałów i obiektów technicznych metodami niszczącymi. Kontynuowany jest także rozwój technik pomiarowych mniej istotnych dla zrównoważonego rozwoju gospodarki opartej na wiedzy. Wiele jednak z tych technik, np. aparatura do pomiarów sił poniżej atto-Newtonów, aparatura wykorzystująca promieniowanie synchrotronowe lub aparatura do badań kompozytowych, wykazuje wysoki poziom gotowości technologicznej, co daje szansę na ich opracowanie zakończone sukcesem i dynamiczny rozwój z chwilą zaistnienia sprzyjających okoliczności polegających między innymi na intensyfikacji rozwoju nanotechnologii i elektroniki polimerowej.

Silną pozycję zajmują krajowe jednostki badawcze, które dysponując odpowiednio wykwalifikowaną kadrą są w stanie podjąć prace rozwojowe ukierunkowane na modernizację już opracowanej i wykorzystywanej aparatury badawczej i testowej.

Warunek konieczny stabilnego rozwoju stanowi wzrost zapotrzebowania gospodarki na niedrogą, mobilną i łatwą w obsłudze aparaturę badawczą i testową oraz gotowość przemysłu do rozwijania innowacyjnych technologii i wyrobów. Stymulator rozwoju stanowią zmiany wymagań w normach dotyczące warunków prowadzenia badań, metod rejestracji wyników pomiarów, w szczególności w przypadku badań długookresowych trwających kilka miesięcy.

Zmiany dotyczą także stosowanych układów pomiarowych, metod regulacji oraz akwizycji danych pomiarowych i wynikają z rozwoju sensoryki, programowalnych układów logicznych, a także systemów informatycznych. Stosunkowo mała dynamika zmian cechuje funkcjonowanie, często rozproszonych i drogiej instalacji procesowych, np. wykorzystywanych w inżynierii materiałowej, przemyśle hutniczym lub rozproszonych, niemobilnych systemów monitorowania stanu zanieczyszczenia środowiska. W takich przypadkach wymiana aparatury dla całej instalacji jest nieuzasadniona ekonomicznie i niecelowa, a zdecydowanie korzystniejszym rozwiązaniem jest stopniowa wymiana wybranych modułów pomiarowych.

Rozwój **technologii proekologicznych** charakteryzuje kontynuacja prac w dotychczas prowadzonych kierunkach, mała dynamika i ukierunkowanie na doskonalenie istniejących rozwiązań. Analizowane technologie cechuje średni priorytet w aspekcie spełnienia kryteriów zrównoważonego rozwoju, a także wysoki i średni poziom gotowości technologicznej. Wiele rozwijanych i wprowadzanych rozwiązań wynika z konieczności spełnienia wymogów normatywnych dotyczących ochrony środowiska i ma charakter działań doraźnych i incydentalnych. Znaczenie drugorzędne odgrywają długoterminowe działania proekologiczne, chroniące środowisko dla przyszłych pokoleń i rozwijane są przede wszystkim technologie umożliwiające usuwanie i naprawianie już zaistniałych szkód w środowisku.

Najbardziej intensywny rozwój dotyczy rozwiązań o charakterze przyrostowym i ukierunkowany jest na doskonalenie istniejących rozwiązań poprzez stopniowe wdrażanie innowacyjnych pomysłów, bazujących na nowej wiedzy. Badania przyrostowe dotyczą ulepszania istniejących technologii lub ich implementacji w nowych zastosowaniach lub obszarach oraz opracowania rozwiązań innowacyjnych ważnych wdrożeniowo. Rozwijane są technologie racjonalizacji zużycia surowców i zasobów, a przede wszystkim: technologie recyklingu i utylizacji odpadów, technologie recyklingu kompozytów włókienniczych i termoplastycznych kompozytów polimerowych, techniczne systemy wspomaganie proekologicznej eksploatacji cieczy technologicznych, aplikacje technik membranowych w technologiach recyklingu i utylizacji, w szczególności wodnych cieczy technologicznych oraz ścieków, biotechnologiczne metody oczyszczania ścieków przemysłowych, niskoodpadowe technologie wytwarzania i regeneracji elementów maszyn i urządzeń, m.in. z zastosowaniem nanokompozytów polimerowych. Rozwijane są także proekologiczne technologie wytwarzania energii, w szczególności: technologie współspalania odpadów palnych z paliwami konwencjonalnymi oraz metody stabilizacji i poprawy właściwości użytkowych biopaliw. Towarzyszy temu rozwój systemów logistycznych w gospodarce odpadami i energią, w tym: systemy pomiarów on-line lotnych i stałych produktów spalania oraz urządzenia do ich realizacji. Równolegle rozwijane są technologie wytwarzania materiałów eksploatacyjnych o podwyższonych walorach ekologicznych, w szczególności specjalistycznych, ekologicznych cieczy eksploatacyjnych na bazie nietoksycznych, biodegradowanych komponentów naturalnych i syntetycznych.

Rozwój **technologii bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego** charakteryzuje kontynuacja prac w dotychczas prowadzonych kierunkach, stosunkowo niska dynamika i ukierunkowanie na doskonalenie istniejących rozwiązań. Następuje rozwój technologii, które nie są uważane za najbardziej priorytetowe z punktu widzenia ich wpływu na zrównoważony rozwój gospodarki w aspekcie środowiskowym, ekologicznym i ekonomicznym i które cechuje wysoki i bardzo wysoki poziom gotowości technologicznej. Ukierunkowanie prac na doskonalenie istniejących rozwiązań jest spowodowane koniecznością zachowania spójności istniejącej infrastruktury systemów bezpieczeństwa technicznego z nowymi technologiami opracowywanymi w ramach prac badawczo-rozwojowych. Technologie bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego charakteryzują się inercją wdrożeniową wynikającą z aspektów prawnych, procedur certyfikacyjnych oraz uwarunkowań mentalnych i edukacyjnych. Zjawiska te sprzyjają intensyfikacji prac w obszarach technologii przyrostowych, o dużej rozpo-

znawalności na rynku, w znacznej mierze już stosowanych. Technologie wyłaniające się oprócz barier technicznych muszą pokonać także ograniczenia pozamerytoryczne np. w aspektach prawnych, administracyjnych lub lobbystycznych.

Najbardziej intensywny rozwój dotyczy rozwiązań z zakresu systemów technicznych wspomagających bezpieczeństwo obiektów i procesów technicznych, w szczególności systemów testowania środków i urządzeń bezpieczeństwa technicznego w warunkach kontrolowanych zagrożeń oraz kontrolowanych warunkach środowiskowych, a także rozwiązań dotyczących systemów monitorowania i diagnozowania procesów i obiektów technicznych, w tym głównie rozwoju rozwiązań dotyczących układów wykonawczych do pracy w niebezpiecznych i szkodliwych procesach technologicznych oraz biometrycznych systemów zabezpieczeń oraz systemów zwiększających bezpieczeństwo ekologiczne, w szczególności metod utylizacji plastycznych środków smarowych. Przewidywany rozwój w wytypowanych kierunkach wynika z potrzeby zmniejszania ryzyka i skutków wypadków spowodowanych uszkodzeniem systemu technicznego lub działaniem sabotażowym.

Czynnik kluczowy determinujący stabilny rozwój badań w wytypowanych kierunkach stanowi przede wszystkim zwiększanie potencjału badawczego i technologicznego rozumianego jako zasoby kadry naukowej, badawczej i technicznej oraz baza laboratoryjna i infrastruktura techniczna instytucji badawczych oraz innowacyjnych przedsiębiorstw. W przypadku technologii mechatronicznych i systemów sterowania, poza potencjałem kadrowym istotny czynnik stanowią ułatwienia w tworzeniu partnerstwa publiczno-prywatnego.

Scenariusz stabilizacji rozwoju kwalifikacji i kompetencji

Sektor **zaawansowanych technologii materiałowych i nanotechnologii** jest ściśle powiązany z innymi sektorami i technologiami przemysłowymi. Dlatego specjaliści funkcjonujący w tym obszarze muszą rozwijać interdyscyplinarną wiedzę szczególnie w zakresie nauk ścisłych takich jak: fizyka, chemia i biologia, ale również nauk technicznych. Wymagana jest ugruntowana i specjalistyczna wiedza o cechach charakterystycznych materiałów i powierzchni w nanoskali, tak samo jak wiedza z mechaniki kwantowej, biologii molekularnej oraz chemia polimerów. Te szczególne dziedziny wiedzy ważne są zarówno dla osób o kwalifikacjach wysokich jak i średnich. Do najczęściej wymienianych kompetencji miękkich należą: automotywacja, odpowiedzialność, elastyczność oraz staranne wykonywanie pracy w sposób bezpieczny.

Nanotechnologia jako technologia produkcyjna jest obecnie w fazie przejściowej od badań na poziomie podstawowym lub nauk stosowanych do produkcji. Na tym etapie rozwoju mamy do czynienia z początkowymi próbami zdefiniowania wymagań w zakresie personelu wykwalifikowanego.

Zwłaszcza obecny zakres badań w nanotechnologii gwarantuje popyt na odpowiedni personel z wykształceniem na podstawowym poziomie uniwersyteckim.

Sektor nanotechnologii powiązany z innymi sektorami wymaga wiedzy interdyscyplinarnej, szczególnie w zakresie nauk ścisłych takich jak fizyka, chemia i biologia, ale również nauk inżynierskich. Dogłębną wiedza o cechach charakterystycznych materiałów i powierzchni w zakresie nanoskali wymagana jest tak samo jak obszary specjalistyczne, takie jak mechanika kwantowa, biologia molekularna, czy chemia polimerów. Te szczególne dziedziny ważne w aspekcie dla średnio i wysoko zaawansowanych umiejętności.

Od początku istnienia nanotechnologii opracowano już kilka standardów jakości. Jednakże praca z obiektami w nanoskali wymaga szczególnych warunków pracy, np.: czyste pomieszczenie, które wymaga bardzo wysokich standardów jakości. Zaliczamy tu również specjalną odzież ochronną oraz postępowanie ze specjalnymi materiałami i substancjami. To zaś generuje rozwój nowych umiejętności wymaganych na badawczych stanowiskach pracy.

W tym obszarze należy spodziewać się rozwoju kwalifikacji i kompetencji w zakresie marketingu i dystrybucji, ponieważ produkty i usługi nanotechnologiczne wymagają wielu objaśnień. Połączenie nanotechnologii, wiedzy kierowanej w stronę klienta i kompetencji rynkowych jest coraz bardziej wymagane.

Wraz z rozszerzeniem produkcji nanotechnologicznej istnieje szansa zmian strukturalnych w przedsiębiorstwach. Z powodu wysokiego poziomu automatyzacji, takie prace jak kontrola procesu, gwarancja jakości i dokumentacja będą stopniowo przydzielane wykwalifikowanym pracownikom z wykształceniem niższym od uniwersyteckiego. Nowe obszary działalności objawiają się w obszarach marketingu i sprzedaży.

Należy przewidzieć także rozwój badań nad profilami kwalifikacji i kompetencji dla prac wykonywanych w obszarze technologii materiałowych i nanotechnologii. Budowa profili kwalifikacji i kompetencji powinna być modułowa ukierunkowana na jednostki efektów uczenia się. Odpowiednie uznawanie stopni naukowych i tytułów zawodowych na poziomie międzynarodowym może być zagwarantowane poprzez wykorzystanie rozwijanego w Europie systemu punktów kredytowych ECTS oraz ECVET z wykorzystaniem procedur walidacji wiedzy i umiejętności uzyskanych na drodze nieformalnej i pozaformalnej oraz stosując się do wymagań Europejskich Ram Kwalifikacji opracowywanej aktualnie Polskiej Ramy Kwalifikacji.

Do tej pory nie poświęcono wiele uwagi szkoleniu (w tym ustawicznemu) w nanotechnologii na poziomie średnim. Wydaje się, że w przyszłości należy ten segment edukacji zawodowej zagospodarować elementarną wiedzą z obszaru nanotechnologii.

W najbliższym czasie będzie potrzebne zwiększenie publicznego odbioru i akceptacji nowych technologii po to, aby wypromować nanotechnologie jako kluczowe technologie XXI wieku i stworzyć warunki do zapewnienia wykwalifikowanego personelu.

W obszarze **mechatroniki i systemów sterowania** rozwój kwalifikacji i kompetencji personelu naukowo-badawczego i kadry dydaktycznej rokuje ustabilizowaną dynamikę zapotrzebowania. Przewidywane jest również utrzymanie dotychczasowego progresu rozwoju edukacji zawodowej w obszarze mechatroniki na poziomie wyższym, średnim i zasadniczym.

Uzyskiwanie specjalistycznej i zaawansowanej wiedzy oraz kształtowanie umiejętności rozwiązywania problemów odnosi się zwłaszcza do technologii i systemów optomechatronicznych, oraz specjalizowanych technologii i urządzeń mechatronicznych, Warunkiem koniecznym rozwoju technologii jest ustabilizowane zapotrzebowanie ilościowe na specjalistów (kadra naukowo-badawcza, personel dydaktyczny, konsumenci technologii) oraz wzrost jakości kształcenia, doskonalenia i doksztalcenia zawodowego w zakresie mechatroniki i systemów sterowania.

Rzeczywisty rozwój innowacyjnych technologii generuje potrzebę posiadania odpowiedniego personelu naukowo-badawczego z wykształceniem na podstawowym (inżynier, magister) i zaawansowanym (doktorat) poziomie akademickim. W ramach rozwijanych technologii należy spodziewać się wzrostu zapotrzebowania na specjalistów z zakresu projektowania, wdrażania i wykorzystania nowych technologii oraz komercjalizacji wyników prac naukowo-badawczych (np. specjaliści z zakresu sprzedaży licencji, patentów, idei biznesowych, szacowania skutków finansowych, uruchomienia produkcji, prognozowania ponoszonych kosztów i uzyskiwanych efektów ekonomicznych). Specjalizacje mechatroniczne na poziomie inżynierskim rozwijać należy poprzez studia podyplomowe i szkolenia specjalistyczne prowadzone na uczelniach przy udziale zaawansowanych w technologiach przemysłowych i edukacyjnych firm i ośrodków. Kompetencje inżynierskie w mechatronice powinny służyć realizacji całego szeregu celów związanych z produkcją.

W związku z bardzo szerokim zakresem dyscyplin zintegrowanych w obszarze mechatroniki, każda specjalizacja mechatroniczna może dotyczyć tylko określonego wycinka tech-

nologii. Tak więc, uzasadnione jest nazewnictwo odnoszące się do wykonywanych zadań pracowniczych, np. monter-mechatronik urządzeń przemysłowych lub monter-mechatronik urządzeń medycznych, czy technik-mechatronik obróbki skrawaniem lub technik-mechatronik diagnostyki samochodowej. Analogicznie dotyczy to również inżynierów.

W systemie szkolnym na poziomie akademickim i przedakademickim kształcenie mechatroniczne zapewniać powinno solidne podstawy wiedzy, umiejętności i kompetencji. mieć miejsce tylko w połączeniu z konkretnym środowiskiem pracy i doksztalcaniem w systemie pozaszkolnym. Proces doskonalenia zawodowego w mechatronice powinien uwzględniać zarówno posiadaną wiedzę i umiejętności, jak i nowe działy wiedzy i nowe sposoby rozwiązywania złożonych problemów inżynierskich.

W obszarze **specjalizowanej aparatury badawczej i testowej postrzegany** rozwój kwalifikacji i kompetencji personelu naukowo-badawczego i kadry dydaktycznej postrzegany jest jako kontynuacja prac w dotychczas prowadzonych kierunkach kształcenia.

Stymulatorem wzrostu wymagań kwalifikacyjnych w zakresie specjalistycznej wiedzy i umiejętności jest zapotrzebowanie gospodarki na wysoko kwalifikowaną kadrę inżynierską do obsługi aparatury badawczej i testowej oraz gotowość przemysłu do rozwijania innowacyjnych technologii i wyrobów. W tym zakresie potrzebna jest wysoce wyspecjalizowana, interdyscyplinarna i najnowsza wiedza w takich dziedzin jak: elektronika, automatyka, metrologia, informatyka będąca podstawą stabilnego rozwoju wyspecjalizowanych systemów pomiarowych do monitorowania procesów eksploatacyjnych oraz rozwiązywania problemów rozwoju technologii w obszarze aparatury badawczej i testowej.

Specjalistyczne umiejętności powinny umożliwić rozwiązywanie złożonych problemów w aparaturze do badań destrukcji materiałów i obiektów technicznych, do oceny jakości wyrobów i procesów technologicznych oraz do monitorowania stanu środowiska i wykrywania zanieczyszczeń. Umiejętności personelu dotyczą zapewnienia odpowiednich warunków prowadzenia badań, metod rejestracji wyników pomiarów, a także stosowania układów pomiarowych, metod regulacji oraz akwizycji danych pomiarowych wynikających z rozwoju sensoryki, programowalnych układów logicznych, a także systemów informatycznych.

Zakres posiadanych kompetencji społecznych i personalnych wynika ze strategii wykorzystywania potencjału intelektualnego pracowników. Dla pracowników opracowujących i obsługujących specjalizowaną aparaturę przewiduje się zarządzanie złożonymi technicznymi działaniami lub projektami. Specjalista z tego obszaru jest odpowiedzialny za rozwój zawodowy zespołu badawczego. Ważne są również uzdolnienia naukowe, informatyczne, techniczne i organizacyjne, kreatywność w działaniu, innowacyjność, myślenie interdyscyplinarne i systemowe w kontekście zaawansowanych technologii. Odpowiedzialny jest również za podejmowanie decyzji w sytuacjach problemowych, związanych z pracami badawczymi oraz za przyczynianie się do rozwoju wiedzy i doświadczenia zawodowego w dziedzinie specjalizowanej aparatury badawczej. Istotna jest również innowacyjność, autonomia, etyka naukowa i zawodowa.

Technologie proekologiczne, racjonalizacji zużycia surowców i zasobów oraz odnawialnych źródeł energii stabilnie wpływają na rozwój kwalifikacji i kompetencji specjalistów w tym obszarze. Generuje to ustabilizowany progres rozwoju edukacji zawodowej na użytek tego obszaru w szczególności na poziomie wyższym i średnim w edukacji formalnej i pozaformalnej.

Dla rozwijania tych technologii potrzebna jest wysoce wyspecjalizowana interdyscyplinarna i najnowsza wiedza w takich dziedzin jak: chemia, fizyka, inżynieria procesowa ekologiczna, biotechnologia, nanotechnologia oraz inne dziedziny nauki.

Do zawodów, które w szczególności powinny być wykorzystywane na użytek rozwijanych technologii należą: biochemik, biotechnolog, chemik, chemik – technologia chemiczna, ekolog, inspektor ochrony środowiska, inżynier inżynierii chemicznej, inżynier technologii

chemicznej, laborant chemiczny, specjalista ochrony środowiska, technik analityk, technik ochrony środowiska. Natomiast preferowane osobiste i społeczne kompetencje to: zdolność analizowania sytuacji oraz rozwiązywania problemów, wyobraźnia i myślenie twórcze, zdolność dostrzegania złożonych zjawisk i zależności przyczynowo-skutkowych, gotowość ustawicznego uczenia się i dzielenia się wiedzą, zdolność komunikowania się i pracy w zespole; odporność emocjonalna, operatywność i skuteczność; sumiennność; zaangażowanie, otwartość na zmiany; dokładność i dbałość o jakość pracy, samodzielność i samokontrola, świadomość roli transferu wiedzy, kreatywność techniczna oraz nastawienie na innowacje, myślenie interdyscyplinarne i systemowe w kontekście zrównoważonego rozwoju, odpowiedzialność proekologiczna. Ważne są również kompetencje menadżerskie dotyczące budowania zespołu badawczego, a także nastawienie na wdrażanie innowacyjnych rozwiązań oraz zarządzanie zmianą.

Na użytek rozwijanych technologii należy spodziewać się wzrostu rangi kształcenia pozaformalnego i nieformalnego. Obecny system edukacji nastawiony jest na edukację formalną, co skutkuje brakiem uregulowań prawnych, instytucjonalnych i proceduralnych uznających uczenie się pracownika w czasie pracy i w innych sytuacjach życiowych. Promocji proekologicznego kształcenia ustawicznego towarzyszyć musi jego rozwój, obejmujący przede wszystkim tworzenie i rozbudowę instytucji edukacji ustawicznej, oferujących programy i formy nauczania adekwatne do potrzeb i możliwości różnych specjalistów. Ponadto zasadne jest poszerzenie działalności edukacyjnej ośrodków transferu nowoczesnych technologii (np. parki technologiczne, centra transferu technologii, inkubatory przedsiębiorczości i inne) o zadania związane z kształceniem i szkoleniem na potrzeby innowacyjnych technologii proekologicznych.

Technologie bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego charakteryzuje stabilny rozwój oraz kontynuacja prac w dotychczas prowadzonych kierunkach badań. Przedkłada się to na kontynuację dotychczasowego rozwoju kwalifikacji i kompetencji specjalistów w tym obszarze oraz utrzymanie ilościowego zapotrzebowania na kształcenie i doskonalenie zawodowe na poziomie wyższym, średnim i zasadniczym.

Szczególne znaczenia nabierają specjalistyczna wiedza i umiejętności dotyczące metod i systemów gaszenia pożarów podpowierzchniowych, metod poprawy bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego w systemie wentylacji, technicznych systemów zabezpieczeń z wykorzystaniem identyfikatorów elektronicznych, metody utylizacji plastycznych środków smarowych.

Najbardziej intensywny rozwój kadry naukowo-badawczej dotyczy rozwiązań z zakresu systemów technicznych wspomagających bezpieczeństwo obiektów i procesów technicznych, a także rozwiązań dotyczących systemów monitorowania i diagnozowania procesów i obiektów technicznych. Rozwój kwalifikacji i kompetencji w wytypowanych kierunkach wynika z potrzeby zmniejszania ryzyka i skutków wypadków spowodowanych usterką systemu technicznego lub działaniami sabotażowymi.

W podstawowej ofercie kształcenia w szczególności należy eksponować wiedzę z zakresu: zagrożenia ekologiczne, bezpieczeństwo ekologiczne, technologie bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego, nowoczesne technologie bezpieczeństwa technicznego, bezpieczeństwo w procesie projektowania, wytwarzania i eksploatacji maszyn i urządzeń, instalacji technicznych, obiektów, służby ratownictwa technicznego, inżynieria bezpieczeństwa technicznego, ograniczenie do minimum skutków poważnej awarii w odniesieniu do ludzi, środowiska oraz wartości materialnych, projektowanie technologii, maszyn i urządzeń, w sposób zapewniający ich bezpieczne stosowanie. Kształtowane powinny być również kompetencje: zdolność komunikowania się i pracy w zespole, wyobraźnia i myślenie twórcze, kreatywność techniczna oraz innowacyjność. Od kandydatów do kształcenia oczekuje się zaś uzdolnień naukowych, informatycznych, technicznych i organizacyjnych.

Natomiast w szkoleniach specjalistycznych zasadne jest rozwijanie kwalifikacji i kompetencji dotyczących zintegrowanego zarządzania bezpieczeństwem, obejmującego m.in. działania w zakresie bezpieczeństwa technicznego, pożarowego, wybuchowego i ekologicznego oraz higieny pracy oraz monitorowania procesów i identyfikacji zagrożeń. Ciągłe doskonalenie systemów zarządzania bezpieczeństwem powinno stać się priorytetem dla kierownictwa zakładów przemysłowych.

Podsumowanie

Efekt zaprezentowanych prac zrealizowanych w ramach sektorowego projektu foresight „Zaawansowane technologie przemysłowe i ekologiczne dla zrównoważonego rozwoju kraju” stanowią scenariusze dynamicznego rozwoju i stabilizacji obejmujące tematykę wszystkich obszarów tematycznych ważnych dla zaawansowanego rozwoju gospodarki: specjalizowanej aparatury badawczej i testowej, technologii mechatronicznych i systemów sterowania, zaawansowanych technologii materiałowych i nanotechnologii, a także technologii proekologicznych oraz technologii bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego.

Opracowane scenariusze wskazują kierunki rozwoju badań oraz kwalifikacji i kompetencji w obszarze zaawansowanych technologii przemysłowych i ekologicznych. Przedstawione scenariusze dynamicznego i stabilnego rozwoju wskazują na bardzo pozytywne oddziaływanie tej zaawansowanych technologii na gospodarkę w wielu jej obszarach. Wynika to z wysokiego poziomu naukowego i technicznego cechującego rozwijane technologie oraz ich interdyscyplinarnego charakteru i wielokierunkowych możliwości aplikacyjnych.

Jednym z kluczowych wyzwań dla polskiego szkolnictwa wyższego, średniego i zasadniczego jest tworzenie warunków do pozyskiwania wiedzy, umożliwiającej rozwój kwalifikacji i kompetencji na użytek zaawansowanych technologii przemysłowych i ekologicznych. Tworzenie innowacyjnych technologii w tym zakresie oraz umiejętność ich wdrażania jest najlepszym dowodem na jakość kapitału intelektualnego. Jednakże uwarunkowane jest to ściśle współpracą sektora nauki z przemysłem oraz sferą edukacji zawodowej.

Istnieje potrzeba modernizacji systemu kształcenia i doskonalenia zawodowego w takim zakresie, aby zapewnić zdobywanie wiedzy, umiejętności i kompetencji na kierunkach technicznych i informatycznych, oferując jednocześnie absolwentom kompleksowe, interdyscyplinarne przygotowanie zawodowe oraz specjalistyczny komponent nawiązujący do technologii przyrostowych i wyłaniających się w obszarze mechatroniki. Kierunki te stanowią podstawę do rozwoju kwalifikacji poszukiwanych w sektorach zaawansowanych technologii przemysłowych i ekologicznych.

Trendy krajowe i światowe wskazują, że problematyka rozwoju kwalifikacji i kompetencji specjalistów z obszaru zaawansowanych technologii przemysłowych i ekologicznych wynika z polityk gospodarczych i edukacyjnych. Szczególna rola przypisana jest tworzeniu zintegrowanego, stojącego na wysokim poziomie systemu kształcenia w obszarze na poziomie wyższym, co ma znaczenie dla podniesienia poziomu wykształcenia technicznego, tworzenia nowych miejsc pracy, wzrostu efektywności produkcji i rozwoju ekonomicznego całego kraju.

Proponowane w scenariuszach technologicznych rozwiązania generują zapotrzebowanie na rozwój dotychczasowych i nowych kierunków kształcenia zawodowego, doskonalenie treści i metod kształcenia oraz unowocześnienia kompetencji personelu naukowo-badawczego oraz kadry dydaktycznej uczestniczącej w edukacji specjalistów zaawansowanych technologii przemysłowych i ekologicznych.

Wskazane w scenariuszach priorytetowe kierunki badań, a w ich ramach technologie przyrostowe i wyłaniające się stanowią tematykę, które powinna być wprowadzana do reali-

zacji w ramach podejmowanych projektów badawczych. Odpowiednią formułę stanowią strategiczne programy badawcze realizowane w skali całego kraju. Zakłada się, że w przyszłości będą jednocześnie współistnieć dwa typy programów badawczych: wysoce specjalistyczne programy badawcze o tematyce zawężonej do wybranego obszaru tematycznego, o bardzo wysokim poziomie szczegółowości i zakładających zaangażowanie wszystkich kluczowych ośrodków naukowych specjalizujących się w danej dziedzinie oraz interdyscyplinarne programy badawcze, których tematyka obejmie wiele dziedzin wzajemnie się przenikających i uzupełniających. Sukcesy jednostek naukowych i badawczych zależą od włączenia się w badania w obu wymienionych nurtach, ale także od opracowania i implementacji skutecznych procedur transformacji uzyskanych wyników badań naukowych do zastosowań przemysłowych w formie zaawansowanych technologii procesowych i produktowych.

Zaproponowane w projekcie priorytetowe kierunki badań i technologie zostały uwzględnione w programie strategicznym „Innowacyjne systemy wspomagania technicznego zrównoważonego rozwoju gospodarki” zaakceptowanym do realizacji w latach 2010–2014 w ramach europejskich funduszy strukturalnych Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, którego zadania badawcze, dotyczące przede wszystkim technologii przyrostowych realizowane są z uwzględnieniem perspektywy krótkookresowej (3–5 lat). Pakiet zagadnień ukierunkowany na wygenerowanie priorytetowych kierunków badawczych w perspektywie długoterminowej (10–15 lat), obejmujących przede wszystkim technologie wyłaniające się, zaplanowano do uwzględnienia w przygotowywanym, w perspektywie kilkuletniej, kolejnym programie strategicznym „Zaawansowane technologie przyszłości dla zrównoważonego rozwoju kraju”.

Bibliografia

1. CEDEFOP, A bridge to the future – European policy for vocational education and training 2002-10, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010.
2. CEDEFOP, Skills for Green Job – European Synthesis Report, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010.
3. CEDEFOP, Skills supply and demand in Europe – Medium-term forecast up to 2020, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010.
4. CEDEFOP, The skill matching challenge. Analysing skill mismatch and policy implications, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2010.
5. EUROPA 2020. Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu. Komunikat Komisji Europejskiej, Bruksela, 3.3.2010, KOM(2010).
6. Europa efektywnie korzystająca z zasobów – inicjatywa przewodnia strategii „Europa 2020”. Komunikat Komisji Europejskiej do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. KOM(2011) 21. Bruksela, dnia 26.1.2011 r.
7. Fabińska M., Kubiak K.: Trendy rozwoju kapitału intelektualnego oraz kwalifikacji i kompetencji w innowacyjnej gospodarce. Projekt PO IG Zaawansowane technologie przemysłowe i ekologiczne dla zrównoważonego rozwoju kraju, Radom – Łódź 2010.
8. Future skill needs in Europe Medium – term forecast. Synthesis Report, CEDEFOP, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2008.
9. G. Bruntland (red.), Our common future: The World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, Oxford, 1987
10. Gierszewska G., M. Romanowska, Analiza strategiczna przedsiębiorstwa, PWE Warszawa 2009, s. 199-212
11. Godet M., From anticipation to action, A handbook of strategic prospective, UNESCO Publishing, 1994.
12. Higher Education to 2030. OECD 2008.
13. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, "Przygotowanie się na przyszłość: opracowanie wspólnej strategii w dziedzinie kluczowych technologii wspomagających w UE, Komisja Wspólnot Europejskich,

KOM(2009) 512

14. Krajowy program Badań Naukowych i Prac Rozwojowych. Narodowe Centrum Badań i Rozwoju; <http://www.ncbir.gov.pl/?lang=pl&varid=54>
15. Martin B., Foresight in Science and Technology, Technology Analysis and Strategic Management, vol. 7, 1996, s. 139–168.
16. Mazurkiewicz A. (red.) Techniczne wspomaganie zrównoważonego rozwoju gospodarki. Kierunki badawcze i aplikacyjne, ITeE-PIB, Radom 2011.
17. Mazurkiewicz A., A. Sacio-Szymańska, B. Poteralska, K. Symela, Raport „Mapy technologii w obszarze zrównoważonego rozwoju” opracowany w ramach projektu „Zaawansowane technologie przemysłowe i ekologiczne dla zrównoważonego rozwoju kraju”, Radom 2010.
18. Mazurkiewicz A., i in. Raport „Scenariusze zintegrowane rozwoju technologicznego i społecznego w obszarze zrównoważonego rozwoju”, Radom 2010.
19. Mazurkiewicz A., in. Raport „Charakterystyki technologii” opracowany w ramach projektu „Zaawansowane technologie przemysłowe i ekologiczne dla zrównoważonego rozwoju kraju”
20. Mazurkiewicz A., Poteralska B., Sacio-Szymańska A.; Łabędzka J.: Zintegrowane scenariusze rozwoju technologicznego. W: Zaawansowane technologie przemysłowe i ekologiczne dla zrównoważonego rozwoju kraju. Wybrane zagadnienia. ITeE – PIB, Radom 2011
21. Nowe myślenie o miejscu pracy. Przewidywanie wymogów rynku pracy i potrzeb w zakresie umiejętności oraz ich wzajemnego dopasowania; Rada Unii Europejskiej, Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Społecznego, 6479/09 , Bruksela 2009.
22. Polska 2030. Wyzwania rozwojowe. Kancelaria Prezesa Rady Ministrów, Zespół Doradców Strategicznych, Warszawa 2009.
23. Priorytetowe kierunki badawcze; Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego; <http://www.nauka.gov.pl/>
24. Prognoza na lata 2008 – 2035, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2009.
25. Projekt przewodni strategii Europa 2020 „Unia innowacji”; Komunikat Komisji Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-społecznego oraz Komitetu Regionów. Bruksela 6.10.2010 r. COM(2010)546
26. Proponowane kierunki rozwoju nauki i technologii w Polsce do 2020 roku”; Ministerstwo Nauki i Informatyzacji, Departament Strategii i Rozwoju Nauki; Warszawa, 2004.
27. Przygotowanie się na przyszłość: opracowanie wspólnej strategii w dziedzinie kluczowych technologii wspomagających w UE. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. KOM(2009) 512, Bruksela. 30.09.2009.
28. Renewed EU sustainable development strategy. Council of the European Union, Brussels, 2006.
29. Rogut A., B. Piasecki: Pozycja konkurencyjna Polski w obszarze zrównoważonego rozwoju. Raport z realizacji zadania Mocne i słabe strony. Łódź 2010.
30. Uwarunkowania przyszłego rozwoju szkolnictwa wyższego w Polsce: globalizacja, demografia, zmiany społeczno-gospodarcze w Polsce; raport cząstkowy, IBnGR , Ernst& Young, Gdańsk 2009.
31. Zintegrowana polityka przemysłowa w erze globalizacji. Konkurencyjność i zrównoważony rozwój na pierwszym planie. Komunikat Komisji Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego oraz Komitetu Regionów. Bruksela 28.10.2010 r. COM(2010)614

Załącznik:**Scenariusze rozwoju technologicznego i społecznego dla analizowanych obszarów tematycznych**

Scenariusze dynamicznego rozwoju technologii oraz kwalifikacji i kompetencji oraz scenariusze stabilizacji w obszarach:

- Specjalizowana aparatura badawcza i testowa
- Technologie mechatroniczne i systemy sterowania do wspomaganie procesów wytwarzania i eksploatacji
- Zaawansowane technologie materiałowe i nanotechnologie oraz systemy techniczne wspomagające ich projektowanie i aplikacje
- Technologie proekologiczne, racjonalizacja zużycia surowców i zasobów oraz odnawialne źródła energii
- Technologie bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego

Specjalizowana aparatura badawcza i testowa

Scenariusz dynamicznego rozwoju technologii oraz kwalifikacji i kompetencji

Założenia:

- tendencja wzrostowa zidentyfikowanych czynników kluczowych
 - a – poziom zapotrzebowania gospodarki na aparaturę badawczą i testową*
 - b – poziom innowacyjności i gotowości wdrożeniowej wyników prac naukowo-rozwojowych*
 - c – gotowość przemysłu do rozwijania innowacyjnych technologii i wyrobów*przy wysokim prawdopodobieństwie wystąpienia tej tendencji,
- wysoki priorytet technologii,
- wysoki poziom gotowości technologicznej technologii.

W obszarze specjalizowanej aparatury badawczej i testowej, na bazie odkryć naukowych i materiałowych rozwijane są nowatorskie techniki pomiarowe należące do grupy technologii wyłaniających się. Wykorzystywane są one w początkowej fazie istnienia, głównie w empirycznych badaniach naukowych, by następnie ewoluować ze sfery nauki do praktyki gospodarczej. Technologie wyłaniające się silnie oddziałują na innowacje techniczne, a ponadto cechuje je „skokowy” progres przekładający się zwykle na dużą dynamikę w rozwoju aparatury badawczej i testowej, stwarzając możliwość uzyskania przewagi konkurencyjnej. Jednocześnie technologie te charakteryzuje wysoki poziom gotowości technologicznej. W ramach rozwoju aparatury badawczej obserwowane są dwa uzupełniające się trendy. W ramach pierwszego „odkrycie naukowe – zastosowanie laboratoryjne – wykorzystanie w przemyśle” rozwijane jest instrumentarium i metody pomiarowe, do monitorowania on-line procesów próżniowo-plazmowych oraz do badań syntez nanoproszków. Uzasadnieniem dla tej prognozowanej ścieżki dynamicznego rozwoju instrumentarium pomiarowego są udokumentowane przykłady dotyczące między innymi rozwoju metod spektroskopii oraz mikroskopii skaningowej.

Drugi trend obejmuje ścieżkę „zapotrzebowanie ze strony przemysłu – opracowanie techniki pomiarowej – zastosowanie laboratoryjne – wykorzystanie przemysłowe” stymulującą rozwój aparatury badawczej i testowej, m.in. rozproszonych bezprzewodowych systemów pomiarowych do monitorowania stanu eksploatacyjnego linii technologicznych oraz dużych, a także rozproszonych obiektów technicznych. W ramach tego trendu prognozuje się rozwój technologii przyrostowych. Badania przyrostowe dotyczą rozwoju istniejących technik pomiarowych w celu zmniejszenia materiałochołności, energochłności i czasochłności, w szczególności w przypadku aparatury do badań testowych, atestacyjnych i certyfikujących, aparatury do badań właściwości zużyciowych materiałów i obiektów technicznych, a także aparatury badawczej i systemów kontrolno-pomiarowych do monitorowania stanu środowiska naturalnego, zwłaszcza mobilnych, zintegrowanych laboratoriów diagnostycznych.

Ze względu na zakładane duże prawdopodobieństwo wystąpienia tendencji wzrostowej czynników kluczowych wpływających na rozwój prac badawczych oraz wysoki poziom gotowości technologicznej w ramach obu trendów występuje znaczące skrócenie czasu pomiędzy wykorzystaniem nowych technik pomiarowych w laboratoriach badawczych a ich użyciem w praktyce przemysłowej. Do opracowania tych technik niezbędna jest interdyscyplinarna wiedza przede wszystkim z zakresu fizyki, chemii, elektroniki, modelowania matematycznego, informatyki i inżynierii systemów. Realizowana tematyka jest kompatybilna z długoterminowymi mapami drogowymi oraz celami strategicznymi programów Komisji Europejskiej oraz projektów ramowych dotyczących problematyki związanej z nowoczesnymi technikami pomiarowymi obejmującej zagadnienia między innymi z metrologii, sensoryki, metod projektowania, kalibracji, testowania oraz metod pomiarowych i analitycznych. Przy-

kładem interdyscyplinarnego wykorzystania wiedzy do opracowania jakościowo nowych techniki pomiarowych jest aparatura do badań nieniszczących, którą uznaje się za szczególnie perspektywiczną i o dużym prawdopodobieństwie dynamicznego rozwoju.

Rozwój badań w zakresie specjalizowanej aparatury badawczej i testowej kształtowany jest poprzez zmiany w uwarunkowaniach makroekonomicznych obejmujących: globalizację i konkurencję międzynarodową, a także pojawienie się sytuacji kryzysowych o charakterze ekonomicznym i ekologicznym. Ponadto, rozwój tego obszaru tematycznego jest ściśle zintegrowany z rozwojem innych dziedzin, w tym przede wszystkim technologii materiałowych, produktowych i procesowych. Dynamika rozwoju w obszarze specjalizowanej aparatury badawczej i testowej uzależniona jest w równej mierze od gotowości przemysłu do rozwijania innowacyjnych technologii i wyrobów, jak i od zapotrzebowania ze sfery nauki.

Dynamicznemu rozwojowi aparatury badawczej i testowej sprzyja kadrowy potencjał badawczy. Krajowe jednostki naukowe i instytuty badawcze posiadają znaczące doświadczenia w opracowywaniu i budowie zaawansowanej technologicznie aparatury badawczej, często unikalnej w skali światowej. Intensyfikacja prac badawczych realizowanych w krajowych ośrodkach naukowych i badawczych wymaga jednak podniesienia nakładów finansowych, umiejętnego i racjonalnego kształtowania wysoko kwalifikowanego potencjału kadrowego oraz koncentracji środków finansowych na wybrane inwestycje infrastrukturalne.

Rozwój kwalifikacji i kompetencji personelu naukowo-badawczego i kadry dydaktycznej w zakresie specjalizowanej aparatury badawczej i testowej jest ściśle zintegrowany ze wzrostem wymagań dla potencjalnych pracowników zaawansowanych technologii przemysłowych i ekologicznych. We wszystkich rodzajach działalności zawodowej (zawody, profile zawodowe) i na wszystkich poziomach zatrudniania pojawia się konieczność interdyscyplinarnego wykorzystania wiedzy z zakresu nauk technicznych, a w szczególności takich dyscyplin naukowych jak: automatyka i robotyka, technologia budowy i eksploatacji maszyn, metrologia, ekologia, inżynieria ochrony środowiska, informatyka, inżynieria materiałowa, a także z zakresu nauk humanistycznych, medycznych i ochrony pracy ze względu na istotę czynnika ludzkiego.

W obszarze specjalizowanej aparatury badawczej i testowej obserwuje się rozwijanie metod pomiarowych dla elektroniki molekularnej, do badań nanostruktur i procesów nanotribologicznych. W tym zakresie potrzebna jest wysoce wyspecjalizowana, interdyscyplinarna i najnowsza wiedza w takich dziedzin jak: fizyka kwantowa i zaawansowane modelowanie matematyczne, obejmująca krytyczne rozumienie teorii i zasad, w tym dotycząca badań właściwości elektrycznych, magnetycznych, optycznych, mechanicznych nanostruktur (nanorurek, nanowłókien, nanokryształów, fulerenów). Specjalistyczne umiejętności dotyczą biegłości i innowacyjności potrzebnej do rozwiązywania złożonych i nieprzewidywalnych problemów z zakresu wysokorozdzielczej mikroskopii z sondami skanującymi, a w szczególności zaawansowanej aparatury pomiarowej do badania właściwości elektrycznych i magnetycznych nanostruktur.

Rozwój bezprzewodowych systemów pomiarowych do monitorowania stanu eksploatacyjnego linii technologicznych oraz dużych, rozproszonych obiektów technicznych dotyczy głównie technologii przyrostowych. Badania przyrostowe skupiają się wokół istniejących technik pomiarowych w celu zmniejszenia materiałochłonności, energochłonności i czasochłonności, w szczególności aparatury do badań testowych, atestacyjnych i certyfikujących, aparatury do badań właściwości zużyciowych materiałów i obiektów technicznych, a także aparatury badawczej i systemów kontrolno-pomiarowych do monitorowania stanu środowiska naturalnego, zwłaszcza mobilnych, zintegrowanych laboratoriów diagnostycznych. W tym zakresie niezbędna jest interdyscyplinarna wiedza z elektroniki, automatyki, modelowania matematycznego, informatyki i inżynierii systemów. Przykładem interdyscyplinarnego wykorzystania wiedzy do opracowania jakościowo nowych technik pomiarowych jest aparatura do

badan nieniszczacych uznawana za szczegolnie perspektywiczna i o wysokim prawdopodobienstwie dynamicznego rozwoju.

Specjalistyczne umiejetnosci dotycza rozwiazywania zlozonych i nieprzewidywalnych problemow w mobilnych urzadzeniach do monitorowania stanu srodowiska i wykrywania zanieczyszczen, w aparaturze do badan materialow wielopowlokowych i kompozytowych, w hybrydowych wielofunkcyjnych systemach pomiarowych do badan destrukcji materialow i obiektow technicznych.

Postrzeganie pracownika poprzez jakoosc jego kompetencji zawodowych to nowy paradygmat myslenia o cechach wspolczesnego rynku pracy. Priorytetem jest podmiotowosc czlowieka i jego zdolnosc do adaptacji w zmieniajacych sie warunkach zatrudnienia jako istotna cecha kompetencji zawodowych. Wynika ona przede wszystkim ze strategii wykorzystywania potencjalu intelektualnego pracownikow. Wymagane jest zatem zarzadzanie technicznymi dzialaniami lub projektami oraz ponoszenie odpowiedzialnosci za podejmowanie decyzji zwiazanych z pracami badawczymi, zarzadzanie wlasnym rozwojem zawodowym lub zespolu badawczego, wykazywanie sie operatywnoscia, innowacyjnoscia, autonomia, etyka naukowa i zawodowa. Pozadane jest rowniez posiadanie uzdolnien naukowych, informatycznych, technicznych i organizacyjnych, wykazywanie sie kreatywnoscia, innowacyjnoscia, mysleniem interdyscyplinarnym i systemowym w kontekście zaawansowanych technologii.

Rozwoj gospodarki opartej na wiedzy niesie szereg wyzwan edukacyjnych. Jednym z najwazniejszych jest ksztaltowanie u pracownikow gotowosci uczenia sie przez cale zycie (*lifelong learning*). Jest to nowe wyzwanie edukacyjne, wymagajace modernizacji tradycyjnych formy szkoleniowych i okreslania obszaru ksztaltowania postaw, zmiany utrwalonych w przeszlosci wartosci i norm. Istnieje takze potrzeba transferu wiedzy o zaawansowanych technologiach przemyslowych i ekologicznych do sfery edukacji zawodowej na wszystkich poziomach ksztalcenia z uwzglednieniem oferty doskonalenia kompetencji kadry dydaktycznej oraz modernizacji oferty programowej na kierunkach studiow o profilach technicznych.

Scenariusz stabilizacji rozwoju technologii oraz kwalifikacji i kompetencji

Zalozenia:

- tendencja stala czynnikow
 - a – poziom zapotrzebowania gospodarki na aparature badawcza i testowa*
 - b – poziom innowacyjnosci i gotowosci wdrozeniowej wynikow prac naukowo-rozwojowych*
 - c - gotowosc przemyslu do rozwijania innowacyjnych technologii i wyrobow*przy wysokim prawdopodobienstwie wystapienia tej tendencji,
- oraz tendencja wzrostowa i spadkowa czynnikow przy niskim prawdopodobienstwie wystapienia tych tendencji
- niski priorytet technologii
- wysoki poziom gotowosci technologicznej.

Rozwoj technologii w obszarze specjalizowanej aparatury badawczej i testowej charakteryzuje przede wszystkim kontynuacja prac w dotychczas prowadzonych kierunkach badan i ukierunkowanie na doskonalenie istniejacych rozwiazań, co przeklada sie na umiarkowana dynamike rozwoju. Technologie przyrostowe stanowia dominujaca grupe technologii charakteryzujacych sie stosunkowo nieznacznyimi, jakoosciowymi zmianami w dluzszym horyzoncie czasowym. Wsrod rozwijanych technologii znajduja sie zarowno technologie o wysokim poziomie gotowosci technologicznej, jak i niskim prioryecie speelnienia kryteriow zrównowazonego rozwoju. Doskonalona jest glownie aparatura do badan wlasciwosci zuzyciowych materialow i obiektow technicznych metodami niszczacyimi. Kontynuowany jest takze rozwój technik pomiarowych mniej istotnych dla zrównowazonego rozwoju gospodarki opartej na wiedzy. Wiele jednak z tych technik, np. aparatura do pomiarow sil ponizej attoNewtonow,

aparatura wykorzystująca promieniowanie synchrotronowe lub aparatura do badań kompozytowych, wykazuje wysoki poziom gotowości technologicznej, co daje szansę na ich opracowanie zakończone sukcesem i dynamiczny rozwój z chwilą zaistnienia sprzyjających okoliczności, polegających m.in. na intensyfikacji rozwoju nanotechnologii i elektroniki polimerowej. Warunek konieczny stabilnego rozwoju stanowi występująca w dłuższej perspektywie czasowej tendencja wzrostowa czynników wynikających z zapotrzebowania gospodarki na niedrogą, mobilną i łatwą w obsłudze aparaturę badawczą i testową oraz gotowość przemysłu do rozwijania innowacyjnych technologii i wyrobów. Stymulator rozwoju stanowią zmiany wymagań w normach dotyczące warunków prowadzenia badań, metod rejestracji wyników pomiarów, w szczególności w przypadku badań długookresowych trwających kilka miesięcy. Zmiany dotyczą także stosowanych układów pomiarowych, metod regulacji oraz akwizycji danych pomiarowych i wynikają z rozwoju sensoryki, programowalnych układów logicznych, a także systemów informatycznych. Stosunkowo mała dynamika zmian cechuje funkcjonowanie, często rozproszonych i drogiej instalacji procesowych, np. wykorzystywanych w inżynierii materiałowej oraz rozproszonych, niemobilnych systemów monitorowania stanu zanieczyszczenia środowiska. W takich przypadkach wymiana aparatury dla całej instalacji jest nieuzasadniona ekonomicznie i niecelowa, a zdecydowanie korzystniejszym rozwiązaniem będzie stopniowe zastosowanie wybranych modułów pomiarowych.

Silną pozycję zajmują krajowe jednostki badawcze, które dysponując odpowiednio wykwalifikowaną kadrą są w stanie podjąć prace rozwojowe ukierunkowane na modernizację już opracowanej i wykorzystywanej aparatury badawczej i testowej.

Rozwój kwalifikacji i kompetencji personelu naukowo-badawczego i kadry dydaktycznej w obszarze specjalizowanej aparatury badawczej i testowej postrzegany jest przede wszystkim jako kontynuacja prac w dotychczas prowadzonych kierunkach badań i ukierunkowanie na doskonalenie istniejących rozwiązań, co przekłada się na umiarkowaną dynamikę rozwoju. Warunkiem koniecznym stabilnego rozwoju jest prowadzenie badań umożliwiających ocenę zapotrzebowania na specjalistów zaawansowanych technologii przemysłowych i weryfikację zbioru wymagań kwalifikacyjnych (umiejętności, wiedza oraz kompetencje społeczne i personalne) dla wybranych technologii.

Stymulatorem wzrostu wymagań kwalifikacyjnych w zakresie specjalistycznej wiedzy i umiejętności jest zapotrzebowanie gospodarki na wysoko kwalifikowaną kadrę inżynierską do obsługi aparatury badawczej i testowej oraz gotowość przemysłu do rozwijania innowacyjnych technologii i wyrobów. W tym zakresie potrzebna jest wysoce wyspecjalizowana, interdyscyplinarna i najnowsza wiedza w takich dziedzin jak: elektronika, automatyka, metrologia, informatyka będąca podstawą stabilnego rozwoju wyspecjalizowanych systemów pomiarowych do monitorowania procesów eksploatacyjnych oraz rozwiązywania problemów rozwoju technologii w obszarze aparatury badawczej i testowej.

Wśród rozwijanych technologii doskonała jest głównie aparatura do badań procesów próżniowo-plazmowych, monitorowania stanu eksploatacyjnego rozproszonych obiektów technicznych oraz do badań materiałów konstrukcyjnych i funkcjonalnych metodami nieniszczącymi (optyczne, wibroakustyczne). Specjalistyczne umiejętności w tym zakresie powinny umożliwić rozwiązywanie złożonych i nieprzewidywalnych problemów w aparaturze do badań destrukcji materiałów i obiektów technicznych, do oceny jakości wyrobów i procesów technologicznych, czy wreszcie do monitorowania stanu środowiska i wykrywania zanieczyszczeń. Umiejętności personelu dotyczą zapewnienia odpowiednich warunków prowadzenia badań, metod rejestracji wyników pomiarów, a także stosowania układów pomiarowych, metod regulacji oraz akwizycji danych pomiarowych wynikających z rozwoju sensoryki, programowalnych układów logicznych, a także systemów informatycznych.

Zakres posiadanych kompetencji społecznych i personalnych wynika ze strategii wykorzystywania potencjału intelektualnego pracowników. Dla pracowników opracowujących

i obsługujących specjalizowaną aparaturę przewiduje się zarządzanie złożonymi technicznymi działaniami lub projektami. Istotne znaczenie odgrywają uzdolnienia naukowe, informatyczne, techniczne i organizacyjne, kreatywność w działaniu, innowacyjność, myślenie interdyscyplinarne i systemowe w kontekście zaawansowanych technologii. Istotna jest również innowacyjność, autonomia, etyka naukowa i zawodowa.

Technologie mechatroniczne i systemy sterowania

Scenariusz dynamicznego rozwoju technologii oraz kwalifikacji i kompetencji

Scenariusz dynamicznego rozwoju technologii charakteryzują:

- tendencja wzrostowa następujących czynników kluczowych (przy wysokim prawdopodobieństwie wystąpienia tendencji):
 - a – potencjał badawczy i technologiczny (baza laboratoryjna, infrastruktura techniczna – instytucje badawcze i innowacyjne przedsiębiorstwa),*
 - b – ułatwienia w tworzeniu partnerstwa publiczno-prywatnego w zakresie przedsiębiorczości innowacyjnej,*
 - c – krajowe priorytety badawczo-rozwojowe,*
 - d – bilans korzyści i kosztów środowiskowych wynikających z opracowania i wdrożenia technologii;*
- wysoki priorytet technologii;
- wysoki poziom gotowości technologicznej technologii.

W obszarze technologii mechatronicznych i systemów sterowania opracowywane i doskonalone są zaawansowane w coraz większym stopniu, innowacyjne rozwiązania przeznaczone do aplikacji charakteryzujących się wysokim poziomem specjalizacji. Rozwijane technologie cechuje wysoki poziom interdyscyplinarności wykorzystywanej wiedzy na etapie prac badawczych, jak również transferu do przemysłu. Warunkiem koniecznym zapewnienia ich skutecznego i dynamicznego rozwoju jest odpowiednio wysoki potencjał kadrowy, infrastrukturalny i finansowy. Efekty rozwoju w obszarze technologii mają pozytywny wpływ na gospodarkę, szczególnie w wymiarze ekonomicznym i społecznym. Wdrażanie innowacyjnych rozwiązań technologicznych przyczynia się także do korzystnych zmian w aspekcie ekologicznym.

W grupie czynników naukowo-technologicznych, najsilniejsze oddziaływanie mają: potencjał badawczy i technologiczny, a następnie ułatwienia w tworzeniu partnerstwa publiczno-prywatnego w zakresie przedsiębiorczości innowacyjnej oraz krajowe priorytety badawczo-rozwojowe. Ułatwienia w tworzeniu partnerstwa publiczno-prywatnego nabierają coraz większego znaczenia, zwłaszcza w sytuacji pozyskiwania środków i tworzenia konsorcjów do realizacji zaawansowanych przedsięwzięć. Wpływ tego czynnika jest szczególnie istotny w przypadku rozwoju innowacyjnych technologii adresowanych do wytypowanych odbiorców przemysłowych, na potrzeby zaawansowanej i wysokowydajnej kontroli jakości wyrobów. W grupie czynników środowiskowych, główną rolę odgrywa bilans korzyści i kosztów środowiskowych wynikających z opracowania i wdrożenia technologii.

Rozwój technologii przebiega zgodnie z modelem „technology push” uwzględniającym możliwości wykonawcze (potencjał wykonawczy) realizatora. Rozwój tych technologii stanowi zazwyczaj wtórny efekt dynamicznego rozwoju technologii produktowych i procesowych ukierunkowanych na masowe wytwarzanie nowej generacji innowacyjnych wyrobów. Stąd mieszczą się one w obrębie wysokiego poziomu gotowości technologicznej.

Dynamiczny rozwój obejmuje zarówno technologie przyrostowe jak i wyłaniające się, charakteryzujące się stosunkowo wysokim priorytetem dla rozwoju gospodarki (przede wszystkim technologie przyrostowe) oraz wysokim poziomem gotowości technologicznej. Rozwój technologii przyrostowych ukierunkowany jest na stopniowe doskonalenie istniejących rozwiązań poprzez systematyczne wdrażanie innowacyjnych produktów bazujących na nowej wiedzy. Badania przyrostowe dotyczą ulepszania metod istniejących oraz opracowania rozwiązań innowacyjnych wdrożeniowo ważnych np. z punktu widzenia przedsiębiorstwa czy branży przemysłowej. Badania przyrostowe prowadzone są w obrębie specjalizowanych tech-

nologii i urządzeń mechatronicznych oraz technologii teleinformatycznych i systemów diagnostyki i sterowania, w szczególności dotyczących systemów sterowania urządzeń przemysłowych z tolerancją uszkodzeń w torach przesyłania danych.

Rozwijane technologie wyłaniające się prezentują nowatorskie innowacje techniczne, które cechuje „skokowy” rozwój w danym obszarze wiedzy i praktyki stwarzający możliwość uzyskania przewagi konkurencyjnej. Obejmują one przede wszystkim specjalizowane technologie i urządzenia mechatroniczne oraz technologie teleinformatyczne i systemy diagnostyki i sterowania, w których czołowym przykładem jest rozwój interfejsów człowiek-komputer z funkcją sterowania głosem do zastosowań w systemach sterowania procesów wytwarzania i eksploatacji.

Rozwój kwalifikacji i kompetencji personelu naukowo-badawczego i kadry dydaktycznej w zakresie technologii mechatronicznych i systemów sterowania do wspomagania procesów wytwarzania i eksploatacji zakłada konieczność interdyscyplinarnego wykorzystania wiedzy z zakresu nauk technicznych, a w szczególności takich dyscyplin naukowych jak: automatyka i robotyka, technologia budowy i eksploatacji maszyn, metrologia oraz specjalistyczna wiedza w takich dziedzin jak: automatyka i robotyka, mechatronika, systemy sterowania, inżynieria systemów, informatyka, automatyka przemysłowa, systemy teleinformatyczne, optomechatronika, optyczna inspekcja, technologie teleinformatyczne, metody analizy obrazów.

Do zawodów, które w szczególności powinny być rozwijane na użytek tego obszaru tematycznego w przyszłości należą: inżynier mechatronik, inżynier automatyki i robotyki, inżynier elektronik, inżynier mechanik, inżynier systemów i sieci komputerowych, inżynier bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej inżynier awionik, inżynier elektryk – automatyk, i specjalista do spraw rozwoju oprogramowania systemów informatycznych, specjalista zastosowań informatyki, inżynier urządzeń zabezpieczenia i sterowania ruchem kolejowym, nanotechnolog, inżynier inżynierii środowiska, oraz nowy zawód – inżynier ds. produktów mechatronicznych, jak również: technik mechatronik, technik elektronik, technik elektryk, technik informatyk, technik mechanik, technik metrolog, technolog inżynierii telekomunikacyjnej.

Specjaliści o profilu mechatronicznym powinni posiadać kompetencje, które obejmują: uzdolnienia naukowe, informatyczne, techniczne i organizacyjne, zdolność analizowania sytuacji oraz rozwiązywania problemów, wyobraźnię i myślenie twórcze, zdolność dostrzegania złożonych zjawisk i zależności przyczynowo-skutkowych, gotowość ustawicznego uczenia się i dzielenia się wiedzą, zdolność komunikowania się i pracy w zespole, odporność emocjonalną, operatywność i skuteczność, sumienność, zaangażowanie, otwartość na zmiany; dokładność i dbałość o jakość pracy, samodzielność i samokontrolę, świadomość roli transferu wiedzy, kreatywność techniczna oraz nastawienie na innowacje, myślenie interdyscyplinarne i systemowe w kontekście zrównoważonego rozwoju. Ważne są również kompetencje menadżerskie dotyczące budowania zespołu badawczego, zarządzania procesami i projektami, zarządzanie zmianą oraz nastawienie na wdrażanie i komercjalizację wyników badań.

Wymagania w zakresie projektowania, budowy i eksploatacji inteligentnych systemów mechatronicznych prowadzi będą w przyszłości również do powstawania nowych specjalności. Dotyczą one istniejących zawodów uzupełnionych treściami z zakresu mechatroniki. Przykładowo mogą je reprezentować pracownicy różnych działów przedsiębiorstwa: projektanci, informatycy, inżynierowie materiałowi, inżynierowie mechanicy, inżynierowie produkcji i utrzymania ruchu, inżynierowie mechanicy, elektrycy i elektronicy, automatycy, informatycy, logistycy, specjaliści ds. jakości, inżynierowie produkcji i systemów, specjaliści komunikacji i łączności oraz operatorzy..

Wprowadzenie nowych zawodów o profilu mechatronicznym stwarza określone konsekwencje dla rynku pracy. Nowe zawody spowodują podaż nowych specjalistów, którzy

będą bardziej konkurencyjni dla pracodawców. Nie należy jednak spodziewać się gwałtownego ich naboru, zarówno z powodu wciąż niskiej świadomości oraz niewystarczającej wiedzy mechatronicznej pracodawców. Tym niemniej przygotowywanie specjalistów w zawodach mechatronicznych ma szerokie znaczenie ogólnospołeczne, gdyż przyczynia się do rozkwitu gospodarki.

Scenariusz stabilizacji rozwoju technologii oraz kwalifikacji i kompetencji

Scenariusz stabilizacji rozwoju technologii charakteryzują:

- tendencja stała następujących czynników (przy wysokim prawdopodobieństwie wystąpienia tej tendencji):
 - a – potencjał badawczy i technologiczny (baza laboratoryjna, infrastruktura techniczna – instytucje badawcze i innowacyjne przedsiębiorstwa)*
 - b – ułatwienia w tworzeniu partnerstwa publiczno-prywatnego w zakresie przedsiębiorczości innowacyjnej*
 - c – krajowe priorytety badawczo-rozwojowe*
 - d – bilans korzyści i kosztów środowiskowych wynikających z opracowania i wdrożenia technologii.*
- tendencja wzrostowa i spadkowa wymienionych czynników przy niskim prawdopodobieństwie wystąpienia tych tendencji;
- niski priorytet technologii;
- wysoki poziom gotowości technologicznej.

Rozwój technologii mechatronicznych i systemów sterowania charakteryzuje kontynuacja prac w dotychczas prowadzonych kierunkach, mała dynamika i ukierunkowanie na stopniowe doskonalenie istniejących rozwiązań poprzez systematyczne wdrażanie innowacyjnych produktów bazujących na nowej wiedzy. Kontynuowany jest rozwój technologii, które nie są uznawane za najbardziej priorytetowe z punktu widzenia ich wpływu na zrównoważony rozwój gospodarki w aspekcie środowiskowym, ekologicznym i ekonomicznym. Jednocześnie, rozwijane technologie cechuje wysoki poziom gotowości technologicznej, co zapewnia wysokie prawdopodobieństwo ich opracowania zakończonego sukcesem komercyjnym.

Najbardziej intensywny rozwój dotyczy rozwiązań z zakresu technologii i systemów optomechatronicznych, w tym przede wszystkim systemów monitorowania wytwarzania zespołów materiałowych z wykorzystaniem metody wizyjnej i termowizji oraz specjalizowanych technologii i urządzeń mechatronicznych, w tym robotów do zastosowań medycznych, wykorzystujących zaawansowane komputerowe systemy sterowania.

Rozwój technologii jest uzależniony przede wszystkim od zwiększania potencjału badawczego i technologicznego i ułatwień w tworzeniu partnerstwa publiczno-prywatnego.

Rozwój kwalifikacji i kompetencji personelu naukowo-badawczego i kadry dydaktycznej w obszarze mechatroniki i systemów sterowania jest konsekwencją kontynuacji prac w dotychczas prowadzonych kierunkach badań charakteryzujących się małą dynamiką. Generuje to ustabilizowaną dynamikę rozwoju technologii jak i utrzymanie dotychczasowego progressu rozwoju edukacji zawodowej w obszarze mechatroniki na poziomie wyższym, średnim i zasadniczym.

Warunkiem koniecznym rozwoju technologii jest ustabilizowane zapotrzebowanie ilościowe na specjalistów (kadra naukowo-badawcza, personel dydaktyczny, konsumenci technologii) oraz wzrost jakości kształcenia, doskonalenia i doksztalcenia zawodowego w zakresie mechatroniki i systemów sterowania.

Rozwój innowacyjnych technologii generuje potrzebę posiadania odpowiedniego personelu naukowo-badawczego z wykształceniem na podstawowym (inżynier, magister)

i zaawansowanym (doktorat) poziomie akademickim. W ramach rozwijanych technologii należy spodziewać się wzrostu zapotrzebowania na specjalistów z zakresu projektowania wdrażania i wykorzystania nowych technologii oraz komercjalizacji wyników prac naukowo-badawczych (np. specjaliści z zakresu sprzedaży licencji, patentów, idei biznesowych, szacowania skutków finansowych, uruchomienia produkcji, prognozowania ponoszonych kosztów i uzyskiwanych efektów ekonomicznych). Specjalizacje mechatroniczne na poziomie inżynierskim rozwijać należy poprzez studia podyplomowe i szkolenia specjalistyczne prowadzone na uczelniach przy udziale zaawansowanych w technologiach przemysłowych i edukacyjnych firm i ośrodków. Kompetencje inżynierskie w mechatronice powinny służyć realizacji całego szeregu celów związanych z produkcją.

W związku z bardzo szerokim zakresem dyscyplin zintegrowanych w obszarze mechatroniki, każda specjalizacja mechatroniczna może dotyczyć tylko określonego wycinka technologii. Tak więc, uzasadnione jest nazewnictwo odnoszące się do wykonywanych zadań pracowniczych, np. monter-mechatronik urządzeń przemysłowych lub monter-mechatronik urządzeń medycznych, czy technik-mechatronik obróbki skrawaniem lub technik-mechatronik diagnostyki samochodowej. Analogicznie dotyczy to również inżynierów.

W systemie szkolnym na poziomie akademickim i przedakademickim kształcenie mechatroniczne zapewniać powinno solidne podstawy wiedzy, umiejętności i kompetencji. mieć miejsce tylko w połączeniu z konkretnym środowiskiem pracy i doskonaleniem w systemie pozaszkolnym. Proces doskonalenia zawodowego w mechatronice powinien uwzględniać zarówno posiadaną wiedzę i umiejętności, jak i nowe działy wiedzy i nowe sposoby rozwiązywania złożonych problemów inżynierskich.

W ramach edukacji mechatronicznej powinny być rozwijane również nowe interakcyjne metody nauczania i uczenia się dla poprawy efektywności i jakości kształcenia oraz budowanie oferty kształcenia z wykorzystaniem podejścia modułowego.

Niezbędne jest opracowanie krajowego modelu kształcenia i doskonalenia zawodowego z zakresu mechatroniki w systemie modułowym. Oznacza to konieczność skoordynowania treści programów kształcenia i doskonalenia zawodowego w zakresie mechatroniki, zarówno na uczelniach jak i na poziomie średnim i zasadniczym, w różnego rodzaju Centrach Kształcenia Ustawicznego i Centrach Doskonalenia Zawodowego. Należy przy tym zapewnić odpowiednie wyposażenie technodydaktyczne ośrodkom edukacji zawodowej i ustawicznej realizującym lub mogącym realizować programy kształcenia i doskonalenia zawodowego z zakresu mechatroniki.

Należy utworzyć krajową i regionalną sieć instytucji promujących mechatronikę i realizujących transfer wiedzy i umiejętności niezbędnych dla przemysłu. Wdrożenie i umocnienie sieci powiązań dostawców mechatronicznych usług edukacyjnych z przedsiębiorstwami w regionie jest warunkiem aktualizacji wiedzy i umiejętności wymaganych na rynku pracy. Warto rozważyć powołanie wiodących ośrodków doskonalenia kompetencji mechatronicznych.

Bardzo istotnym elementem kształcenia i doskonalenia zawodowego w mechatronice jest uwzględnienie jej aspektów pozatechnicznych. W obszarze doskonalenia zawodowego związanym z produkcją i eksploatacją jest miejsce na zagadnienia związane z kształtowaniem postaw, wzajemnym komunikowaniem się i komunikacją z otoczeniem oraz pracą w grupie.

Scenariusz rozwoju technologii materiałowych i nanotechnologii

Scenariusz dynamicznego rozwoju technologii oraz kwalifikacji i kompetencji

Założenia:

- tendencja wzrostowa zidentyfikowanych czynników kluczowych
 - a – zasoby kadry naukowej, badawczej i technicznej oraz dostosowanie programów edukacyjnych do wymogów kreowania i aplikacji rozwiązań innowacyjnych
 - b – przepływ wiedzy i doświadczeń między indywidualnymi naukowcami, przedsiębiorcami i instytucjami, dostęp do baz wiedzy (open innovation)
 - c – krajowe priorytety badawczo-rozwojowe

przy wysokim prawdopodobieństwie wystąpienia tej tendencji,

- wysoki priorytet technologii,
- wysoki poziom gotowości technologicznej technologii.

„Technologie materiałowe i nanotechnologie” to obszar o silnie ugruntowanej pozycji w Polsce. Posiadane w tym obszarze zaplecze kadrowe, infrastruktura badawcza oraz możliwości finansowania prac badawczo-rozwojowych, są na poziomie porównywalnym z wiodącymi krajami UE. Rozwój technologii materiałowych i nanotechnologii, ze szczególnym uwzględnieniem technologii obróbki powierzchniowej, ma zdecydowanie pozytywny wpływ na rozwój wielu obszarów gospodarki, poprzez zwiększanie jej innowacyjności, ochronę środowiska, obniżanie kosztów produkcji oraz zwiększanie bezpieczeństwa obywateli. Technologie materiałowe i nanotechnologie cechuje bardzo wysoki poziom interdyscyplinarności, czego wynikiem jest istotny wpływ i stymulowanie rozwoju innych obszarów działalności naukowo-badawczej. Stąd też szybkie tempo rozwoju wielu nowoczesnych gałęzi przemysłu jest wyznaczone możliwościami technologii materiałowych i nanotechnologii. Dzięki badaniom w zakresie nowych materiałów oraz technologii modyfikowania właściwości warstwy wierzchniej, części maszyn i narzędzia są lepiej dostosowane do pracy w coraz trudniejszych warunkach eksploatacyjnych, np. przy wysokich obciążeniach mechanicznych i cieplnych, intensywnym zużyciu lub korozyjnym oddziaływaniu środowiska. Szybki rozwój inżynierii powierzchni generuje pojawienie się wielu nowych materiałów powłokowych (np. powłok wieloskładnikowych, wielowarstwowych i gradientowych), jak również kompozytów warstwowych wytwarzanych hybrydowymi metodami obróbki powierzchniowej. To właśnie te nowe materiały umożliwiają stopniowe rozszerzanie obszaru wykorzystania inżynierii powierzchni w przemyśle, np. poprzez ukierunkowanie na podwyższanie jakości narzędzi i części maszyn. Technologie materiałowe i nanotechnologie stanowią istotny czynnik rozwoju gospodarczego.

Rozwój technologii materiałowych i nanotechnologii jest bardzo dynamiczny i obejmuje zarówno technologie przyrostowe, charakteryzujące się wysokim poziomem gotowości technologicznej, jak i technologie wyłaniające się, oceniane jako priorytetowe dla przyszłego rozwoju gospodarki. Rozwój technologii przyrostowych ukierunkowany jest na stopniowe doskonalenie istniejących już rozwiązań, jak również na rozszerzanie możliwości ich aplikacyjnego wykorzystania w nowych obszarach gospodarki. Prace badawczo-rozwojowe dotyczące rozwoju technologii przyrostowych, koncentrują się przede wszystkim w zakresie kształtowania charakterystyk cienkich warstw i powłok, przeznaczonych do poprawy właściwości mechanicznych, tribologicznych i korozyjnych narzędzi i elementów maszyn pracujących w trudnych warunkach eksploatacyjnych. Dotyczy to głównie aplikacji w przemyśle narzędziowym (matryce do obróbki plastycznej metali, formy ciśnieniowe i odlewnicze), przemyśle lotniczym i samochodowym (elementy turbin lotniczych i silników spalinowych) oraz medycynie (implanty i wszczepy medyczne, narzędzia chirurgiczne).

Rozwój technologii wyłaniających się bazuje na najnowszych osiągnięciach inżynierii powierzchni, jakimi są hybrydowe technologie obróbki powierzchniowej, stwarzające szerokie możliwości kształtowania właściwości fizycznych i chemicznych wytwarzanych warstw i powłok. Technologie wyłaniające się powstają na bazie nowatorskich rozwiązań materiałowych i towarzyszących im opracowań technologicznych, umożliwiających praktyczne wytwarzanie materiałów funkcjonalnych. Szczególnie cenne są dwa główne kierunki rozwoju technologii wyłaniających się. Pierwszym z nich jest wytwarzanie powłok o strukturze nanometrycznej, w tym: powłok nanowarstwowych i nanokompozytowych, o ściśle ukierunkowanych właściwościach funkcjonalnych, np. przeznaczonych do wytwarzania mikro-ogniw voltaicznych, czy też bioczujnych lub chemoczujnych mikro-sensorów. Drugim kierunkiem rozwoju technologii wyłaniających się są technologie przeznaczone do modyfikowania właściwości stopów metali lekkich, w tym: tytanu, aluminium i magnezu.

Dynamiczny rozwój badań w zakresie technologii materiałowych i nanotechnologii warunkowany jest, poza wskazanymi czynnikami kluczowymi, także rozwojem kapitału intelektualnego oraz metod transformacji wiedzy. W ramach rozwoju metod transformacji wiedzy istnieje potrzeba intensyfikacji współpracy pomiędzy polskimi ośrodkami naukowymi, współpracy międzynarodowej oraz intensyfikacji powiązań ośrodków naukowych z przemysłem. Z kolei w aspekcie rozwoju kapitału intelektualnego kluczowe znaczenie odgrywa tworzenie interdyscyplinarnych zespołów badawczych skupiających specjalistów z zakresu różnych obszarów wiedzy, m.in.: inżynierii materiałowej, technologii informatycznych, fizyki, chemii oraz mechaniki. Szczególnego znaczenia nabiera także konieczność nabywania wiedzy interdyscyplinarnej i najnowszej w takich dziedzinach jak: fizyka, chemia, inżynieria materiałowa, fizyka plazmy, elektronika. Poza wiedzę dziedzinową istotne znaczenie odgrywają kompetencje osobowościowe i uzdolnienia przydatne w pracy w obszarze przedmiotowym obejmującym zaawansowane technologie materiałowe i nanotechnologie, w tym przede wszystkim: zdolność komunikowania się i pracy w zespole, zdolność analizowania sytuacji oraz rozwiązywania problemów, samodzielność i samokontrola, kreatywność techniczna oraz innowacyjność, umiejętność dostrzegania złożonych zjawisk i zależności przyczynowo-skutkowych.

Scenariusz stabilizacji rozwoju technologii oraz kwalifikacji i kompetencji

Założenia:

- tendencja stała zidentyfikowanych czynników kluczowych
 - a – *zasoby kadry naukowej, badawczej i technicznej oraz dostosowanie programów edukacyjnych do wymogów kreowania i aplikacji rozwiązań innowacyjnych*
 - b – *przepływ wiedzy i doświadczeń między indywidualnymi naukowcami, przedsiębiorcami i instytucjami, dostęp do baz wiedzy (open innovation)*
 - c – *krajowe priorytety badawczo-rozwojowe*
- przy wysokim prawdopodobieństwie wystąpienia tej tendencji,
- oraz tendencja wzrostowa i spadkowa czynników przy niskim prawdopodobieństwie wystąpienia tych tendencji
 - niski priorytet technologii
 - wysoki poziom gotowości technologicznej.

Rozwój technologii przyrostowych ukierunkowany jest na stopniowe doskonalenie istniejących już rozwiązań, jak również na rozszerzanie możliwości ich aplikacyjnego wykorzystania w nowych obszarach gospodarki. Prace badawczo-rozwojowe dotyczące rozwoju technologii przyrostowych, koncentrują się przede wszystkim na kształtowaniu charakterystyk cienkich warstw i powłok, przeznaczonych do poprawy właściwości mechanicznych, tribologicznych i korozyjnych narzędzi i elementów maszyn pracujących w trudnych warunkach eksplo-

atacyjnych. Dotyczy to głównie aplikacji w przemyśle narzędziowym (matryce do obróbki plastycznej metali, formy ciśnieniowe i odlewnicze), przemyśle lotniczym i samochodowym (elementy turbin lotniczych i silników spalinowych) oraz medycynie (implanty i wszczepy medyczne, narzędzia chirurgiczne).

Technologie materiałowe i nanotechnologie charakteryzuje stały, stabilny rozwój dotyczący istniejących rozwiązań technologicznych, prowadzenie prac w dotychczas realizowanych kierunkach obejmujących wyłącznie technologie przyrostowe. Sytuacja taka spowodowana jest przede wszystkim bardzo wysokimi kosztami wiążącymi się z rozwijaniem nowych kierunków badań w zakresie technologii materiałowych i nanotechnologii, co z kolei wynika z konieczności stosowania unikatowych, bardzo drogich urządzeń.

Realizowany rozwój dotyczy przede wszystkim rozwiązań w zakresie technologii podwyższania jakości i trwałości narzędzi oraz zwiększania trwałości elementów wytwarzanych na potrzeby różnych przemysłów. Badania przyrostowe prowadzone są w zakresie powłok i warstw do szczególnie wymagających zastosowań wytwarzanych metodami inżynierii powierzchni oraz hybrydowych procesów wytwarzania warstw i powłok.

Istnieje duże prawdopodobieństwo utrzymania się stałego poziomu zasobów kadry naukowej, badawczej i technicznej oraz braku zmian w programach edukacyjnych w celu dostosowania ich do wymogów kreowania i aplikacji rozwiązań innowacyjnych oraz utrzymanie dotychczasowego poziomu dotyczącego przepływu wiedzy i doświadczeń między indywidualnymi naukowcami, przedsiębiorcami i instytucjami.

W związku z powyższym szczególnego znaczenia nabiera konieczność nabywania wiedzy dotyczącej między innymi: właściwości warstw hybrydowych w aspekcie zwiększania trwałości narzędzi i elementów maszyn pracujących w trudnych warunkach eksploatacyjnych; zasad łączenia procesów dyfuzyjnej obróbki powierzchniowej (azotowania, nawęglania próżniowego, węglazotowania) z procesami wytwarzania powłok PVD w jeden złożony proces technologiczny; metod nakładania powłok celem konfigurowania ich składu chemicznego i struktury wielowarstwowej; właściwości powłok z barierą cieplną; właściwości powłok kompozytowych węgla chromu i innych.

Kompetencje osobowościowe i uzdolnienia typowe dla technologii w fazie stabilnego rozwoju to: otwartość na zmiany, dokładność i dbałość o jakość pracy, świadomość roli transferu wiedzy, kreatywność techniczna, innowacyjność oraz odpowiedzialność proekologiczna.

Scenariusze rozwoju w obszarze technologii proekologicznych, racjonalizacji zużycia surowców i zasobów oraz odnawialnych źródeł energii

Scenariusz dynamicznego rozwoju technologii oraz kwalifikacji i kompetencji

Założenia:

- tendencja wzrostowa zidentyfikowanych czynników kluczowych:
 - a – potencjał badawczy i technologiczny (baza laboratoryjna, infrastruktura techniczna – instytucje badawcze i innowacyjne przedsiębiorstwa)*
 - b – poziom innowacyjności i gotowości wdrożeniowej wyników prac badawczo-rozwojowych*
 - c – dynamika i efektywność transferu uzyskanych rozwiązań do gospodarki*
 - d – krajowe priorytety badawczo-rozwojowe.*

przy wysokim prawdopodobieństwie wystąpienia tej tendencji,

- wysoki priorytet technologii,
- wysoki poziom gotowości technologicznej technologii.

W obszarze technologii proekologicznych będą opracowywane i doskonalone zaawansowane, nowatorskie rozwiązania, zapewniające zmniejszenie presji na środowisko produkcyjnej i konsumpcyjnej aktywności człowieka. Jest to kierunek zgodny, z celami wyznaczonymi w „Strategii Europa 2020”, w szczególności w zakresie osiągnięcia celów „20/20/20” w dziedzinie klimatu i energii. Rozwijane technologie będą miały pozytywny wpływ na stabilny i zrównoważony rozwój gospodarki w aspekcie ekologicznym i ekonomicznym. Zdecydowanie najbardziej pozytywny wpływ, co oczywiste, będą miały na stan środowiska i warunki egzystencji w nim człowieka. Jednakże w przypadku znacznej grupy technologii proekologicznych występuje „pozorna” przewaga kosztów nad bezpośrednimi korzyściami finansowymi, rozpatrywanymi w krótkookresowym horyzoncie czasowym. Pozorna przewaga kosztów wynika głównie z koncentracji społeczeństwa na osiąganiu celów krótkoterminowych bez uwzględniania długoterminowych horyzontów zrównoważonego rozwoju oraz trudności bezwzględnego oszacowania zysków ekologicznych, wynikających z wdrożenia poszczególnych technologii. W wielu przypadkach skutkuje to obojętnością społeczeństwa, a czasami wręcz brakiem akceptacji społecznej dla ponoszenia kosztów rozwijania i wdrażania tych technologii. Najczęściej dotyczy to technologii, których opracowywanie i wdrażanie wynika z konieczności dostosowania gospodarki krajowej do wytycznych międzynarodowych uregulowań prawnych w zakresie ochrony środowiska i klimatu, co jest szczególnie obciążające dla gospodarek o niezbyt wysokim poziomie rozwoju i nie daje wyraźnej perspektywy korzyści ekonomicznych. Rozwój zawansowanych technologii proekologicznych niesie ze sobą niezwykle istotny efekt, jakim jest racjonalizacja zużycia surowców i zasobów. A ten czynnik warunkuje stały i zrównoważony rozwój gospodarki. Technologie te charakteryzuje wysoki stopień interdyscyplinarności, zawansowania technicznego, elastyczności, często wysoka złożoność i wielkoskalowość. Są to jednocześnie technologie, dla których wdrożenia i rozwoju niezbędny jest odpowiednio liczny i kompetentny potencjał kadrowy, a także stabilny w niezbędnej perspektywie czasowej potencjał infrastrukturalny i finansowy. W kraju istnieją korzystne uwarunkowania regionalne, przede wszystkim w odniesieniu do kadry badawczo-rozwojowej, wpływające na specjalizację w regionach w zakresie technologii proekologicznych, skupiony w szczególności wokół dużych przedsiębiorstw o kluczowym znaczeniu dla gospodarki.

Rozwój technologii proekologicznych determinowany jest w znacznym stopniu przez czynniki o charakterze naukowo-technologicznym, w szczególności potencjał badawczy i technologiczny, poziom innowacyjności i gotowości wdrożeniowej wyników prac badawczo-rozwojowych i krajowe priorytety badawczo-rozwojowe oraz czynnik dotyczący transfe-

ru technologii w aspekcie dynamiki i efektywności transferu uzyskanych rozwiązań do gospodarki.

Rozwijane technologie wyłaniające się stanowią nowatorskie innowacje techniczne, które cechuje „skokowy” rozwój w danym obszarze wiedzy i praktyki, stwarzający możliwość uzyskania przewagi konkurencyjnej. Obejmują one w szczególności proekologiczne technologie wytwarzania energii, co będzie sprzyjało osiągnięciu celów w zakresie klimatu i energii. Przykładem technologii wyłaniających się są technologie upłynniania i zgazowania biomasy, wytwarzania energii z odpadów, recyklingu surowców i materiałów zawartych w poszczególnych strumieniach odpadów, a także technologie współspalania odpadowej biomasy z paliwami konwencjonalnymi. Szczęólnego znaczenia w grupie technologii wyłaniających nabiera rozwój wysokoefektywnych technologii pozyskiwania energii ze źródeł odnawialnych.

Dynamicznemu rozwojowi badań w zakresie technologii proekologicznych, racjonalizacji zużycia surowców i zasobów oraz odnawialnych źródeł energii sprzyja wszechstronny krajowy potencjał badawczy, zarówno personalny jaki i techniczny, a także uwarunkowania o charakterze makroekonomicznym obejmujące procesy integracyjne i globalizacyjne. Istotne znaczenie ma także wzrost świadomości ekologicznej społeczeństwa i, postępująca w ślad za tym, akceptacja dla konieczności ponoszenia kosztów ochrony środowiska. W niektórych przypadkach kierunki rozwoju technologii w tym obszarze determinowane są wystąpieniem klęsk ekologicznych, żywiołowych i zdarzeń losowych.

Do rozwijania nowatorskich rozwiązań w zakresie technologii proekologicznych niezbędna jest specjalistyczna interdyscyplinarna wiedza z takich dziedzin jak: chemia, fizyka, inżynieria procesowa, ekologia, biotechnologia, nanotechnologia.

Do zawodów, które w szczególności powinny być rozwijane na użytek tego obszaru tematycznego w przyszłości należą: biochemik, biotechnolog, chemik, chemik – technologia chemiczna, ekolog, inspektor ochrony środowiska, inżynier inżynierii chemicznej, inżynier technologii chemicznej, laborant chemiczny, specjalista ochrony środowiska, technik analityk, technik ochrony środowiska oraz nowy zawód – inżynier ds. produktów proekologicznych.

Pracownik naukowo-badawczy w tym obszarze powinien dysponować w szczególności wiedzą ogólną dotyczącą fizyki ciała stałego i cieczy, chemii fizycznej, ekologii, inżynierii chemicznej i procesowej, ekotoksykologii, chemii, biotechnologii, a także wiedzą specjalistyczną z zakresu: kluczowych problemów ekologicznych, technologii na rzecz ochrony środowiska, metod zarządzania zasobami wodnymi, technologii usuwania i unieszkodliwiania substancji szczególnie szkodliwych lub toksycznych, technik membranowych, technologii charakteryzujących się niskim zapotrzebowaniem energetycznym, nowoczesnych technologii pozyskiwania i wykorzystania paliw odnawialnych, w tym biodegradowalnych odpadów przemysłowych, technologii wykorzystujących surowce naturalne oraz pochodzące z recyklingu materiałowego.

Preferowane dla tego obszaru tematycznego kompetencje społeczne i personalne przewidują rozwój i doskonalenie umiejętności zarządzania złożonymi technicznymi przedsięwzięciami lub projektami oraz autonomicznego działania. Ponadto korzystne jest posiadanie uzdolnień naukowych, informatycznych, technicznych i organizacyjnych oraz wykazywanie się kreatywnością naukowo-badawczą, innowacyjnością, myśleniem interdyscyplinarnym i systemowym w kontekście zrównoważonego rozwoju.

Ważne jest również dostrzeganie złożonych zjawisk i zależności przyczynowo-skutkowych oraz odpowiedzialność proekologiczna.

Scenariusz stabilizacji rozwoju technologii

Założenia:

- tendencja stała czynników
 - a – potencjał badawczy i technologiczny (baza laboratoryjna, infrastruktura techniczna – instytucje badawcze i innowacyjne przedsiębiorstwa)*
 - b – poziom innowacyjności i gotowości wdrożeniowej wyników prac badawczo-rozwojowych*
 - c – dynamika i efektywność transferu uzyskanych rozwiązań do gospodarki*
 - d – krajowe priorytety badawczo-rozwojowe.*

przy wysokim prawdopodobieństwie wystąpienia tej tendencji,

- oraz tendencja wzrostowa i spadkowa czynników przy niskim prawdopodobieństwie wystąpienia tych tendencji
- niski priorytet technologii
- wysoki poziom gotowości technologicznej.

Rozwój technologii proekologicznych charakteryzuje kontynuacja prac w dotychczas prowadzonych kierunkach, mała dynamika i ukierunkowanie na doskonalenie istniejących rozwiązań. Wśród analizowanych technologii znajdują się zarówno te o wysokim, jak i niskim priorytecie w aspekcie spełnienia kryteriów zrównoważonego rozwoju, a także technologie o różnym poziomie gotowości technologicznej. Wiele rozwijanych i wprowadzanych rozwiązań wynika z konieczności spełnienia wymogów normatywnych dotyczących ochrony środowiska i ma charakter działań doraźnych i incydentalnych. W scenariuszu tym na dalszy plan schodzą długoterminowe działania proekologiczne, chroniące środowisko dla przyszłych pokoleń i rozwijane są przede wszystkim technologie umożliwiające usuwanie i naprawianie już zaistniałych szkód w środowisku.

Następuje rozwój technologii, które są mniej priorytetowe z punktu widzenia ich wpływu na zrównoważony rozwój gospodarki w aspekcie ekologicznym i ekonomicznym. Z drugiej strony rozwijane technologie cechuje wysoki poziom gotowości technologicznej, co daje szansę na ich opracowanie zakończone sukcesem i dynamiczny rozwój z chwilą zaistnienia sprzyjających okoliczności.

Najbardziej intensywny rozwój dotyczy rozwiązań o charakterze przyrostowym i ukierunkowany jest na doskonalenie istniejących rozwiązań poprzez stopniowe wdrażanie innowacyjnych rozwiązań, bazujących na nowej wiedzy. Badania przyrostowe dotyczą ulepszania istniejących technologii lub ich implementacji w nowych zastosowaniach lub obszarach oraz opracowania rozwiązań innowacyjnych ważnych wdrożeniowo. Rozwijane są technologie racjonalizacji zużycia surowców i zasobów, a przede wszystkim: technologie recyklingu i utylizacji odpadów, technologie recyklingu kompozytów włókienniczych i termoplastycznych kompozytów polimerowych, techniczne systemy wspomagania proekologicznej eksploatacji cieczy technologicznych, aplikacje technik membranowych w technologiach recyklingu i utylizacji, w szczególności wodnych cieczy technologicznych oraz ścieków, biotechnologiczne metody oczyszczania ścieków przemysłowych, niskoodpadowe technologie wytwarzania i regeneracji elementów maszyn i urządzeń, m.in. z zastosowanie nanokompozytów polimerowych. Rozwijane są także proekologiczne technologie wytwarzania energii, w szczególności: technologie współspalania odpadów palnych z paliwami konwencjonalnymi oraz metody stabilizacji i poprawy właściwości użytkowych biopaliw. Towarzyszy temu rozwój systemów logistycznych w gospodarce odpadami i energią, w tym: systemy pomiarów on-line lotnych i stałych produktów spalania oraz urządzenia do ich realizacji. Równolegle rozwijane są technologie wytwarzania materiałów eksploatacyjnych o podwyższonych walorach ekologicznych, w szczególności specjalistycznych, ekologicznych cieczy eksploatacyjnych na bazie nietoksycznych, biodegradowanych komponentów naturalnych i syntetycznych.

Rozwój technologii przyrostowych w obszarze technologii proekologicznych wymaga specjalistycznej interdyscyplinarnej wiedzy z dziedziny chemii, fizyki, inżynierii procesowej, ekologii, biotechnologii, nanotechnologii oraz innych dziedzin nauki.

Do zawodów, które w szczególności powinny być rozwijane na użytek tego obszaru tematycznego w przyszłości należą: biochemik, biotechnolog, chemik, chemik – technologia chemiczna, ekolog, inspektor ochrony środowiska, inżynier inżynierii chemicznej, inżynier technologii chemicznej, laborant chemiczny, specjalista ochrony środowiska, technik analityk, technik ochrony środowiska.

Preferowane dla tego obszaru tematycznego kompetencje obejmują między innymi: uzdolnienia naukowe, informatyczne, techniczne i organizacyjne, zdolność dostrzegania złożonych zjawisk i zależności przyczynowo-skutkowych, gotowość ustawicznego uczenia się i dzielenia się wiedzą, zdolność komunikowania się i pracy w zespole; świadomość roli transferu wiedzy, kreatywność techniczna oraz nastawienie na innowacje, myślenie interdyscyplinarne i systemowe w kontekście zrównoważonego rozwoju, odpowiedzialność proekologiczna. Ważne są również kompetencje menadżerskie dotyczące budowania zespołu badawczego, nastawienia na wdrażanie innowacyjnych rozwiązań oraz zarządzanie zmianą.

Na użytek tego obszaru tematycznego należy spodziewać się wzrostu rangi kształcenia pozaformalnego i nieformalnego. Obecny system edukacji nastawiony jest na edukację formalną, co skutkuje brakiem uregulowań prawnych, instytucjonalnych i proceduralnych uznających uczenie się pracownika w czasie pracy i w innych sytuacjach życiowych. Promocji proekologicznego kształcenia ustawicznego towarzyszyć musi jego rozwój, obejmujący przede wszystkim tworzenie i rozbudowę instytucji edukacji ustawicznej, oferujących programy i formy nauczania adekwatne do potrzeb i możliwości różnych specjalistów. Ponadto zasadne jest poszerzenie działalności edukacyjnej ośrodków transferu nowoczesnych technologii (np. parki technologiczne, centra transferu technologii, inkubatory przedsiębiorczości i inne) o zadania związane z kształceniem i szkoleniem na potrzeby innowacyjnych technologii proekologicznych.

Scenariusze rozwoju w obszarze technologii bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego

Scenariusz dynamicznego rozwoju technologii oraz kwalifikacji i kompetencji

Założenia:

- tendencja wzrostowa zidentyfikowanych czynników kluczowych
 - a – *potencjał badawczy i technologiczny (baza laboratoryjna, infrastruktura techniczna – instytucje badawcze i innowacyjne przedsiębiorstwa)*
 - b – *poziom innowacyjności i gotowości wdrożeniowej wyników prac badawczo-rozwojowych*
 - c – *dynamika i efektywność transferu uzyskanych rozwiązań do gospodarki*
 - d – *gotowość przemysłu do rozwijania innowacyjnych technologii i wyrobów.*
- przy wysokim prawdopodobieństwie wystąpienia tej tendencji,
- wysoki priorytet technologii,
 - wysoki poziom gotowości technologicznej technologii.

W obszarze technologii bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego opracowywane i doskonalone są zaawansowane, nowatorskie rozwiązania dostosowane do wysoce specjalistycznych potrzeb. Rozwijane technologie mają pozytywny wpływ na rozwój gospodarki w aspekcie środowiskowym, ekologicznym i ekonomicznym oraz jednocześnie charakteryzują się wysokim poziomem interdyscyplinarności. Z drugiej strony są to technologie, w przypadku których wymagany jest niezbędny potencjał kadrowy, infrastrukturalny i finansowy umożliwiające ich rozwój. Rozwój technologii determinowany jest w znacznym stopniu przez czynniki naukowo-technologiczne, w szczególności potencjał badawczy i technologiczny, poziom innowacyjności i gotowości wdrożeniowej wyników prac badawczo-rozwojowych, jak i czynniki o charakterze rynkowym: dynamika i efektywność transferu uzyskanych rozwiązań do gospodarki oraz gotowość przemysłu do rozwijania innowacyjnych technologii i wyrobów. Element kluczowy stanowi transfer zaawansowanych rozwiązań technologicznych z sektora nauki do przemysłu, co wynika z faktu, że rozwiązania opracowywane w ramach tego obszaru tematycznego są adresowane do przedsiębiorstw.

Dynamiczny rozwój obejmuje zarówno technologie przyrostowe, jak i wyłaniające się, charakteryzujące się wysokim priorytetem dla rozwoju gospodarki oraz wysokim poziomem gotowości technologicznej, przy czym technologie przyrostowe w większym stopniu niż wyłaniające się przyczyniają się do realizacji idei zrównoważonego rozwoju kraju i cechuje je wyższy poziom gotowości technologicznej. Rozwój technologii przyrostowych ukierunkowany jest na stopniowe doskonalenie istniejących rozwiązań poprzez systematyczne wdrażanie innowacyjnych produktów bazujących na nowej wiedzy. Badania przyrostowe dotyczą ulepszania metod istniejących oraz opracowania rozwiązań innowacyjnych wdrożeniowo ważnych, np. z punktu widzenia przedsiębiorstwa czy branży przemysłowej. Badania przyrostowe prowadzone są w obrębie tematyki dotyczącej systemów technicznych wspomagających bezpieczeństwo obiektów i procesów technicznych oraz systemów monitorowania i diagnozowania procesów i obiektów technicznych, w tym szczególnie w zakresie technicznych systemów zabezpieczeń z wykorzystaniem identyfikatorów elektronicznych oraz inteligentnych systemów monitorowania zużycia mediów energetycznych i technologicznych w obiektach technicznych.

Rozwijane technologie wyłaniające się stanowią nowatorskie innowacje techniczne, które cechuje „skokowy” rozwój w danym obszarze wiedzy i praktyki stwarzający możliwość uzyskania przewagi konkurencyjnej. Obejmują one rozwiązania dotyczące przede wszystkim systemów monitorowania i diagnozowania procesów i obiektów technicznych. Dynamiczny rozwój badań w zakresie technologii bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego determinowany jest także czynnikami o charakterze makroekonomicznym, w tym przede wszystkim pojawieniem się globalnych bądź regionalnych problemów środowiskowych. Bardzo

istotne znaczenie w obszarze bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego odgrywa także potencjał kadrowy rozumiany jako kadra projektująca, wdrażająca i użytkująca technologie stanowiące przedmiot badań. W przypadku tego obszaru czynnik ludzki jest najczęstszą przyczyną zdarzeń wynikających z niewłaściwego (przypadkowego lub zamierzonego) sposobu stosowania danej technologii.

Rozwój innowacyjnych technologii w obszarze bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego jest ściśle zintegrowany ze wzrostem wymagań w zakresie kwalifikacji i kompetencji potencjalnych pracowników zatrudnionych w tych obszarach, w szczególności kadr naukowo-badawczych i dydaktycznych. Na wszystkich poziomach zatrudniania, a także we wszystkich rodzajach działalności zawodowej (zawody, profile zawodowe) pojawia się konieczność interdyscyplinarnego wykorzystania przez pracowników wiedzy z zakresu nauk technicznych, a w szczególności takich dyscyplin naukowych jak: mechanika, fizyka, chemia, elektronika, informatyka, kosmonautyka, inżynieria bezpieczeństwa, a także z zakresu nauk humanistycznych, medycznych i ochrony pracy.

Dynamiczny rozwój technologii wyłaniających się wymaga rozwoju kwalifikacji i kompetencji z zakresu technologii bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego skupionych na:

- systemach przeciwdziałania i łagodzenia skutków zdarzeń,
- metodach prowadzenia działań ratownictwa technicznego z wykorzystaniem nowoczesnych narzędzi i środków,
- mechatronicznych układach wykonawczych oraz systemach akwizycji i przetwarzania danych pomiarowych,
- wyposażeniu służb ratowniczych w urządzenia rejestracji i przekazywania obrazu o wysokiej rozdzielczości, odpornego na narażenia termiczne, mechaniczne i elektryczne i elektroniczne.

Wyłaniające się technologie, w tym technologia „monitorowanie i ochrona przeciwpożarowa z zastosowaniem technik satelitarnych i robotów mobilnych” to technologie wymagające ugruntowanej wiedzy, umiejętności i kompetencji z zakresu:

- tworzenia systemów diagnostycznych przeznaczonych do testowania urządzeń stosowanych w ratownictwie technicznym,
- zapewnienia skuteczności działania i bezpieczeństwa eksploatacyjnego wdrażanego sprzętu ratownictwa technicznego,
- testowania urządzeń stosowanych w ratownictwie technicznym, w tym prowadzenia badań certyfikacyjnych obowiązujących w danym kraju oraz zapewnienia skuteczności działania i bezpieczeństwa eksploatacyjnego sprzętu ratownictwa technicznego,
- zapewnienia odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa ratowników i poszkodowanych,
- minimalizowania szkód generowanych negatywnym oddziaływaniem zjawisk naturalnych (powodzie, pożary, burze) lub umyślnym destrukcyjnym działaniem ludzi (działania przestępcze i terrorystyczne).

Scenariusz stabilizacji rozwoju technologii oraz kwalifikacji i kompetencji

Założenia:

- tendencja stała czynników
 - a – *potencjał badawczy i technologiczny (baza laboratoryjna, infrastruktura techniczna – instytucje badawcze i innowacyjne przedsiębiorstwa)*
 - b – *poziom innowacyjności i gotowości wdrożeniowej wyników prac badawczo-rozwojowych*
 - c – *dynamika i efektywność transferu uzyskanych rozwiązań do gospodarki*
 - d – *gotowość przemysłu do rozwijania innowacyjnych technologii i wyrobów.*

przy wysokim prawdopodobieństwie wystąpienia tej tendencji,

- oraz tendencja wzrostowa i spadkowa czynników przy niskim prawdopodobieństwie wystąpienia tych tendencji
- niski priorytet technologii
- wysoki poziom gotowości technologicznej.

Rozwój technologii bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego charakteryzuje kontynuacja prac w dotychczas prowadzonych kierunkach, stosunkowo niska dynamika i ukierunkowanie na doskonalenie istniejących rozwiązań. Następuje rozwój technologii, które nie są uważane za najbardziej priorytetowe z punktu widzenia ich wpływu na zrównoważony rozwój gospodarki w aspekcie środowiskowym, ekologicznym i ekonomicznym i które cechuje wysoki i bardzo wysoki poziom gotowości technologicznej, co daje szansę na ich opracowanie zakończone sukcesem. Ukierunkowanie prac na doskonalenie istniejących rozwiązań jest spowodowane koniecznością zachowania spójności istniejącej infrastruktury systemów bezpieczeństwa technicznego z nowymi technologiami opracowywanymi w ramach prac badawczo-rozwojowych. Technologie bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego charakteryzują się inercją wdrożeniową wynikającą z aspektów prawnych, procedur certyfikacyjnych oraz uwarunkowań mentalnych i edukacyjnych. Zjawiska te sprzyjają intensyfikacji prac w obszarach technologii przyrostowych, o dużej rozpoznawalności na rynku, w znacznej mierze już stosowanych. Technologie wyłaniające się oprócz barier technicznych muszą pokonać także ograniczenia pozamerytoryczne, np. w aspektach prawnych, administracyjnych lub lobbystycznych.

Najbardziej intensywny rozwój dotyczy rozwiązań z zakresu systemów technicznych wspomagających bezpieczeństwo obiektów i procesów technicznych, w szczególności systemów testowania środków i urządzeń bezpieczeństwa technicznego w warunkach kontrolowanych zagrożeń oraz kontrolowanych warunkach środowiskowych, a także rozwiązań dotyczących systemów monitorowania i diagnozowania procesów i obiektów technicznych, w tym głównie rozwoju rozwiązań dotyczących układów wykonawczych do pracy w niebezpiecznych i szkodliwych procesach technologicznych oraz biometrycznych systemów zabezpieczeń oraz systemów zwiększających bezpieczeństwo ekologiczne, w szczególności metod utylizacji plastycznych środków smarowych. Przewidywany rozwój w wytypowanych kierunkach wynika z potrzeby zmniejszenia ryzyka i skutków wypadków spowodowanych usterką systemu technicznego lub działaniem sabotażowym.

Stabilny rozwój oraz kontynuacja prac w dotychczas prowadzonych kierunkach badań, przedkłada się na stosunkowo niską dynamikę rozwoju nowych technologii i ukierunkowanie na doskonalenie istniejących rozwiązań. Wpływa to w ograniczonym stopniu na rozwój kwalifikacji i kompetencji pracowników naukowo-badawczych oraz kadry dydaktycznej w obszarze bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego.

Szczególne znaczenia nabierają kompleksowe kwalifikacje i kompetencje z zakresu metod i systemów gaszenia pożarów podpowierzchniowych, metod poprawy bezpieczeństwa technicznego i środowiskowego w systemie wentylacji, technicznych systemów zabezpieczeń z wykorzystaniem identyfikatorów elektronicznych, metod utylizacji plastycznych środków smarowych.