

FORE SIGHT
technologiczny przemysłu

InSight 2030

STRESZCZENIE ANALIZY KOŃCOWEJ

WARSZAWA 2011



MINISTERSTWO GOSPODARKI



STRESZCZENIE
analizy końcowej

FORESIGHT TECHNOLOGICZNY PRZEMYSŁU Insight 2030

Streszczenie analizy końcowej

Przewodniczący Komitetu Sterującego

Zbigniew Kamieński

Kierownik projektu

Jacek Kuciński

Autorzy studiów monograficznych

Barbara Białicka, Marek Bieniecki, Jan Bondaruk, Włodzimierz Boroń, Piotr Borowicz, Krystyna Czaplicka-Kolarz, Mariusz Cwiężek, Andrzej W. Domański, Łucjan Gajda, Olaf Gajl, Piotr Grabiec, Janusz Imiela, Małgorzata Kantor, Janusz Klink, Wiesław Kuźmich, Witold Łojkowski, Urszula Narkiewicz, Tomasz Nasiłkowski, Marek Niezgódka, Andrzej Noworyta, Jacek Oko, Ireneusz Pyka, Łukasz Siodłak, Krzysztof Stańczyk, Marcin Szega, Jerzy Świądrowski, Stanisław Trenczek, Marian Turek, Krzysztof Walkowiak, Waldemar Wcisło, Tomasz R. Woliński, Michał Woźniak, Paweł Zawartka

Konsultanci

Michał Basista, Jacek M. Baranowski, Barbara Białicka, Marek Bieniecki, Jan Bondaruk, Włodzimierz Boroń, Tomasz Ciach, Danuta Ciechańska, Czesław Cempel, Szymon Ciura, Andrzej Chomiak, Krystyna Czaplicka-Kolarz, Mariusz Cwiężek, Izabela Dolińska, Krzysztof Doliński, Andrzej Dzikowski, Julia Ferenc, Michał Jan Filipek, Robert Gadowski, Łucjan Gajda, Andrzej Gajda, Olaf Gajl, Marek Godlewski, Rafał Góral, Piotr Grabiec, Grzegorz Gzyl, Adam Hamerla, Jan Holnicki-Szulc, Jerzy Honczarenko, Janusz Imiela, Mieczysław Jurczyk, Leszek Jaroszewicz, Małgorzata Kantor, Leszek Kasprzyczak, Jerzy Kątcki, Artur Klimkiewicz, Janusz Klink, Tomasz Kowalewski, Izabela Krucińska, Małgorzata Kujawińska, Zygmunt Łuczyński, Józef Matuszek, Adam Mazurkiewicz, Monika Michalska, Andrzej Mościcki, Rafał Nalepa, Tadeusz Nieszporek, Marek Niezgódka, Andrzej Nowrot, Piotr Nyga, Jacek Oko, Edward Piekarski, Stanisław Pietrowski, Agnieszka Ponarska, Ryszard Pregiel, Stanisław Prusek, Michał Puchalski, Ireneusz Pyka, Sylwester Rajwa, Antoni Rogalski, Marek Sikora, Łukasz Siodłak, Anna Siwek-Skalny, Bogusław Smólski, Krzysztof Stańczyk, Leszek Stobiński, Kazimierz Stoiński, Tadeusz Suski, Marcin Szega, Tomasz Szolc, Tomasz Szoplik, Zbigniew Śmieszek, Jerzy Świądrowski, Wojciech Świąszkowski, Karol Teliga, Stanisław Trenczek, Leszek Trząski, Marian Turek, Krzysztof Walkowiak, Edward Wąsiewicz, Waldemar Wcisło, Piotr Wojtas, Michał Woźniak, Paweł Zawartka, Maria Zielecka, Jerzy Ziora, Tadeusz Złoto, Eugeniusz Zych



STRESZCZENIE

analizy końcowej

Warszawa 2011

Copyright © by Polska Izba Gospodarcza Zaawansowanych Technologii, Warszawa 2011

Opracowanie wydawnicze: Stanisław Małcki
DTP: Jacek Bociąg, Editio, www.editio.eu

Wydanie pierwsze

Wydawnictwo IZTECH
Polska Izba Gospodarcza Zaawansowanych Technologii
Centrum Promocji Przedsiębiorczości
02-923 Warszawa, ul. Klarysewska 48
email: sekretariat@iztech.pl
www.iztech.pl

ISBN 978-83-62877-00-3

Spis treści

1. Wprowadzenie	7
2. Założenia projektu i przebieg prac badawczych	10
2.1. Cel i geneza projektu	10
2.2. Założenia projektu	11
2.3. Organizacja prac badawczych	11
2.4. Struktura organizacyjna projektu	12
2.5. Metodyka realizacji projektu	14
2.6. Prezentacja i upowszechnienie wyników projektu	16
3. Badanie Delphi i konsultacje społeczne	17
3.1. Cel, metodyka i narzędzia badawcze	18
3.2. Wyniki badań ankietowych	20
3.3. Podsumowanie i rekomendacje	33
4. Kluczowe technologie rozwoju polskiego przemysłu i powiązanych z nim usług	37
4.1. Założenia	37
4.2. Metoda i kryteria wyboru	37
4.3. Zestawienie priorytetowych, konkurencyjnych technologii w analizowanych polach badawczych	39
5. Scenariusze rozwoju technologicznego i konkurencyjne obszary technologiczne w polach badawczych przemysłu przetwórczego i powiązanych z nim usług	41
5.1. Biotechnologia przemysłowa	44
5.2. Nanotechnologie	60
5.3. Zaawansowane systemy wytwarzania	69
5.4. Technologie informacyjne i telekomunikacyjne	80

5.5. Mikroelektronika	95
5.6. Fotonika	111
6. Scenariusze rozwoju technologicznego i konkurencyjne obszary technologiczne w polach badawczych przemysłu energetycznego	127
6.1. Czyste technologie węglowe	127
6.2. Racjonalizacja gospodarowania energią	140
7. Scenariusze rozwoju technologicznego i obszary konkurencyjne w polach badawczych przemysłu wydobywczego	151
7.1. Nowoczesne urządzenia dla przemysłu wydobywczego	151
7.2. Innowacyjne technologie pozyskiwania surowców mineralnych	160
8. Wnioski i rekomendacje	168

1. Wprowadzenie

Celem pracy badawczej „Foresight Technologiczny Przemysłu – InSight 2030”, przeprowadzonej przez konsorcjum Polska Izba Gospodarcza Zaawansowanych Technologii, Instytut Podstawowych Problemów Polskiej Akademii Nauk i Główny Instytut Górnictwa na zlecenie Ministerstwa Gospodarki, było dostarczenie wiedzy w zakresie przewidywanego rozwoju technologicznego na przestrzeni kilkunastu najbliższych lat, która służyłaby jako wsparcie przy tworzeniu spójnej, długoterminowej polityki badań i innowacji przemysłowych. Wiedza ta będzie także pomocna dla przedsiębiorców i innych interesariuszy przy tworzeniu strategicznych planów rozwoju i inwestycji, poprzez wskazanie przewidywanych trendów i kierunków zmian technologicznych w perspektywie średnio- i długookresowej.

Potrzeba przeprowadzenia studiów nad stanem i pożądanymi kierunkami rozwoju polskiego przemysłu wynikała z szeregu przyczyn, do najważniejszych z których należą następujące:

- Rynek towarów i usług stał się rynkiem globalnym. Pociągnęło to za sobą głębokie zmiany w dotychczasowej polityce gospodarczej. Walka konkurencyjna przekroczyła granice krajów i regionów. Okres od powstania nowej idei technologicznej do wprowadzenia jej na rynek światowy uległ wybitnemu skróceniu;
- W ostatnim dziesięcioleciu pojawiły się nowe, nieznanе dotąd technologie. Straciło na znaczeniu lub wręcz znikło wiele, dotychczas ważnych, technologii klasycznych. Rodzi to realną groźbę dla tych przemysłów, które w swojej polityce rozwoju zlekceważą to zjawisko;
- Uległa zasadniczym przeobrażeniom struktura aktywów przedsiębiorstwa. Dominującą rolę zaczął odgrywać posiadany przez przedsiębiorstwo kapitał intelektualny w postaci własności intelektualnej i kwalifikacji pracowników, szczególnie w konkurencji z regionami o taniej sile roboczej. Gospodarka oparta na wiedzy stała się rzeczywistością.

Analizowane w ramach prowadzonych prac założenia, tezy i wnioski były systematycznie gromadzone i pozyskiwane z raportów i analiz międzynarodowych,

foresightów zagranicznych, dotychczasowych polskich opracowań dotyczących przewidywanego rozwoju technologii, foresightowych studiów monograficznych opracowanych dla projektu „InSight 2030” przez czołowych specjalistów z poszczególnych dziedzin technologii, oraz innych dostępnych planów gospodarczych, raportów i ekspertyz.

Jako jedno z podstawowych założeń prac nad określeniem priorytetów rozwoju polskiego przemysłu w wybranych obszarach technologicznych przyjęto pozyskanie współpracy możliwie największego grona interesariuszy. Udział interesariuszy jest czynnikiem determinującym ostateczny efekt foresightu, zarówno na etapie prac badawczych, jak i – co jest nie mniej istotne – na etapie wykorzystywania jego wyników w praktyce.

Zebrane materiały, ekspertyzy i opinie zostały poddane badaniom metodą Delphi i dyskusjom panelowym pod kątem możliwego horyzontu czasowego, zakresu potencjalnych zastosowań przemysłowych, konsekwencji i skutków społecznych. Proces ten przebiegał z uwzględnieniem następujących kluczowych elementów:

- przegląd istniejących badań typu foresight w analizowanych dziedzinach technologii,
- analiza dostępnych map rozwoju technologicznego,
- analiza trendów i dynamiki rozwoju technologii i innowacyjności w świecie i kraju,
- analiza rozwoju rynku globalnego i przewidywanych zmian jego struktury technologicznej,
- badanie potrzeb i opinii zainteresowanych grup naukowych, przemysłowych i społecznych,
- badanie uwarunkowań systemowych, w tym otoczenia prawnego prac badawczo-rozwojowych i przedsięwzięć innowacyjnych, finansowych i organizacyjnych,
- analiza potencjalnego ryzyka, zagrożeń środowiskowych i etycznych.

Celem powyższych badań i analiz była identyfikacja obszarów przemysłowych o największej wartości dodanej dla dalszego rozwoju społeczno-gospodarczego kraju oraz kluczowych technologii warunkujących rozwój i konkurencyjność polskiego przemysłu, w tym technologii, w których Polska mogłaby odnosić sukcesy komercyjne na rynku globalnym, a także sformułowanie wniosków i rekomendacji w tym zakresie.

Identyfikacja kluczowych technologii była przeprowadzana w dwóch fazach:

- najpierw przeprowadzono analizę trendów rozwoju techniki światowej z punktu widzenia wyzwań społeczno-gospodarczych, przed jakimi stoi świat w perspektywie następnych 15 do 20 lat, i określono kluczowe technologie w skali globalnej,

- następnie dokonano przeglądu prac badawczo-rozwojowych w Polsce i dotychczasowych wyników oraz uwarunkowań polskiego przemysłu i wyłoniono priorytetowe technologie, w których Polska mogłaby odnieść sukces komercyjny na rynkach międzynarodowych w przyjętej perspektywie czasowej

Wyniki przeprowadzonych badań zostały ujęte w raporcie, nazwanym „Foresight Technologiczny Przemysłu InSight 2030. Analiza końcowa”, którego streszczeniem jest niniejsze opracowanie.

2. Założenia projektu i przebieg prac badawczych

2.1. Cel i geneza projektu

Cele, zakres, zasady i główne metody realizacji projektu „Foresight Technologiczny Przemysłu InSight 2030” opracowane zostały przez Departament Rozwoju Gospodarki w Ministerstwie Gospodarki i wynikają z założeń Koncepcji Horyzontalnej Polityki Przemysłowej w Polsce, przyjętej przez Radę Ministrów w dniu 30 lipca 2007 r., która przewiduje m.in. przygotowanie przez Ministerstwo Gospodarki analiz konkurencyjności sektorów przemysłowych, foresightu technologicznego przemysłu oraz Programu Rozwoju Przedsiębiorstw.

Istotą koncepcji projektu jest wielopłaszczyznowe, horyzontalne podejście do przemysłu oraz uwzględnienie potrzeb nie tylko przedsiębiorstw, ale także konsumentów jako odbiorców technologii i nowoczesnych produktów, ich wpływu na społeczeństwo oraz stan środowiska naturalnego. Takie kompleksowe podejście wpisuje się w priorytety wskazane przez Komisję Europejską w Strategii Europa 2020.

Głównym celem projektu „Foresight Technologiczny Przemysłu” było zweryfikowanie potencjału rozwoju wskazanych przez Ministerstwo sektorów i obszarów przemysłowych oraz zidentyfikowanie konkurencyjnych obszarów przemysłowych i kluczowych technologii przyszłości o znaczeniu strategicznym, których rozwój w następnych 20 latach będzie dla polskiego przemysłu priorytetem.

Projekt ten stanowi jednocześnie kontynuację debat społecznych oraz budowania kultury i wizji myślenia o przyszłości rozpoczętych w ramach Narodowego Programu Foresight Polska 2020 oraz raportu Polska 2030.

Projekt realizowało konsorcjum wybrane w drodze przetargu ogłoszonego przez Ministerstwo Gospodarki w dniu 17 sierpnia 2010 roku w składzie:

- Polska Izba Gospodarcza Zaawansowanych Technologii – Lider Konsorcjum,
- Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN – Członek Konsorcjum,
- Główny Instytut Górnictwa – Członek Konsorcjum.

2.2. Założenia projektu

Począwszy od 2000 roku do dnia dzisiejszego zrealizowano w Polsce kilkadziesiąt różnego rodzaju projektów foresight. Najwięcej z nich dotyczyło rozwoju regionalnego oraz rozwoju poszczególnych branż przemysłowych. Foresight Technologiczny Przemysłu InSight 2030 jest pierwszym w Polsce projektem foresightowym dotyczącym perspektyw i uwarunkowań rozwoju całego polskiego przemysłu.

Prace analityczno-badawcze prowadzone w ramach projektu były skoncentrowane na takich obszarach i technologiach, które warunkują rozwój możliwie największej ilości sektorów przemysłowych, oraz na identyfikacji obszarów technologicznych, które mogą dać szansę istotnego zwiększenia konkurencyjności polskiego przemysłu. Prace ekspertów prowadzone były przy założeniu, że ich wskazania powinny prowadzić do rozwoju gospodarki opartej na wiedzy i innowacji oraz zrównoważonego rozwoju technologicznego kraju.

Wybór obszarów konkurencyjnych został dokonany przy uwzględnieniu następujących czynników:

- globalne wyzwania cywilizacyjne,
- trendy rozwojowe światowej nauki i gospodarki,
- czynniki środowiskowe,
- surowce i zasoby naturalne,
- czynniki geopolityczne,
- gospodarcze uwarunkowania międzynarodowe,
- czynniki społeczne, w tym dostępność kadr o określonych kwalifikacjach,
- potencjał naukowo-badawczy analizowanych dziedzin,
- czynniki technologiczne,
- uwarunkowania finansowe i kapitałowe,
- otoczenie biznesu.

2.3. Organizacja prac badawczych

Zgodnie z wytycznymi zawartymi w Karcie Działa projekt realizowany był w trzech etapach w podziale na sześć zadań.

Zadanie 1 – Powołanie struktur zarządzania projektem i uruchomienie projektu. W ramach realizacji tego zadania powołane zostały struktury, których opis przedstawiono w podrozdziale 2.4, utworzony został portal internetowy prezentujący aktualne informacje o przebiegu realizacji projektu i stanowiący interfejs między realizatorami a interesariuszami projektu oraz ustanowione zostały procedury i kanały łączności pomiędzy ekspertami a biurem projektu.

Zadanie 2 – Diagnoza stanu rozwoju technologicznego przemysłu. Jego realizacja polegała na przeprowadzeniu analizy dostępnej literatury polskiej i zagranicznej na temat projektów foresight, ze szczególnym uwzględnieniem zagranicznych projektów foresight w zakresie nowoczesnych technologii, Narodowego Programu Foresight Polska 2020, projektu Foresight Kadr Nowoczesnej Gospodarki oraz polskich, branżowych projektów foresight.

Głównymi wynikami realizacji zadań 1 i 2 było ustalenie obszarów badawczych oraz listy technologii priorytetowych dla rozwoju polskiego przemysłu, w ramach których prowadzone były dalsze prace analityczne. Ustalona w trakcie tych prac lista technologii priorytetowych była punktem wyjścia do określenia technologii kluczowych, które mogą być polską specjalnością.

Zadanie 3 – Przeprowadzenie badań ankietowych oraz opracowanie wstępnych wersji scenariuszy składało się z kilku etapów. W pierwszym etapie ustalono hipotezy badawcze oraz wytyczne do opracowania tez Delphi. W drugim – opracowano bazowe krzywe życia technologii oraz zestaw czynników charakteryzujących scenariusze oraz wstępne scenariusze rozwoju technologicznego. W trzecim opracowano ostateczną listę technologii przyszłości.

Zadanie 4 – Badanie Delphi i konsultacje społeczne. W ramach tego zadania przeprowadzone było ogólnopolskie badanie Delphi, w wyniku którego wyłoniono drugą listę technologii kluczowych, zweryfikowanych przez środowiska naukowe i biznesowe, i opracowano ostateczną wersję scenariuszy.

Zadanie 5 – Opracowanie ostatecznych map drogowych, atlasów technologii oraz analizy końcowej, w tym wniosków i rekomendacji dla decydentów politycznych i administracji publicznej.

Zadanie 6 – Rozpowszechnienie wyników projektu obejmujące przeprowadzenie konferencji zamykającej projekt oraz rozpowszechnienie jego wyników.

2.4. Struktura organizacyjna projektu

Struktura organizacyjna projektu została ustalona zgodnie z wytycznymi Ministerstwa Gospodarki zawartymi w Karcie Dzieła. Składała się ona z dwu równoległych działających pionów tj. z pionu badawczego i pionu administracyjnego. Przy czym ze względu na szczupły budżet projektu starano się maksymalnie uprościć strukturę pionu administracyjnego i minimalizując zatrudniony w nim personel przy jednoczesnym zapewnieniu jak największej jego funkcjonalności.

Znaczny wysiłek i maksimum staranności został włożony przy formułowaniu pionu badawczego tj. doborze kierowników i ekspertów merytorycznych. Do współ-

pracy w realizacji projektu udało się pozyskać najlepszych specjalistów w kraju w zakresie wszystkich 10 pól badawczych analizowanych w projekcie.

Nadrzędnym organem w zakresie nadzoru i decyzji strategicznych był **Komitet Sterujący** kierowany przez Zastępcę Dyrektora Departamentu Rozwoju Gospodarki w Ministerstwie Gospodarki. W jego skład wchodził przedstawiciel Ministerstwa Gospodarki, kierownik projektu oraz lider i dyrektorzy instytucji tworzących konsorcjum realizatorów. Zgodnie z Kartą Działa, głównym zadaniem Komitetu był nadzór nad właściwą realizacją projektu z punktu widzenia Ministerstwa Gospodarki jako instytucji zamawiającej oraz bieżąca ocena wykonania głównych elementów projektu. Komitet Sterujący obradował cyklicznie, a poprzez swoich przedstawicieli, którzy aktywnie uczestniczyli w posiedzeniach Panelu Głównego i kontrolował na bieżąco wszystkie etapy realizacji projektu.

Wskazania Komitetu Sterującego, opracowane na podstawie prowadzonej na bieżąco analizy wyników i działań foresightowych, przekazywane były natychmiast do wiadomości Kierownika Projektu i przedstawicieli instytucji tworzących konsorcjum realizatorów.

W pionie badawczym jednostkami organizacyjnymi projektu (rys. 2.1) były:

Panel Główny jako organ merytoryczny projektu nadzorujący prace paneli eksperckich, podejmujący decyzję kierunkowe w zakresie prac merytorycznych oraz integrujący wyniki prac eksperckich. W skład Panelu Głównego wchodził: Kierownik Projektu, Kierownicy Paneli Pól Badawczych i ich asystenci oraz przedstawiciel Ministerstwa Gospodarki.

Panele Pól Badawczych jako podstawowe jednostki merytoryczne, utworzone w każdym z 10 wyróżnionych w trakcie analiz foresightowych pól badawczych:

- PB1 Biotechnologie przemysłowe,
- PB2 Nanotechnologie,
- PB3 Zaawansowane systemy wytwarzania,
- PB4 Technologie informacyjne i telekomunikacyjne,
- PB5 Mikroelektronika,
- PB6 Fotonika,
- PB7 Rozwój czystych technologii węglowych,
- PB8 Racjonalizacja gospodarowania energią,
- PB9 Nowoczesne urządzenia dla przemysłu wydobywczego,
- PB10 Innowacyjne technologie pozyskiwania surowców mineralnych.

Zadaniem paneli pól badawczych było przeprowadzanie analiz przewidzianych w projekcie, a także prac o charakterze syntetycznym przy formułowaniu scenariuszy rozwoju technologii.

Panele tematyczne odpowiadające wyłonionym technologiom kluczowym, które utworzono na etapie analiz szczegółowych. Panele te składały się z ekspertów merytorycznych w zakresie analizowanych technologii. Ich zadaniem była ocena stanu wiedzy poszczególnych obszarów i makrotematów oraz przygotowanie hipotez i tez do badania eksperckiego Delphi.

Zespół ds. Delphi, którego zadaniem było opracowanie ankiet, baz danych respondentów i przeprowadzenie badania Delphi.

Zespół Redakcyjny – odpowiadający za opracowanie Raportu Końcowego.

Grupa Wsparcia. Grupa dodatkowych ekspertów z instytucji będących beneficjentami projektu (m.in. przedstawiciele małych i średnich firm, konsorcjów przemysłowych, centrów badawczych i PAN). Eksperti ci mieli za zadanie przekazywanie realizatorom projektu dodatkowych, istotnych dla realizacji projektu informacji z reprezentowanych przez nich instytucji jak, izby gospodarcze, instytuty PAN i branżowe, uczelnie oraz przedsiębiorstwa przemysłowe.

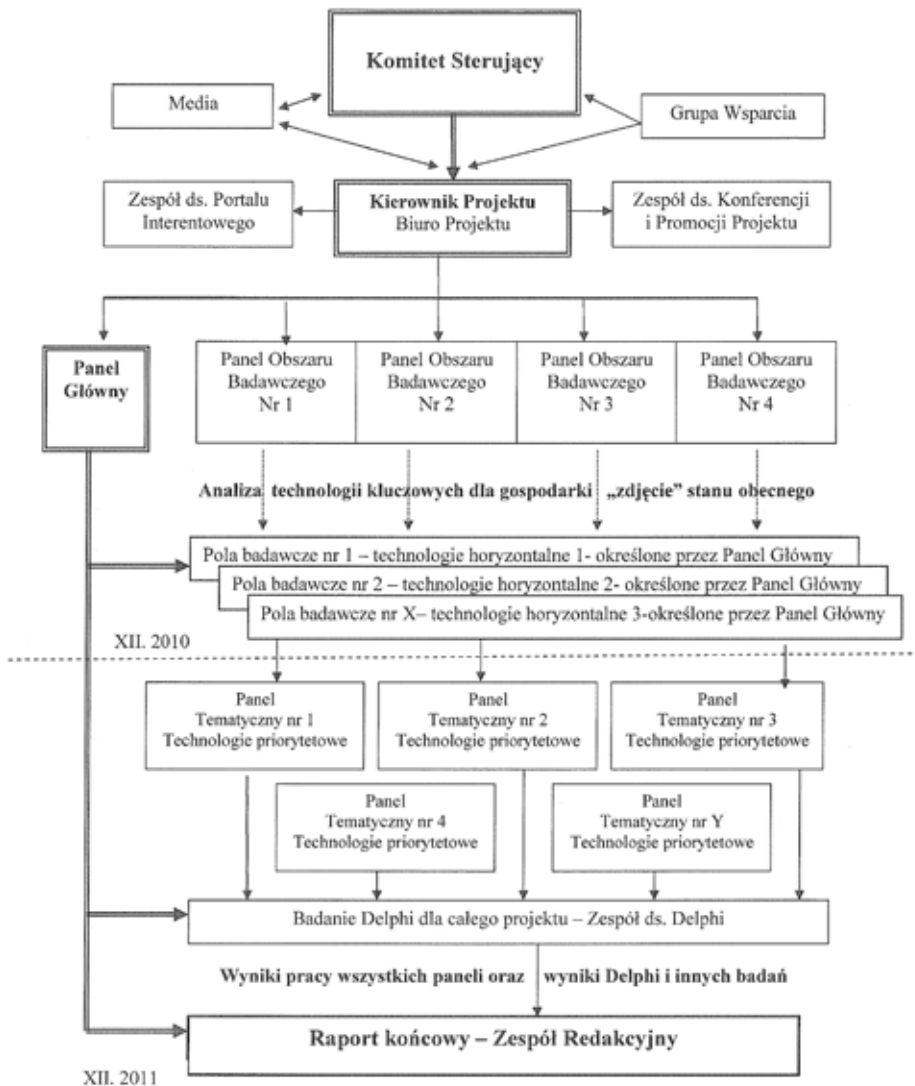
Kierownik Projektu, podlegający bezpośrednio Liderowi Konsorcjum i będący odpowiedzialnym za metodykę i organizację pracy w całym projekcie. W szczególności do jego zadań należało przeszkolenie kluczowych ekspertów, opracowanie metodyki i procedur realizacji projektu oraz nadzór nad właściwym ich stosowaniem. Ponadto pełnił on dodatkowo funkcję Kierownika Panelu Głównego i z tego powodu był odpowiedzialny za nadzór nad realizacją prac merytorycznych na tym szczeblu. Kierownik Projektu udzielał informacji nt. projektu dziennikarzom i wybranym osobom (np. kierownikom jednostek badawczych i kierownikom innych projektów foresight).

Zespół ds. portalu internetowego. Do zadań tego Zespołu należało m.in. zaprojektowanie, uruchomienie i prowadzenie portalu internetowego przez cały okres realizacji projektu, umieszczanie na portalu informacji na temat aktualnego stanu realizacji projektu otrzymywanych od kierownika projektu, odpowiadanie na korespondencję otrzymywaną od ekspertów i jego interesariuszy projektu oraz informacji o charakterze informacyjnym i promocyjnym dostarczanych przez Zespół ds. promocji. Portal internetowy był jednym z najważniejszych instrumentów realizacji projektu.

2.5. Metodyka realizacji projektu

Metodyka realizacji projektu została ogólnie zarysowana w Karcie Dzieła stanowiącej wytyczne Ministerstwa Gospodarki, która powołuje się m.in. na podręcznik „Metodologia Foresightu technologicznego przemysłu” opracowany pod redakcją Jacka Kucińskiego z Instytutu Podstawowych Problemów Techniki Polskiej Akademii Nauk.

Foresight Technologiczny Przemysłu
Schemat organizacyjny - realizacyjny



Rys. 2.1. Schemat organizacyjny projektu „Foresight Technologiczny Przemysłu InSight 2030”

Zalecenia zawarte w Karcie Dzieła nawiązują do powszechnie znanych metod foresight. Prawidłowe wykonanie projektu wymaga jednak odpowiedniego dopracowania nie tylko zasad metodycznych ale i odpowiednich procedur stanowiących szczegółowe instrukcje stosowania odpowiednich instrumentów metodycznych na wszystkich szczeblach wykonawców projektu. Procedury te muszą być dosto-

sowane do konkretnych warunków realizacji projektu, do składu i charakterystyki zespołu eksperckiego oraz ewentualnych dodatkowych oczekiwań Zamawiającego. W praktyce to one decydują o osiągnięciu sukcesu w tego typu przedsięwzięciach.

W związku z powyższym opracowany został zestaw narzędzi metodyki foresight, dopasowany do charakteru i harmonogramu realizacji projektu oraz zestaw szczegółowych procedur ich zastosowania.

Zgodnie z wymogami Karty Działania przeprowadzono szkolenie ekspertów biorących udział w projekcie. Dla uzyskania maksymalnej efektywności szkolenia przeprowadzono je sukcesywnie tuż przed przystąpieniem do realizacji poszczególnych zadań przewidzianych w harmonogramie projektu. Ich konieczność wynikała zarówno ze względu na bardzo wysokie wymagania Zamawiającego odnośnie zakresu i metodyki realizacji projektu jak i konieczność znajomości szczegółowych procedur metod foresight.

Realizując projekt posługiwano się trzema grupami metod znanych z metodologii prac foresightowych:

- Metody oparte na wydobywaniu eksperckiej wiedzy w celu rozwoju długoterminowej strategii, do których zaliczyć można m.in.: analizę SWOT, burzę mózgów, badania Delphi i konsultacje społeczne;
- Metody określające punkty kluczowe działania, do których zaliczyć można m.in.: metodę technologii kluczowych i metodę map drogowych;
- Metody ilościowe, do których zaliczyć można m.in.: analizę STEEP i krzyżową analizę wpływów.

2.6. Prezentacja i upowszechnienie wyników projektu

W celu szerokiego upowszechnienia wyników prac badawczych objętych projektem wśród decydentów politycznych, administracji publicznej i interesariuszy reprezentujących polskie środowisko naukowe i gospodarcze wyniki projektu zostały:

- przedstawione w „Analizie końcowej” zredagowanej w sześciu tomach tematycznych,
- przedstawione w „Streszczeniu analizy końcowej” w języku polskim i angielskim,
- zaprezentowane na konferencji zamykającej projekt z udziałem licznych interesariuszy,
- opublikowane na portalu projektu.

3. Badanie Delphi i konsultacje społeczne

Jako jedno z podstawowych założeń prac nad określeniem perspektyw rozwoju polskiego przemysłu w wybranych obszarach technologicznych przyjęto pozyskanie współpracy możliwie największego grona potencjalnych beneficjentów projektu. Udział interesariuszy jest czynnikiem determinującym ostateczny efekt foresightu, zarówno na etapie prac badawczych jak i – co jest nie mniej istotne – na etapie wykorzystywania jego wyników w praktyce.

Narzędziem realizacji postawionego celu były szerokie konsultacje społeczne i badanie Delphi. Badanie zostało przeprowadzone zgodnie z przyjętą metodą ustaloną w oparciu o opracowane instrukcje, procedury, a także zalecenia Panelu Głównego i obejmowały następujące kluczowe etapy:

- wybór respondentów do badania,
- opracowanie wstępnych list technologii kluczowych,
- opracowanie tez oraz zestawu pytań wraz z predefiniowanymi odpowiedziami,
- opracowanie narzędzia informatycznego,
- przeprowadzenie badania pilotażowego,
- rozesłanie zaproszeń i kwestionariuszy,
- przeprowadzenie badania zasadniczego w postaci dwóch tur rund delphickich,
- opracowanie raportu z badań,
- opracowanie materiału syntetyzującego – streszczenia.

Przygotowanie w zakresie metodycznym, merytorycznym a następnie organizacyjnym badania Delphi było jednym z najistotniejszych elementów prac związanych z realizacją projektu. Niniejszy rozdział jest zwięzłym streszczeniem raportu z wyników badania.

3.1. Cel, metodyka i narzędzia badawcze

3.1.1. Cel badania. Celem badania było poznanie opinii ekspertów na temat zagadnień ujętych w formie tez poprzez wybór odpowiedzi z predefiniowanego zestawu, **pozwalających na identyfikację technologii kluczowych, których rozwój powinien być priorytetem dla polskiego przemysłu w perspektywie do 2030 roku** w następujących obszarach technologicznych: biotechnologia przemysłowa, nanotechnologia, zaawansowane systemy wytwarzania, technologie informacyjne i telekomunikacyjne, mikroelektronika, fotonika, rozwój czystych technologii węglowych, racjonalizacja gospodarowania energią, nowoczesne urządzenia dla przemysłu wydobywczego oraz innowacyjne technologie pozyskiwania surowców mineralnych.

3.1.2. Metodyka i narzędzia badawcze. Formularz do badań metodą Delphi został opracowany w oparciu o metodykę stosowaną w planowaniu strategicznym, polegającą na pozyskiwaniu wiedzy od grupy ekspertów, posiadających dużą wiedzę merytoryczną i doświadczenie w analizowanych obszarach tematycznych. Ankieta zawierała kilkadziesiąt tez ilustrujących problematykę rozwoju obszarów technologicznych i perspektyw rozwoju polskiego przemysłu oraz technologii kluczowych o znaczeniu strategicznym i priorytetowym. Dla uzyskania zbieżnych stanowisk ekspertów przyjęto założenie, że badania ankietowe zostaną przeprowadzone w dwóch turach. Eksperti biorący udział w każdej turze badania mogli udzielać odpowiedzi w dowolnych (wybranych przez siebie) obszarach badawczych.

Tezy zostały skonstruowane w formie zdań twierdzących, nawiązujących do opracowanych w ramach wcześniej ustalonych pól badawczych. Dodatkowo, ze strony Ministerstwa Gospodarki zostały opracowane zagadnienia dotyczące polityki przemysłowej Polski (tzw. Moduł ogólny). Podstawą sformułowania tez była dyskusja w gronie specjalistów różnych dziedzin (w ramach spotkań panelowych) poprzedzona analizą dostępnych danych, diagnozą stanu i uwarunkowań wdrażania technologii przeprowadzonych na wcześniejszych etapach realizacji projektu.

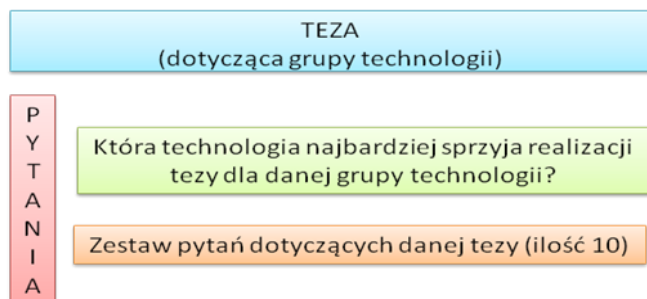
Mając na uwadze szerokie spektrum tematyczne projektu kwestionariusz ankiety został podzielony na następujące działy tematyczne odpowiadające polom badawczym (PB) projektu:

- Moduł ogólny – Polityka przemysłowa,
- PB1 Biotechnologia przemysłowa,
- PB2 Nanotechnologia,
- PB3 Zaawansowane systemy wytwarzania,
- PB4 Technologie informacyjne i telekomunikacyjne,
- PB5 Mikroelektronika,
- PB6 Fotonika,

PB7 Rozwój czystych technologii węglowych,
PB8 Racjonalizacja gospodarowania energią,
PB9 Nowoczesne urządzenia dla przemysłu wydobywczego,
PB10 Innowacyjne technologie pozyskiwania surowców mineralnych.

W module ogólnym, ze względu na jego specyfikę, zestaw pytań i odpowiedzi był zróżnicowany dla poszczególnych tez. W przypadku pól badawczych przyjęto zestaw 10 pytań, identycznych dla każdej tezy, wraz z predefiniowanymi odpowiedziami. Dodatkowo pytanie 1 w polach badawczych 1–10 posiadało indywidualny zestaw odpowiedzi, tj. wykaz technologii priorytetowych dla każdej tezy, gdzie zadaniem eksperta było wskazanie (lub opcjonalnie wpisanie/dodanie) technologii najbardziej sprzyjającej realizacji danej tezy. W załączniku 1 do *Raportu z badań ankietowych metodą Delphi zrealizowanego w ramach Podzadania 3.3.* znajduje się zestaw pytań i odpowiedzi dla modułu ogólnego i pól badawczych 1–10, natomiast w załączniku 2 – lista technologii priorytetowych przyporządkowanych do tez.

Schemat logiczny konstrukcji ankiety w I turze dla Pól Badawczych 1 – 10 przedstawiał się następująco.



Rys. 3.1. Schemat logiczny konstrukcji ankiety w I turze badania dla tez pól badawczych 1–10

Do udziału w badaniu zostali zaproszeni m.in. pracownicy naukowcy, przedsiębiorcy, przedstawiciele ugrupowań politycznych, administracji centralnej, administracji regionalnej i lokalnej, mediów, organizacji pozarządowych, związków zawodowych oraz samorządów gospodarczych i/lub zawodowych. Zaproszenia zostały skierowane do osób piastujących stanowiska zarządcze i kierownicze (różnego stopnia), operacyjne lub będące samodzielnyimi pracownikami naukowymi, jak i specjalistów-praktyków w danym obszarze technologicznym.

W ramach badań ankietowych eksperci określali perspektywy czasowe, w których będą widoczne skutki realizacji tez. Ustalenie ram czasowych posłużyło m.in. do formułowania krzywych życia technologii. Respondenci badania wskazali również dzia-

łania niezbędne do realizacji tez, jak również wypowiedzieli się na temat uwarunkowań rozwoju poszczególnych grup technologii, a w szczególności czy ich wdrażanie:

- będzie miało znaczenie strategiczne dla polskiego przemysłu,
- wymaga wsparcia dedykowanym programem lub polityką działań,
- przyczyni się do wzmocnienia pozycji gospodarczej Polski na arenie międzynarodowej,
- zapewni wzrost eksportu,
- wpłynie na poprawę jakości życia.

Narzędziem badawczym wykorzystanym w badaniu był formularz ankietowy dostępny online połączony z bazą danych. Respondenci w ramach I tury badań zweryfikowali wstępną listę technologii kluczowych poprzez wybór technologii, które najbardziej sprzyjają realizacji tez. Dodatkowo wskazali działania, które warunkują realizację tez oraz rozwój obszarów technologicznych zidentyfikowanych w ramach poszczególnych pól.

Celem II tury badania było uściślenie zebranych opinii ekspertów na temat postawionych tez, poprzez udział ekspertów zarówno z I tury, jak również tych, którzy dołączyli do badania w II turze. Głównym kryterium stosowanym przy analizie uzyskanych odpowiedzi było osiągnięcie progu wskazań powyżej 50 proc. (kryterium jednoznaczności), tzn. wybór danej odpowiedzi przez ponad połowę respondentów w obu turach badania. W przypadku, jeżeli tylko w jednej z tur badania odpowiedź spełniła kryterium jednoznaczności to w analizie uwzględniono wartość średnią z obu tur. Dodatkowo, gdy żadna z predefiniowanych odpowiedzi nie spełniła kryterium jednoznaczności, tj. odpowiedzi powyżej 50 proc. w obu turach jednocześnie, za odpowiedź uznawano tę, która uzyskała największą ilość wskazań.

W celu konsolidacji i uzyskania jednoznacznych interpretacyjnie wyników, odpowiedzi:

- „tak” i „raczej tak” interpretowano jako „tak”,
- „nie” i „raczej nie” interpretowano jako „nie”.

3.2. Wyniki badań ankietowych

3.2.1. Zestawienie wyników. Pełne zestawienie wyników statystycznych I i II tury badań znajduje się w załączniku 3 do *Raportu z badań ankietowych metodą Delphi zrealizowanego w ramach Podzadania 3.3*. Dodatkowo w załączniku 4 do ww. raportu zostały zebrane technologie, które w ramach badania zostały wskazane jako sprzyjające spełnieniu tez w poszczególnych polach badawczych. W dalszych sek-

cjach tego podrozdziału syntetycznie przedstawiono wyniki obu tur badań w poszczególnych obszarach technologicznych (polach badawczych).

3.2.2. Moduł ogólny „Polityka przemysłowa”. Badaniem objęto następujące zagadnienia:

TEZA 1: Podnoszenie innowacyjności oraz potencjału technologicznego w Polsce odbywa się w znacznej mierze poprzez kreowanie nowych, polskich technologii, a nie tylko poprzez zakup rozwiązań innowacyjnych (absorpcja technologii) od zagranicznych przedsiębiorstw.

TEZA 2: Zapewnienie środków finansowych przez państwo na rozwój technologii, a w tym kluczowych i niszowych dla polskiego przemysłu, jest niezbędne, aby zapewnić ich wdrożenie.

TEZA 3: Ingerencja państwa poprzez wspieranie obszarów o największym potencjale rozwoju (tzw. polskich rynków wiodących) jest niezbędna, aby umożliwić rozwój innowacyjnych przedsiębiorstw oraz umożliwić ich konkurowanie na rynkach międzynarodowych.

Zdaniem respondentów wszystkie tezy urzeczywistnią się do 2030 roku. Dodatkowo ich realizacja będzie miała znaczenie strategiczne dla rozwoju polskiego przemysłu oraz pozytywny wpływ na wzrost PKB, jakość środowiska naturalnego, jakość życia i bezpieczeństwo energetyczne. Podnoszenie innowacyjności oraz potencjału technologicznego w Polsce, które odbywać się będzie w znacznej mierze poprzez kreowanie nowych polskich technologii (teza 1) jest możliwe dzięki współpracy nauki z biznesem (28 proc. respondentów w I turze i 32 proc. w II turze). Dodatkowo, spełnienie tezy 1 zdaniem 25 proc. respondentów w I turze i 24 proc. w II turze jest uzależnione od wsparcia B+R, co umożliwi wdrożenie technologii będących polskimi specjalnościami.

Jednakże część ekspertów poddaje w wątpliwość możliwość spełnienia tej tezy z powodu faktu, że „system komercjalizowania badań i wdrażania innowacyjnych technologii w Polsce wciąż jest zbyt słaby” (28 proc. w I i 22 proc. w II turze). Ponad połowa ekspertów wskazała, że działaniami niezbędnymi do podjęcia w celu realizacji tezy 1 są:

- stosowanie zachęt dla przedsiębiorców w celu wdrażania przez nich innowacyjnych rozwiązań,
- tworzenie sieci współpracy między nauką a biznesem,
- tworzenie przez państwo instrumentów pozafinansowych umożliwiających rozwój technologii oraz ich komercjalizację,
- poprawa infrastruktury badawczej.

W konsekwencji realizacji tezy 1 nastąpi:

- wzrost innowacyjności polskich przedsiębiorstw,

- wzmacnianie istniejących lub wykreowanie nowych specjalności przemysłu w Polsce,
- tworzenie nowych miejsc pracy, zawodów, kwalifikacji,
- wzmacnianie i lepsze wykorzystanie istniejącego potencjału naukowo-badawczego.

W przypadku tezy „Zapewnienie środków finansowych przez państwo na rozwój technologii, a w tym kluczowych i niszowych dla polskiego przemysłu jest niezbędne, aby zapewnić ich wdrożenie” (teza 2), 40 proc. w I turze i 47 proc. w II turze ekspertów wskazało, że jest ona pożądana, ponieważ bez dodatkowych nakładów finansowych nie jest możliwe wdrożenie technologii na rynku wyłącznie przy własnych nakładach przedsiębiorstwa, co jest związane z faktem, iż inwestycje w innowacje oraz B+R są długotrwałe i ryzykowne. Dodatkowo respondenci określili, iż realizacja tezy może być konsekwencją wsparcia technologii istotnych dla polskiego przemysłu, co przyczynia się do „podnoszenia konkurencyjności gospodarki oraz wzrostu gospodarczego” (34 proc. w I turze i 38 proc. w II turze).

Według respondentów głównymi czynnikami sprzyjającymi realizacji tezy 2 są:

- tworzenie instrumentów finansowych przeznaczonych bezpośrednio dla sektora przedsiębiorstw na wdrażanie i komercjalizację technologii oraz przeznaczonych dla sektora badawczego i przedsiębiorstw na prowadzenie badań,
- wykorzystanie środków finansowych z nowej perspektywy finansowej UE dzięki uwzględnieniu zidentyfikowanych kluczowych i niszowych technologii w programach operacyjnych.

Zdaniem większości ekspertów w wyniku urzeczywistnienia się tezy nastąpi:

- rozwój przez polski przemysł technologii, w których się specjalizuje, dzięki czemu będzie miał szansę stać się liderem na rynkach zagranicznych,
- finansowanie badań oraz wdrażanie rozwiązań na podstawie analizy rynku oraz potencjału technologicznego przemysłu, dzięki czemu wzrośnie szansa sukcesu finansowanych technologii na rynku oraz efektywność samego finansowania,
- kształtowanie się nowych obszarów przemysłowych o dużym potencjale rozwoju,
- wzmacnianie istniejących lub wykreowania nowych specjalności przemysłu w Polsce,
- kreowanie nowych funkcji przemysłu,
- tworzenie nowych miejsc pracy, zawodów, kwalifikacji,
- wzmacnianie i lepsze wykorzystanie istniejącego potencjału naukowo-badawczego.

W przypadku tezy 3 „Ingerencja państwa poprzez wspieranie obszarów o największym potencjale rozwoju (tzw. polskich rynków wiodących) jest niezbędna,

aby umożliwić rozwój innowacyjnych przedsiębiorstw oraz umożliwić ich konkurencję na rynkach międzynarodowych” jej prawdziwość zdaniem większości ekspertów wynika z faktu, iż w Polsce brak jest zidentyfikowanych typowo polskich specjalności, dzięki którym polska gospodarka mogłaby osiągnąć przewagę konkurencyjną na rynkach międzynarodowych (44 proc. w I i 57 proc. w II turze). Podkreślano także, że wspieranie całego przemysłu, bez względu na efektywność przedsiębiorstw oraz popyt na ich produkty/usługi, jest niezasadne (26 proc. w I i 22 proc. w II turze).

Zdaniem większości respondentów realizacja tezy 3 jest warunkowana priorytetowym potraktowaniem kluczowych i perspektywicznych dla rozwoju polskiego przemysłu obszarów technologicznych w ramach przyszłego schematu wsparcia oraz zapewnieniem wsparcia finansowego (pośredniego lub bezpośredniego) ze strony środków publicznych, co przyczyni się do:

- powstania nowych centrów naukowo-badawczych, dzięki którym polskie rynki wiodące będą się rozwijać,
- podnoszenia kwalifikacji pracowników,
- wzrostu eksportu polskich produktów na rynki znacznie słabiej rozwinięte w zidentyfikowanych obszarach,
- ukierunkowania polskiej gospodarki oraz badań naukowych na obszary przynoszące realne korzyści ekonomiczne oraz społeczne.

3.2.3. PB 1 – Biotechnologia przemysłowa. Badaniem objęto następujące zagadnienia:

TEZA 1: Biopaliwa nowej generacji z odnawialnych surowców, w tym głównie z odpadów, mają ekonomicznie istotne znaczenie dla polskiej gospodarki.

TEZA 2: Procesy biorafineryjne, w wyniku których uzyskuje się wysoce specyficzne chemikalia i biopolimery, stanowiąc będą technologie wykorzystywane w polskiej gospodarce w skali istotnej ekonomicznie.

TEZA 3: Postępujący rozwój molekularnej inżynierii biokatalizatorów przemysłowych stanowi naturalny proces rozwoju polskiego przemysłu chemicznego.

Realizacja tezy PBI związanych z biotechnologiami przemysłowymi zdaniem większości ekspertów nastąpi do roku 2030 i ma znaczenie strategiczne dla rozwoju polskiego przemysłu. Jednakże ich realizacja wymaga przyjęcia programu wsparcia lub polityki działań. Technologiami, które najbardziej sprzyjają realizacji tezy są:

- w przypadku tezy 1 – biopaliwa nowej generacji z odnawialnych surowców w tym głównie z odpadów,
- w przypadku tezy 2 – biorafineryjne procesy do otrzymywania wysoce specyficznych chemikaliów i biopolimerów,
- w przypadku tezy 3 – molekularna inżynieria biokatalizatorów przemysłowych.

Wdrażanie biopaliw nowej generacji z odnawialnych surowców, molekularnej inżynierii biokatalizatorów przemysłowych oraz produkcji wysoko specyficznych chemikaliów i biopolimerów zdaniem większości ekspertów przyczyni się do wzmocnienia pozycji gospodarczej Polski na arenie międzynarodowej oraz pozytywnie wpłynie na jakość życia. Spełnienie tezy 2 wynika w głównej mierze z zapisów polityki unijnej oraz w przypadku tezy 2 również z krajowych uwarunkowań prawnych.

Działaniami niezbędnymi do podjęcia w celu realizacji tezy PBI są: zwiększenie nakładów na badania naukowe oraz wprowadzenie odpowiednich instrumentów fiskalnych wsparcia wdrożenia komercyjnego (kredyty, podatki, dotacje). W przypadku realizacji tezy 1 i 2 dodatkowo należy podjąć działania legislacyjne. Realizacja tezy 3 wymaga silnego wsparcia przez władze krajowe i regionalne systemowej współpracy pomiędzy sektorem B+R a przemysłem/przedsiębiorczością.

W wyniku realizacji tezy PBI nastąpi dalszy rozwój biotechnologii przemysłowych. Dodatkowo produkcja wysoko specyficznych chemikaliów i biopolimerów oraz molekularnej inżynierii biokatalizatorów przemysłowych wpłynie na rozwój zaawansowanych systemów wytwarzania. Produkcja biopaliw nowej generacji wpłynie również na rozwój technologii racjonalizujących gospodarowanie energią. Spełnienie tezy PBI przyczyni się także do wykreowania nowych specjalności przemysłu w Polsce oraz tworzenia nowych miejsc pracy, zawodów, kwalifikacji. Kształtowanie nowych obszarów przemysłowych o dużym potencjale rozwoju będzie konsekwencją realizacji tezy 2 i 3. Wdrażanie technologii produkcji wysoko specyficznych chemikaliów i biopolimerów wpłynie na wzmocnienie i lepsze wykorzystanie istniejącego potencjału naukowo-badawczego.

3.2.4. PB 2 – Nanotechnologia. Dla pola badawczego „*Nanotechnologia*” postawiono następujące tezy:

TEZA 1: W wyniku rozwoju nanotechnologii zostaną opracowane materiały o szerokich właściwościach aplikacyjnych, produkowane przez polski przemysł w ilościach mających istotne znaczenie ekonomiczne dla gospodarki.

TEZA 2: Technologie wytwarzania nanocząsteczek oraz zaawansowanych podzespołów uniwersalnych (źródła plazmy, źródła jonów, układy próżniowe, układy mikrofalowe, rozproszone systemy sterowania) będą miały kluczowe znaczenie w rozwoju nowoczesnych technologii stosowanych w polskiej gospodarce.

TEZA 3: Wytwarzanie nanostruktur funkcjonalnych jest naturalnym procesem rozwoju nowoczesnych technologii stosowanych w polskim przemyśle.

TEZA 4: Warunkiem osiągnięcia przez Polskę poziomu konkurencyjności w skali globalnej w zakresie wybranych nanotechnologii jest skoncentrowanie nauki oraz wstrzymanie procesu rozproszenia i powielania inwestycji w infrastrukturę badawczą ze środków publicznych.

Wyniki badań pozwalają stwierdzić, że realizacja wszystkich tez PB2 ma znaczenie strategiczne dla rozwoju polskiego przemysłu, jak również przyczyni się do wzmocnienia pozycji gospodarczej Polski na arenie międzynarodowej oraz pozytywnie wpłynie na jakość życia. Rozwój grup technologii objętych badaniem warunkują polityki unijne i krajowe. W celu realizacji tez niezbędne jest zwiększenie nakładów na badania naukowe, wprowadzenie odpowiednich instrumentów fiskalnych wspierających wdrożenia komercyjnego (kredyty, podatki, dotacje) oraz silne wsparcie przez władze krajowe i regionalne systemowej współpracy pomiędzy sektorem B+R a przemysłem/przedsiębiorczością.

Technologiami, które najbardziej sprzyjają realizacji tezy 1 są technologie wytwarzania nanostruktur specjalnych i funkcjonalnych oraz nanomateriałów konstrukcyjnych. W przypadku tezy 2 technologiami tymi są technologie wytwarzania nanocząstek oraz zaawansowanych podzespołów uniwersalnych (źródła plazmy, źródła jonów, układy próżniowe, układy mikrofalowe, rozproszone systemy sterowania). Technologie wytwarzania nanostruktur funkcjonalnych sprzyjać będą realizacji tezy 3, natomiast dla tezy 4 będą to technologie wytwarzania nanostruktur specjalnych, nanomateriałów konstrukcyjnych oraz technologie wytwarzania nanowarstw i nanopokryć (nanokompozytowe, z barierą cieplną, przeciwużyciowe i hydrofobowe, biokompatybilne).

Zdaniem ponad połowy ekspertów spełnienie wszystkich tez PB2 wpłynie pozytywnie na rozwój technologii w wielu techniki przemysłowej i pozaprzemysłowej, w tym biotechnologii i nanomedycyny, a także przyczyni się do wykreowania nowych specjalności przemysłu w Polsce, tworzenia nowych miejsc pracy, zawodów, kwalifikacji, kształtowania nowych obszarów przemysłowych o dużym potencjale rozwoju oraz wzmocnienia i lepszego wykorzystania istniejącego potencjału naukowo-badawczego. Dodatkowo realizacja tezy 1 i 2 doprowadzi do wzmocnienia istniejących specjalności przemysłu w Polsce, natomiast tezy 1, 2 i 3 (zdaniem ponad 50 proc. respondentów) do tworzenia nowych/wzmocnienia istniejących środowisk naukowych i tematycznych.

3.2.5. PB 3 – Zaawansowane systemy wytwarzania. Badaniem objęto następujące zagadnienia:

TEZA 1: Globalny postęp technologiczny spowoduje rozwój polskich technologii i systemów do konfiguracji autonomicznych oraz rozproszonych zautomatyzowanych i zrobotyzowanych systemów wytwarzania.

TEZA 2: Wprowadzanie nowych technologii w zakresie sterowania i zarządzania procesami wytwórczymi warunkuje rozwój polskiego przemysłu.

TEZA 3: Zrównoważony rozwój przemysłu w Polsce spowoduje powszechne stosowanie tzw. technologii 3R (reduce, reuse, recycle) w procesowym podejściu do projektowania i wytwarzania.

Zdaniem aż 97 proc. respondentów najbardziej sprzyja realizacji tezy 1 rozwój systemów do konfiguracji autonomicznych oraz rozproszonych zautomatyzowanych i zrobotyzowanych systemów wytwarzania z pomocą obróbki plastycznej. W przypadku tezy 2 technologiami tymi są systemy sterowania i zarządzania procesami wytwórczymi oraz zarządzania przedsiębiorstwem produkcyjnym skonsolidowanym i rozproszonym (siecią) na poziomie technicznym i biznesowym oraz metody zarządzania cyklem życia wyrobu (również serwisem), natomiast realizacji tezy 3 sprzyjać będzie rozwój systemów/technologii 3R (reduce, reuse, recycle) w procesowym podejściu do projektowania i wytwarzania.

Wszystkie tezy PB3 urzeczywistnią się przed rokiem 2030. Ich realizacja wynika z uwarunkowań polityk krajowych. Respondenci wskazali, że spełnienie tez wymaga wsparcia odpowiednim centralnym programem działań, obejmującym:

- zwiększenie nakładów na badania naukowe,
- wprowadzenie odpowiednich instrumentów fiskalnych wsparcia wdrożenia komercyjnego (kredyty, podatki, dotacje),
- silne wsparcie przez władze krajowe i regionalne systemowej współpracy pomiędzy sektorem B+R a przemysłem/przedsiębiorczością.

W konsekwencji realizacji wszystkich tez PB3 nastąpi wzmacnianie istniejących specjalności przemysłu w Polsce, tworzenie nowych miejsc pracy, zawodów, kwalifikacji oraz wzmacnianie i lepsze wykorzystanie istniejącego potencjału naukowo-badawczego.

Dodatkowo realizacja tezy 1 przyczyni się do kształtowania nowych obszarów przemysłowych o dużym potencjale rozwoju, natomiast spełnienie tezy 2 do tworzenia nowych/wzmacniania istniejących środowisk naukowych i tematycznych. Wykreowanie nowych specjalności przemysłu w Polsce będzie następstwem spełnienia tezy 2 i 3.

3.2.6. PB 4 – Technologie informacyjne i telekomunikacyjne. Badaniom poddano następujące tezy:

TEZA 1: Szerokie zastosowanie inteligentnych systemów informatycznych w zakresie zarządzania urządzeniami i procesami, a w tym m.in. zużycia energii, wpłynie w sposób istotny na zwiększenie konkurencyjności polskiego przemysłu.

TEZA 2: Polskie osiągnięcia w zakresie kryptografii oraz systemów monitorujących, autoryzacji i identyfikacji pozwolą na zdobycie istotnej pozycji w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa przesyłanych i przechowywanych danych, zarówno na rynku krajowym, jak i globalnym.

TEZA 3: Tworzenie systemów adaptatywnych wykorzystujących inteligentne, samo-konfigurujące się sieci sensorów stanowi obszar, w którym polskie przedsiębiorstwa osiągną sukcesy zarówno na rynku krajowym, jak i globalnym.

TEZA 4: Teleinformatyka medyczna, w tym zdalna opieka medyczna, będzie stosowana w Polsce na szeroką skalę.

Respondenci uznali, że technologie bezprzewodowych transmisji danych 4G – LTE Advanced oraz WiMAX najbardziej będą sprzyjały spełnieniu tezy 4, a technologie smart grids/cities (sieci inteligentnych elementów i czujników) – spełnieniu tezy 1, natomiast biometryczne techniki identyfikacji i uwierzytelniania będą sprzyjały spełnieniu tezy 2. Respondenci nie wybrali jednoznacznie technologii najbardziej sprzyjającej spełnieniu tezy 3, ale najczęstszymi odpowiedziami były autonomiczne samokonfigurujące się sieci bezprzewodowe, technologia agentowa oraz adaptowalne roboty usługowe.

Zdaniem respondentów wszystkie tezy powinny się spełnić przed końcem 2030 roku. Będą one miały znaczenie strategiczne dla rozwoju polskiego przemysłu, ale ich rozwój będzie wymagał wsparcia programem lub polityką działań odnoszoną do poszczególnych technologii.

Spełnienie tez 1 i 2 jednoznacznie wynika, zdaniem badanych, z uwarunkowań polityki unijnej oraz krajowej, natomiast realizacja tez 2 i 4 wynika jedynie z uwarunkowań polityki krajowej. Większość ekspertów uważa, że do spełnienia tez 1 – 4 niezbędne jest zwiększenie nakładów na badania naukowe oraz silne wsparcie przez władze krajowe i regionalne systemowej współpracy pomiędzy sektorem B+R, a przemysłem/przedsiębiorczością. W tezie 4 respondenci wskazali ponadto działania legislacyjne oraz konieczność zwiększenia akceptacji społecznej.

Rozwój technologii informacyjnych oraz telekomunikacyjnych jest silnie skorelowany z zaawansowanymi systemami wytwarzania oraz racjonalizacją gospodarowania energią i mikroelektroniką. Spełnienie tez PB4 przyczyni się również do wzmocnienia i lepszego wykorzystania istniejącego potencjału naukowo-badawczego.

3.2.7. PB 5 – Mikroelektronika. Badaniem objęto następujące tezy:

TEZA 1: Opanowana zostanie w Polsce technologia wytwarzania grafenu w skali pół-przemysłowej oraz jego zastosowanie do produkcji ekranów dotykowych i sensorów.

TEZA 2: Specyficzne własności przyrządów zbudowanych na bazie węgla krzemu spowodują jego szerokie zastosowanie w polskiej gospodarce, w tym m.in. w energetyce, służąc pośrednio podniesieniu efektywności energetycznej.

TEZA 3: Projektowanie i wytwarzanie mikrosystemów jest warunkiem rozwoju nowoczesnych technologii w polskiej gospodarce.

Respondenci uznali, że rozwijanie nowych możliwości aplikacyjnych bazujących na technologiach grafenowych najbardziej będzie sprzyjało spełnieniu tezy 1, rozwijanie nowych możliwości aplikacyjnych bazujących na technologii węgla

krzemu będzie najbardziej sprzyjało spełnieniu tezy 2, natomiast technologia mikrosystemów będzie sprzyjała spełnieniu tezy 3. Spełnienie wszystkich tez będzie wymagało wsparcia centralnym programem badawczo-rozwojowym i odpowiednią polityką wspierania wdrożeń.

Zdaniem respondentów wszystkie tezy PB5 spełnią się przed końcem 2030 roku i będą miały znaczenie strategiczne dla rozwoju polskiego przemysłu. Dodatkowo, eksperci określili, że realizacja objętych badaniem zagadnień w ramach PB5 będzie wynikała z uwarunkowań polityki krajowej.

Niezbędnymi działaniami do urzeczywistnienia tez PB5 są:

- zwiększenie nakładów na badania naukowe,
- wprowadzenie odpowiednich instrumentów fiskalnych wsparcia wdrożenia komercyjnego (kredyty, podatki, dotacje),
- silne wsparcie przez władze krajowe i regionalne systemowej współpracy pomiędzy sektorem B+R, a przemysłem/przedsiębiorczością.

Rozwój mikroelektroniki jest powiązany z większością dziedzin współczesnej techniki, w szczególności z technologiami informacyjnymi i telekomunikacyjnymi, nanotechnologiami, fotoniką i zaawansowanymi systemami wytwarzania. Ankietowani wskazywali, że w wyniku spełnienia tez PB5 nastąpi wykreowanie nowych specjalności przemysłu w Polsce oraz wzmacnianie i lepsze wykorzystanie istniejącego potencjału naukowo-badawczego. Ponadto spełnienie tezy 1 oraz 3 przyczyni się do tworzenia nowych miejsc pracy, zawodów oraz kwalifikacji.

3.2.8. PB 6 – Fotonika. W tym polu badawczym sformułowano poniższe tezy:

TEZA 1: Rozwój fotoniki jest stymulowany w kraju przez działalność małych i średnich przedsiębiorstw w sektorze high-tech.

TEZA 2: Technologie na bazie optyki polimerowej zdominują stosowane w Polsce rozwiązania związane z transmisją danych, jak również z budową czujników na bazie POF (Plastic Optical Fiber).

TEZA 3: Fotowoltaika polimerowa ma w Polsce dostateczny potencjał, aby osiągnąć poziom technologiczny umożliwiający praktyczne jej wykorzystanie jako jedno z istotnych ekonomicznie źródeł energii odnawialnej.

TEZA 4: W Polsce istnieje dobrze przygotowana kadra i laboratoria, aby przy odpowiednim wsparciu możliwe było opanowanie produkcji nowych, wyspecjalizowanych czujników i systemów fonicznych mających zbyt na rynku globalnym.

W ramach badań respondenci zweryfikowali opracowaną na wcześniejszych etapach projektu listę technologii kluczowych w tym polu badawczym i określili, iż technologie polimerowe dla fotowoltaiki, czujniki i systemy foniczne najbardziej sprzyjają rozwojowi fotoniki. Większość respondentów była zdania,

że wszystkie tezy z wyjątkiem 3 powinny się spełnić przed 2030. W przypadku tezy 3 respondenci nie określili jednoznacznie okresu, w którym spodziewają się jej spełnienia. Ankietowani jednoznacznie stwierdzili, że realizacja analizowanych zagadnień w obrębie PB6 będzie miała znaczenie strategiczne dla rozwoju polskiego przemysłu i wynika z uwarunkowań polityki krajowej. Respondenci uznali zwiększenie nakładów na badania naukowe oraz silne wsparcie przez władze krajowe i regionalne systemowej współpracy pomiędzy sektorem B+R, a przemysłem/przedsiębiorczością, jako niezbędne do spełnienia wszystkich tez. Ponadto, w tezie 1 i 3 eksperci wskazali również konieczność wprowadzenia odpowiednich instrumentów fiskalnych wsparcia wdrożenia komercyjnego (kredyty, podatki, dotacje).

3.2.9. PB 7 – Rozwój czystych technologii węglowych. Badaniem objęto następujące zagadnienia:

TEZA 1: Polski sektor energetyki będzie wykorzystywał węglowe bloki energetyczne o sprawności netto powyżej 44 proc..

TEZA 2: Technologie poligeneracyjne będą stanowiły podstawę wytwarzania energii i surowców chemicznych w polskim przemyśle.

TEZA 3: Będzie funkcjonował rozwinięty, krajowy system współspalania węgla z paliwami alternatywnymi (biomasa, odpady organiczne).

TEZA 4: Technologie CCS (system wychwytywania i magazynowania dwutlenku węgla) będą wykorzystywane w polskiej energetyce na znaczną skalę.

Respondenci uznali, że współspalanie bezpośrednio biomasy z węglem oraz technologie CCS będą sprzyjały odpowiednio spełnieniu tezy 3 i 4. W przypadku tezy 1 zdania respondentów były podzielone pomiędzy technologiami kotła pyłowego o parametrach ultranadkrytycznych, np. 350 bar 700/700°C (33 proc.), technologiami przeróbki węgla/technologie głębokiego wzbogacania węgla na potrzeby wytwarzania ciepła i energii elektrycznej (29 proc.) oraz technologiami kotła pyłowego o podwyższonych parametrach nadkrytycznych, np. 250 bar 600/610°C (25 proc.). W tezie 3 respondenci najczęściej wskazywali technologię zgazowania tlenowego (oxygen-blown) (22 proc.). Spełnienie tez PB7 będzie wymagało wsparcia programem lub polityką działań w zakresie rozwoju poszczególnych technologii.

Respondenci byli zdania, że tezy 1, 2 i 3 powinny się spełnić przed 2030, zaś teza 4 dopiero po roku 2030 lub nigdy (69 proc. w I i 65 proc. w II turze). Dodatkowo stwierdzili, że realizacja tez będzie miała znaczenie strategiczne dla rozwoju polskiego przemysłu. Spełnienie wszystkich tez Poła Badawczego 7 będzie jednoznacznie wynikać z uwarunkowań polityki unijnej, natomiast wszystkie z wyjątkiem tezy 4 będą wynikały również z uwarunkowań polityki krajowej.

W celu rozwoju czystych technologii węglowych niezbędne jest wprowadzenie odpowiednich instrumentów fiskalnych wsparcia wdrożenia komercyjnego (kredyty,

podatki, dotacje) oraz silne wsparcie przez władze krajowe i regionalne systemowej współpracy pomiędzy sektorem B+R, a przemysłem/przedsiębiorczością. W przypadku realizacji tezy 3 i 4 niezbędne jest również podjęcie działań legislacyjnych. Obszarem, który w wyniku realizacji tezy PB7, ulegnie rozwojowi technologicznemu jest oprócz czystych technologii węglowych – racjonalizacja gospodarowania energią. Urzeczywistnienie tezy przyczyni się również do wzmocnienia istniejących specjalności przemysłu w Polsce oraz pozycji gospodarczej na arenie międzynarodowej. Wyjątek stanowi teza 4, gdzie odpowiedzi respondentów nie prowadzą do wspólnego stanowiska. Spełnienie jedynie tezy 1 i 2 zapewni wzrost eksportu.

3.2.10. PB 8 – Racjonalizacja gospodarowania energią. W zakresie racjonalizacji gospodarowania energią respondenci oceniali następujące tezy:

TEZA 1: Dzięki zastosowaniu nowoczesnych technologii średnie zużycie energii w budynkach mieszkalnych osiągnie poziom poniżej 60 kWh/m² na rok.

TEZA 2: Wzrost świadomości polskiego społeczeństwa spowoduje racjonalizację zużycia energii w rozmiarach istotnych dla polskiej energetyki.

TEZA 3: Wprowadzenie technologii energooszczędnych w transporcie, przemyśle i przesyłach spowoduje obniżenie jednostkowych wskaźników zużycia surowców i energii o co najmniej 30 proc.

Budownictwo nowych budynków – pasywnych, zeroenergetycznych, energetycznych plus (zużycie energii < 15 kWh/m²*rok), w tym konstrukcje przegród budowlanych z wykorzystaniem materiałów izolacyjnych i elewacyjnych o wysokim oporze cieplnym zdaniem 37 proc. respondentów najbardziej sprzyja realizacji tezy 1, przy czym była to odpowiedź najczęściej wskazana. Podobnie w przypadku tezy 3, w której największą ilość wskazań uzyskały technologie wykorzystania energii odpadowej, w tym niskotemperaturowej energii odpadowej (jedynie 28 proc. badanych). Spośród badanych 51 proc. wskazało, że wdrożenie zmian w stylu życia (praca zdalna, energooszczędne pranie, gotowanie, kąpiel, ograniczenie konsumpcji, telekonferencje, wyłączanie funkcji STANDBY oraz OFF-MODE, itp.) będzie sprzyjało realizacji tezy 2.

Zdaniem ponad połowy respondentów wszystkie tezy PB8 urzeczywistnią się do roku 2030 i mają znaczenie strategiczne dla rozwoju polskiego przemysłu. Ponadto ich realizacja wynika z uwarunkowań polityki krajowej i unijnej oraz wymaga wsparcia programem lub polityką działań w zakresie rozwoju analizowanych technologii. Działaniem, którego podjęcie jest niezbędne dla spełnienia wszystkich tezy PB8, jest wprowadzenie odpowiednich instrumentów fiskalnych wsparcia wdrożenia komercyjnego (kredyty, podatki, dotacje). Dodatkowo realizacja tezy 1 i 3 wymaga podjęcia działań legislacyjnych, natomiast tezy 2 i 3 zwiększenia akceptacji społecznej. Zwiększenie nakładów na badania naukowe jest wymogiem w celu realizacji tezy 1. Spełnienie tezy przyczyni się do rozwoju technologii w ob-

szarach technologicznych związanych z racjonalizacją gospodarowania energią oraz w przypadku tezy 3 również zaawansowanych systemów wytwarzania.

3.2.11. PB 9 – Nowoczesne urządzenia dla przemysłu wydobywczego. Badaniem objęto następujące zagadnienia:

TEZA 1: Systemy poprawiające bezpieczeństwo pracy w warunkach zagrożeń naturalnych będą stanowić polską ofertę dla globalnego górnictwa.

TEZA 2: Nowoczesne technologie wzbogacania i przeróbki węgla zwiększą konkurencyjność sektora górnictwa węgla kamiennego w Polsce.

TEZA 3: Innowacyjne rozwiązania techniczne dla górnictwa staną się polskim towarem eksportowym.

Uzyskane wyniki wykazały, że żadna technologia mogąca najbardziej sprzyjać realizacji tez nie uzyskała poziomu 50 proc. odpowiedzi respondentów. Szczegółowy rozkład odpowiedzi udzielonych podczas badania znajduje się w *Raporcie z badań ankietowych metodą Delphi zrealizowanego w ramach Podzadania 3.3.*

Podczas badania, eksperci określili, że realizacja tez nastąpi przed rokiem 2030, przy czym w przypadku tez 1 i 3 ich urzeczywistnienie może nastąpić już przed rokiem 2020. Zdaniem respondentów spełnienie powyższych tez będzie istotne z punktu strategii polskiego przemysłu. Większość ekspertów (odpowiedzi na poziomie 89 proc.) uważa, że spełnienie wszystkich tez wynika z uwarunkowań polityki krajowej, natomiast głównymi działaniami niezbędnymi do podjęcia w celu realizacji wszystkich tez są: zwiększenie nakładów na badania naukowe oraz silne wsparcie przez władze krajowe i regionalne systemowej współpracy pomiędzy sektorem B+R a przemysłem/przedsiębiorczością.

Na podstawie przeprowadzonego badania stwierdzono, że spełnienie poszczególnych tez przyczyni się do rozwoju technologii w obszarach technologicznych:

- Nowoczesne urządzenia dla przemysłu wydobywczego, Innowacyjne technologie pozyskiwania surowców mineralnych,
- Rozwój czystych technologii węglowych,
- Racjonalizacja gospodarowania energią.

Ankietowani wskazali, że spełnienie tez 1 – 3 przyczyni się głównie do wzmocnienia istniejących specjalności przemysłu w Polsce, jak również wzmocnienia i lepszego wykorzystania istniejącego potencjału naukowo-badawczego.

3.2.12. PB 10 – Nowoczesne urządzenia dla przemysłu wydobywczego. Badaniem objęto następujące zagadnienia:

TEZA 1: Pozyskiwanie węglowodorów do produkcji paliw zwiększy w istotnym wymiarze bezpieczeństwo energetyczne Polski.

TEZA 2: Zastosowane zostaną na znaczną skalę wysokowydajne, zautomatyzowane techniki urabiania złóż, które w istotnym wymiarze zwiększą konkurencyjność polskiego górnictwa.

TEZA 3: System eksploatacji złóż rud miedzi w warunkach zagrożeń skojarzonych na dużych głębokościach poniżej 1200 m jest polską specjalnością.

TEZA 4: Zastosowane zostaną zintegrowane bloki wydobywcze (układy KTZ) polskiej konstrukcji, które zapewnią poprawę wydajności w polskim górnictwie węgla brunatnego o 10 proc..

Uzyskane odpowiedzi na temat technologii, które najbardziej sprzyjają spełnieniu poszczególnych tez wskazywały, że dla tezy 1 „Pozyskiwanie węglowodorów do produkcji paliw zwiększy w istotnym wymiarze bezpieczeństwo energetyczne Polski” odpowiednią technologią będzie eksploatacja złóż gazu łupkowego. W przypadku tezy 3 wskazano na system eksploatacji złóż rud miedzi w warunkach zagrożeń skojarzonych na dużych głębokościach poniżej 1200 m, natomiast dla tezy 2 „Zastosowane zostaną na znaczną skalę wysokowydajne, zautomatyzowane techniki urabiania złóż, które w istotnym wymiarze zwiększą konkurencyjność polskiego górnictwa” żadna z podanych technologii nie zyskała zdecydowanego poparcia większości respondentów. Szczegółowy rozkład odpowiedzi udzielonych podczas badania znajduje się w *Raporcie z badań ankietowych metodą Delphi zrealizowanego w ramach Podzadania 3.3.*

Podczas badania eksperci określili, że realizacja tez nastąpi do 2030 roku. W przypadku tezy 3 „System eksploatacji złóż rud miedzi w warunkach zagrożeń skojarzonych na dużych głębokościach poniżej 1200 m jest polską specjalnością” 52 proc. stwierdziło, że będzie to już przed rokiem 2020. Podobnie eksperci stwierdzili również, że realizacja tezy 4 „Zastosowane zostaną zintegrowane bloki wydobywcze (układy KTZ) polskiej konstrukcji, które zapewnią poprawę wydajności w polskim górnictwie węgla brunatnego o 10 proc.” urzeczywistni się przed 2020 rokiem.

Zdaniem respondentów spełnienie wszystkich tez będzie mieć strategiczne znaczenie dla rozwoju polskiego przemysłu. Większość ekspertów (od 70 do 74 proc.) uważa, że spełnienie wszystkich czterech tez wynika z uwarunkowań polityki krajowej, natomiast działaniami niezbędnymi do podjęcia w celu ich realizacji są:

- zwiększenie nakładów na badania naukowe (tezy 1 – 4),
- silne wsparcie przez władze krajowe i regionalne systemowej współpracy pomiędzy sektorem B+R a przemysłem/przedsiębiorczością (tezy 1 – 4).
- wprowadzenie odpowiednich instrumentów fiskalnych wsparcia wdrożenia komercyjnego (teza 1 i 2),
- działania legislacyjne (teza 1).

Działania: zwiększenie akceptacji społecznej, tworzenie specjalizacji technologicznych regionów oraz dostosowanie/zmiana/ukierunkowanie szkolnictwa zawo-

dowego i wyższego nie uzyskały zakładanego poziomu 50 proc. odpowiedzi w żadnej z tur.

Na podstawie rozkładu odpowiedzi stwierdzono ponadto, że spełnienie poszczególnych tez przyczyni się do rozwoju technologii wyłącznie w następujących obszarach technologicznych:

- Nowoczesne urządzenia dla przemysłu wydobywczego,
- Innowacyjne technologie pozyskiwania surowców mineralnych.

Ponadto zdaniem respondentów spełnienie tezy 1 przyczyni się do kształtowania nowych obszarów przemysłowych o dużym potencjale rozwoju i wykreowania nowych specjalności przemysłu w Polsce, tworzenia nowych miejsc pracy, zawodów, kwalifikacji oraz wzmacniania i lepszego wykorzystania istniejącego potencjału naukowo-badawczego. Spełnienie tezy 2 będzie miało znaczenie dla wzmacniania istniejących specjalności przemysłu w Polsce oraz wzmacniania i lepszego wykorzystania istniejącego potencjału naukowo-badawczego. Odpowiedź dotycząca wzmacniania istniejących specjalności przemysłu była najczęściej wybierana przez ekspertów w przypadku tezy 3 (80 proc. w I turze i 74 proc. w II turze) i 4 (67 proc. w I turze i 74 proc. w II turze).

3.3. Podsumowanie i rekomendacje

Charakter badań metodą Delphi jak i uzyskane wyniki obu tur ankietyzacji doprowadziły do konsensusu pomiędzy ekspertami, co pozwoliło na sformułowanie szerszych wniosków i rekomendacji a nader wszystko scenariuszy rozwojowych obszarów technologicznych polskiego przemysłu, które były przedmiotem badania.

Zdaniem ekspertów, skutki realizacji niemal wszystkich 38 sformułowanych tez związanych z rozwojem polskiego przemysłu będą widoczne przed 2030 rokiem. Wyjątek stanowi jedynie zagadnienie „Technologie CCS (system wychwytywania i magazynowania dwutlenku węgla) będą wykorzystywane w polskiej energetyce na znaczną skalę”. W ocenie respondentów program ten zostanie zrealizowany po 2030 roku lub nigdy, co może być pewnym zaskoczeniem w kontekście zapisów wielu dokumentów strategicznych. Respondenci badania zweryfikowali i potwierdzili istotność rozpatrywanych zagadnień, opracowanych przez panele eksperckie na wcześniejszych etapach prac oraz potwierdzili, że wszystkie tezy będące przedmiotem badania mają znaczenie strategiczne dla rozwoju polskiego przemysłu. Wśród zagadnień objętych badaniem nie wskazano takich, których realizacja mogłaby mieć negatywny wpływ na jakość życia.

Podniesienie poziomu innowacyjności polskiego przemysłu jest w ocenie respondentów uzależnione od uruchomienia mechanizmów zachęt dla przedsiębiorców, tworzenia sieci współpracy między nauką a biznesem, uruchamiania instrumentów pozafinansowych umożliwiających rozwój technologii oraz ich komercjalizację a także od poprawy dostępności i nowoczesności infrastruktury badawczej. Jako istotne wskazano również konieczność zapewnienia środków finansowych przez państwo na rozwój technologii (w tym kluczowych i niszowych) poprzez finansowanie badań oraz wdrażanie rozwiązań odpowiadających potrzebom rynku i konsolidujących potencjał technologiczny przemysłu.

W trakcie badań szczególnie często akcentowano potrzebę rozwijania współpracy pomiędzy sektorem przemysłu i badań. W rezultacie wzrosła szansa sukcesu finansowanych technologii na rynku oraz efektywność procesu finansowania innowacji, kształtowanie się nowych obszarów przemysłowych o dużym potencjale rozwoju, wzmocnienie istniejących lub wykreowanie nowych specjalności i nowych funkcji przemysłu w Polsce, tworzenie nowych miejsc pracy, zawodów, kwalifikacji oraz wzmocnienie i lepsze wykorzystanie istniejącego potencjału naukowo-badawczego a także ukierunkowanie polskiej gospodarki oraz badań naukowych na obszary przynoszące realne korzyści ekonomiczne oraz społeczne.

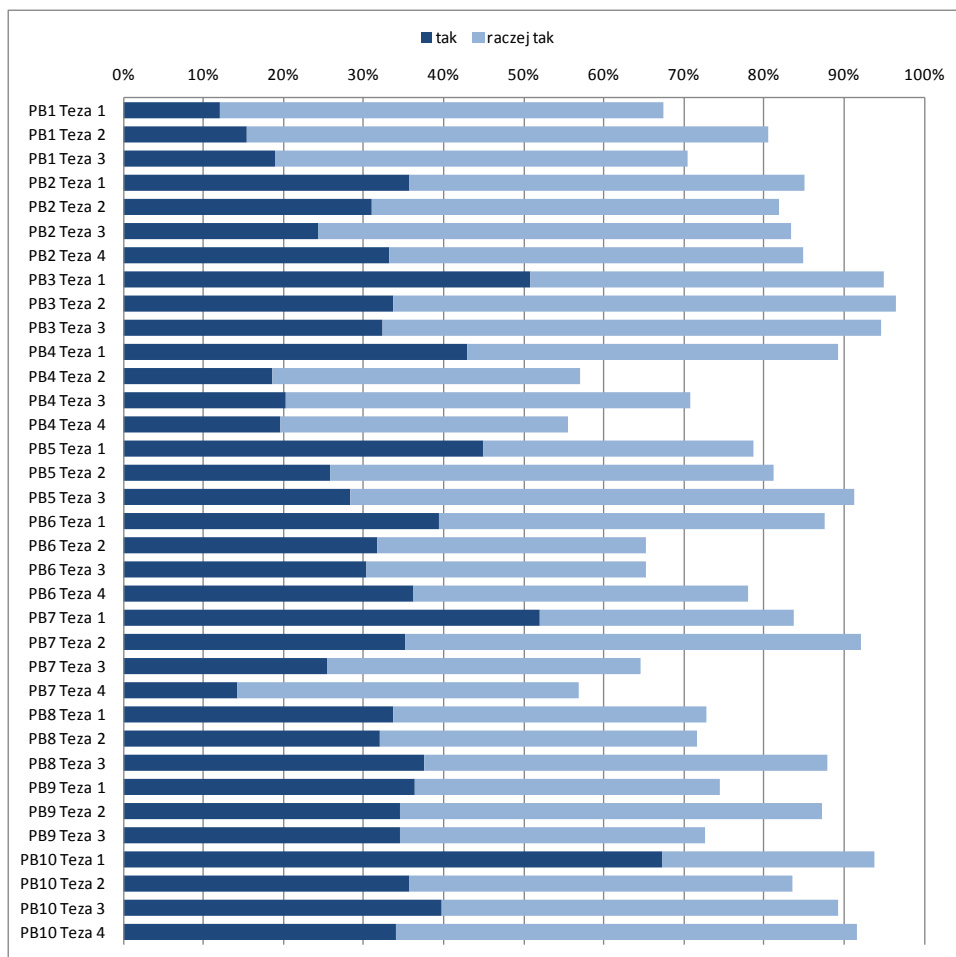
Wsparciem (pośrednim lub bezpośrednim) powinny zostać objęte przede wszystkim obszary o największym potencjale rozwoju (tzw. polskie rynki wiodące) obejmujące kluczowe i perspektywiczne obszary technologiczne.

Eksperti biorący udział w badaniach akcentowali potrzebę powstania centrów naukowo-badawczych, dzięki którym polskie rynki wiodące będą się rozwijać, co przełoży się na wzrost eksportu polskich produktów na rynki słabiej rozwinięte w zidentyfikowanych obszarach.

Reasumując, działaniami niezbędnymi do rozwoju kluczowych obszarów technologicznych polskiego przemysłu są przede wszystkim:

- zwiększenie nakładów na badania naukowe (ze szczególnym uwzględnieniem tych realizowanych na rzecz przemysłu lub w konsorcjach naukowo – przemysłowych),
- wprowadzenie odpowiednich instrumentów fiskalnych wsparcia wdrożenia komercyjnego (kredyty, podatki, dotacje),
- silne wsparcie przez władze krajowe i regionalne systemowej współpracy pomiędzy sektorem B+R a przemysłem/przedsiębiorczością.

W opinii ekspertów realizacja większości tez sformułowanych w badaniu spowoduje wzmocnienie pozycji konkurencyjnej polskiego przemysłu oraz potencjału eksportowego, co przedstawiono na rys. 3.2.



Rys. 3.2. Zestawienie odpowiedzi „tak” i „raczej tak” na pytanie „Czy spełnienie tezy będzie mieć znaczenie strategiczne dla rozwoju polskiego przemysłu?”

W celu zagwarantowania możliwie reprezentatywnej oceny sformułowanych zagadnień w postaci tez oraz zestawu odpowiedzi formularz ankietowy umożliwił wprowadzanie przez respondentów własnych opinii i komentarzy. Wśród komentarzy na uwagę zasługuje pogląd, że nie tylko rozwój polskich technologii, ale również komercjalizacja technologii zagranicznych może przyczynić się do rozwoju polskiego przemysłu. Pojawiała się również opinia, że transfer wiedzy i technologii z państw lepiej rozwiniętych niż Polska może mieć duże znaczenie w tym procesie. Podkreślono również potrzebę wzmocnienia współpracy kadr naukowych z przedsiębiorstwami, ponieważ obecnie prowadzona działalność badawcza nie odpowiada na realne potrzeby biznesu. Rozwój części obszarów technologicznych czy też

technologii wynika z potrzeby dostosowania się do aktualnej sytuacji w Unii Europejskiej i na świecie. Wśród komentarzy zaakcentowano także, że jednym ze sposobów na to, by Polska stała się innowacyjnym krajem jest „sprzyjanie rozwojowi gospodarki rynkowej, obniżenie obciążeń fiskalnych i biurokratycznych przedsiębiorstw i pozwolenie im na zarabianie poprzez wprowadzanie innowacji”.

Warto zauważyć, że wielu ekspertów wskazywało jako działania nieracjonalne tworzenie specjalizacji technologicznych regionów i aktualną politykę rozwoju szkolnictwa wyższego.

Badanie przeprowadzone metodą Delphi pozwoliło na uzyskanie wielu istotnych informacji niezbędnych do opracowania scenariuszy rozwoju wybranych obszarów technologicznych polskiego przemysłu przy relatywnie dużej zgodności respondentów co do samego kierunku, jak i warunków rozwoju przemysłu. Należy też mieć na uwadze, iż dominującą grupą respondentów biorących udział w obu turach badań byli przedstawiciele nauki. Jest to niewątpliwie czynnik wymagający uwzględnienia przy interpretacji uzyskanych wyników w kolejnych etapach prac.

Wdrażanie scenariuszy opracowanych w oparciu o wyniki badania Delphi pozwoli na formułowanie skutecznych polityk wspierających rozwój polskiego przemysłu, co przyczyni się do wzrostu potencjału gospodarczego, społecznego i środowiskowego Polski. Doświadczenia zdobyte podczas badania zarówno w zakresie budowania kwestionariusza Delphi, jak i przebiegu procesu ankietyzacji jest wartościowym uzupełnieniem krajowego dorobku w tym zakresie i zapewni skuteczne stosowanie tej metody w kolejnych cyklach studiów foresightowych.

Wyniki przeprowadzonych badań ankietowych metodą Delphi poprzez udział szerokiego grona ekspertów są reprezentatywnym materiałem służącym do określenia, a docelowo skutecznego wspierania rozwoju kluczowych obszarów technologicznych o znaczeniu strategicznym i priorytetowym dla polskiego przemysłu w ciągu co najmniej najbliższych 20 lat.

4. Kluczowe technologie rozwoju polskiego przemysłu i powiązanych z nim usług

4.1. Założenia

Podstawowym celem prac prowadzonych w ramach projektu InSight 2030 była identyfikacja obszarów przemysłowych o największej wartości dodanej dla dalszego rozwoju społeczno-gospodarczego kraju oraz kluczowych technologii warunkujących rozwój i konkurencyjność polskiego przemysłu, w tym technologii, w których Polska mogłaby odnosić sukcesy komercyjne na rynku globalnym.

Rozpoczynając prace analityczne nad identyfikacją kluczowych i priorytetowych dla Polski technologii przemysłowych jako podstawowe założenie przyjęto, że ich wybór musi wynikać z „wyzwań jutra”, przed którymi stoi Polska i Europa, a wśród których do najważniejszych należą:

- konieczność zwiększenia konkurencyjności gospodarki, co zresztą determinuje zdolność stawiania czoła wszystkim pozostałym wyzwaniom,
- aspekty socjalno-ekonomiczne rozwoju gospodarczego, w tym przede wszystkim konieczność zapewnienia miejsc pracy, w szczególności wymagających wysokich kwalifikacji zawodowych, dla przyszłych pokoleń i problemy związane ze starzeniem się społeczeństwa, w tym ochrona zdrowia,
- optymalne i zrównoważone wykorzystanie posiadanych zasobów naturalnych, w tym surowców mineralnych,
- racjonalizacja zużycia energii, konieczność zwiększanie udziału energii odnawialnej w bilansie energetycznym i zapewnienia większego bezpieczeństwa energetycznego,
- zapewnienie bezpieczeństwa cywilnego, obrotu gospodarczego i militarnego.

4.2. Metoda i kryteria wyboru

Zgodnie z Kartą Działa projekt foresight przeprowadzany w ramach projektu InSight 2030 winien obejmować cały przemysł w Polsce: wszystkie przetwórcze

sektory przemysłowe (w Karcie Działa wyszczególniono 35 sektorów przemysłowych, których klasyfikacja została dokonana zgodnie z dokumentem Komisji Europejskiej „*EU industry in a changing world – sectoral overview 2009*”), sektor usług spokrewnionych z przemysłem, przemysł wydobywczy i przemysł energetyczny.

Dokonanie rzetelnych studiów foresightowych setek, jeśli nie tysięcy, technologii stosowanych w całym współczesnym przemyśle przetwórczym jest rzeczą niewykonalną w przyjętym dla projektu czasie i przy ustalonych dla jego realizacji środkach finansowych. Z tych względów w wyniku przeprowadzonych w pierwszej fazie analiz wytypowano sześć kluczowych grup technologii, których rozwój ma podstawowe znaczenie dla całego przemysłu przetwórczego, wręcz warunkując jego nowoczesność i konkurencyjność. Są to:

- Zaawansowane systemy wytwarzania,
- Technologie informacyjne i telekomunikacyjne,
- Biotechnologie przemysłowe,
- Nanotechnologie,
- Technologie mikroelektroniczne,
- Fotoniczne.

Wybór tych technologii jako kluczowych dla dalszego rozwoju polskiego przemysłu i jego konkurencyjności jest spójny z polityką gospodarczą i naukowo-techniczną Unii Europejskiej. W 2009 roku Unia Europejska zidentyfikowała te właśnie technologie jako najważniejsze dla gospodarki europejskiej z racji ich wpływu na innowacyjność i konkurencyjność współczesnego przemysłu, określając je wręcz jako technologie umożliwiające dalszy jego rozwój (*key enabling technologies*). W raporcie KE „*European Competitiveness Report 2010 – Putting Competitiveness and Sustainability at Front Stage. CON(2010) 614*” stwierdza się, że wymienione wyżej technologie odgrywają „decydującą rolę w rozwoju przemysłowej i technologicznej bazy gospodarki europejskiej”.

W tak określonych polach badawczych, stosując techniki analityczne opisane w rozdziale 2, dokonano wyboru technologii o największym potencjale rozwojowym i konkurencyjnym z polskiego punktu widzenia, kierując się następującymi kryteriami:

- wpływ danej technologii na poziom technologiczny przemysłu,
- spójność z kierunkami prac badawczo-rozwojowych w świecie, w szczególności w UE, i trendami rozwojowymi techniki światowej,
- potencjał badawczo-rozwojowy i przemysłowy Polski w obszarze danej technologii,
- dotychczasowe wyniki prac badawczo-rozwojowych prowadzonych w Polsce,

- struktura rynku światowego, w tym europejskiego, w zakresie wyrobów i usług, które w przyszłości będą korzystać z analizowanej innowacyjnej technologii, w tym istnienie nisz rynkowych.

Wyniki analiz zostały przedstawione w monograficznych studiach foresightowych, sporządzonych dla wszystkich dziesięciu pól badawczych objętych projektem InSight 2030, oraz zestawieniu poniżej.

4.3. Zestawienie priorytetowych, konkurencyjnych technologii w analizowanych polach badawczych

Przyjmując kryteria określone w podrozdziale 4.2 i stosując metody opisane w rozdziale 2 za technologie priorytetowe dla polskiego przemysłu i powiązanych z nim usług, o dużym potencjale na konkurencyjnym na przyszłym europejskim i globalnym, eksperci uczestniczący w realizacji projektu InSight 2030 uznali następujące technologie:

1. Molekularna inżynieria katalizatorów przemysłowych
2. Biopaliwa nowej generacji z odnawialnych surowców w tym z odpadów
3. Biosyntetyczne leki biopodobne
4. Pokrycia fotokatalityczne samooczyszczające
5. Nanokataliza dla oczyszczania środowiska i produkcji energii
6. Nanokompozyty polimerowe
7. Nanometale
8. Elastyczna automatyzacja i robotyzacja centrów obróbczych
9. Robotyzacja stanowisk montażowo-wytwórczych w przemyśle maszynowym
10. Systemy wytwarzania uwzględniające optymalizację zużycia energii i wykorzystanie odnawialnych źródeł energii
11. Sterowanie procesami z wykorzystaniem metod analizy obrazu
12. Telemedycyna, medycyna spersonalizowana
13. Inteligentne sieci sensorów
14. Bezpieczeństwo informacji
15. Narzędzia i metody rozwoju systemów informacyjnych
16. Semantyczne technologie sieciowe
17. Technologie specjalizowanych mikrosystemów
18. Technologie wytwarzania specjalizowanych układów scalonych analogowych i mixed signal o bardzo niskim poborze mocy realizowane w technice FD-SOI oraz VESTIC
19. Technologie wytwarzania detektorów promieniowania

20. Technologie mikro- i nanostrukturalnych specjalnych światłowodów fotonicznych oraz struktur kompozytowych
21. Technologie kryształów stałych i ciekłych dla zastosowań fotonicznych
22. Technologie superczułych fotodetektorów nowej generacji dla obszarów podczerwieni i częstotliwości terahercowych
23. Technologia kotłów pyłowych pracujących przy parametrach ultranadkrytycznych, spalających wysokiej jakości węgiel
24. Technologia zgazowania tlenowego, jako elementu technologii poligeneracyjnej
25. Technologia współspalania bezpośredniego węgla z biomasą
26. Budownictwo pasywne, zeroenergetyczne, energetyczne plus oraz termomodernizacja budynków
27. Energooszczędne AGD i RTV
28. Technologie lekkich, przyjaznych środowisku pojazdów
29. Nowoczesne systemy dyspozytorskie oparte na technikach cyfrowych w zakresie procesów produkcji dla podziemnych zakładów górniczych, z wykorzystaniem zintegrowanych systemów bezpieczeństwa oraz telewizji przemysłowej
30. Wzbogacanie w pełnym zakresie uziarnienia zarówno węgla energetycznych jak i koksowych
31. Obudowa zmechanizowana o regulowanej podporności wstępnej on-line, zmniejszająca energochłonność procesu skrawania i wypad grubych sortymentów
32. Eksploatacja złóż gazu łupkowego
33. System ścianowy z urabianiem kombajnem o wydajności powyżej 6000 t/dobę
34. System eksploatacji złóż rud miedzi w warunkach zagrożeń skojarzonych na głębokościach poniżej 1200 m

Szczegółowy opis tych technologii, ich znaczenie przemysłowe i przewidywane trendy rozwoju przedstawiono w monografiach, stanowiących załączniki „Analizy końcowej”, a ich najważniejsze tezy streszczono w rozdziale 5.

5. Scenariusze rozwoju technologicznego i konkurencyjne obszary technologiczne w polach badawczych przemysłu przetwórczego i powiązanych z nim usług

W Narodowym Programie Foresight Polska 2020 analizując trendy rozwojowe gospodarki postawiono kilka fundamentalnych pytań:

„Co nas czeka w perspektywie roku 2020? Skok cywilizacyjny, twarde dostosowania, trudna modernizacja, słabnący rozwój, czy też wręcz społeczno-gospodarcza zapaść? Co należy zrobić i jakich zaniechań uniknąć, by uprawdopodobnić realizację scenariuszy pozytywnych? Kiedy możliwości autonomicznego działania kończą się? Jakie obszary badań naukowych rozwijać, jakie technologie promować, by zwiększyć szansę, że staną się podstawą nowych gałęzi przemysłu i lokomotywami napędzającymi polską gospodarkę?”

Próbując odpowiedzieć na te pytania opracowano potencjalne scenariusze rozwoju polskiej gospodarki. Przy ich formułowaniu uwzględniono szereg czynników kluczowych, z których za najważniejsze uznano:

- Globalizacja i integracja europejska. Czy świat zdoła pokonać aktualny kryzys i powróci na ścieżkę pokojowej integracji, wynajdując nowe instytucje ułatwiające przeciwdziałanie problemom globalnym i wspomagające trwały rozwój światowej gospodarki?
- Reformy wewnętrzne. Czy polskie elity polityczne zdołają wypracować i przeprowadzić program niezbędnych, głębokich reform instytucji życia publicznego, by odblokować rozwojowy potencjał naszego kraju?
- Gospodarka Oparta na Wiedzy. Czy zdołamy szybko zbudować najważniejszy dziś zasób rozwojowy – wiedzę, rozwijając kapitał intelektualny, zwiększając potencjał badawczo-naukowy, efektywność transferu wiedzy i innowacji do gospodarki oraz uczestnicząc w rozwoju nowych form produkcji i upowszechniania wiedzy?

- Akceptacja społeczna. Czy polskie społeczeństwo zaangażuje się w zmiany, popierając trudne lecz niezbędne reformy, jak również uruchamiając zasoby innowacyjności i kreatywności?

Powyższy zestaw czynników charakteryzujący scenariusze rozwoju jest w pełni zasadny w makroskali, przy opisie megatrendów całej gospodarki narodowej, składającej się z dziesiątków sektorów przemysłowych, setek technologii i kierunków prac badawczo-rozwojowych oraz tysięcy innowacyjnych wdrożeń. Jednakże przy próbie budowy wiarygodnego scenariusza rozwoju konkretnej technologii nie wydaje się on być odpowiedni. Jej rozwój zależy od wielu specyficznych dla niej czynników i dynamika tego rozwoju nie musi odpowiadać trendom całej gospodarki narodowej. Przykładem mogą być technologie racjonalnego gospodarowania energią, które – jak to pokazuje doświadczenie światowe – są najdynamiczniej rozwijane w warunkach zagrożenia bezpieczeństwa energetycznego czy kryzysów paliwowych. Innym przykładem jest – uznana przez ekspertów za priorytetową polską technologię – kryptografia, która jest intensywnie rozwijana w warunkach zagrożenia militarnego czy terrorystycznego. Na scenariusz rozwoju konkretnej technologii wpływają także nowe idee technologiczne w danym obszarze, które niekiedy uzależniają jej rozwój od ogólnych megatrendów.

Opisana sytuacja powoduje znaczne trudności metodologiczne, obserwowane także w foresightach zagranicznych. Budowa krzywych życia, map drogowych i wreszcie przewidywanego scenariusza rozwoju konkretnej innowacyjnej technologii wymaga pozyskania danych wrażliwych, stanowiących najczęściej pilnie strzeżone tajemnice technologiczne i handlowe. Publikowane informacje o stanie prac badawczo-rozwojowych nad nową ideą technologiczną są często nieprawdziwe i stanowią element walki konkurencyjnej.

Kierując się powyższymi przesłankami w analizach przeprowadzonych w ramach projektu InSight 2030, obok ogólnych czynników opisanych wyżej, przyjęto następujące czynniki charakteryzujące scenariusze rozwojowe poszczególnych obszarów technologicznych i priorytetowych technologii:

- Trendy i dynamika rozwoju danej technologii w technice światowej,
- Krajowy potencjał naukowy, stan prac badawczo-rozwojowych i osiągnięte do tychczas rezultaty,
- Potencjał przemysłowy w danej dziedzinie techniki i dynamika jego rozwoju,
- Przewidywana chłonność przemysłu i rynku na wyroby wykorzystujące przewidywane osiągnięcia badawczo-rozwojowe w analizowanych obszarach,
- Stan liczebny wysoko wykwalifikowanych specjalistów w przemyśle wykorzystującym daną technologię i przewidywane tempo ich kształcenia,

- Dynamika rozwoju rynku europejskiego i światowego w danym sektorze i istniejące w nim nisze.

Wykorzystując metodologię przyjętą w Narodowym Programie Foresight Polska 2000 w zakresie rozwoju technologii analizowanych w polach badawczych przemysłu przetwórczego przyjęto trzy scenariusze: pesymistyczny (scenariusz słabego rozwoju lub stagnacji gospodarczej), realistyczny (scenariusz trudnej modernizacji) i optymistyczny (scenariusz koniunktury gospodarczej).

W ocenie ekspertów w każdym z tych scenariuszy będzie postępował rozwój technologii należących do wszystkich analizowanych pól badawczych, stanowi on bowiem naturalny trend rozwoju nauk technologicznych, a innowacje w tych obszarach są najskuteczniejszym narzędziem walki z kryzysem oraz racjonalizacji gospodarowania energią i optymalizacji wykorzystania zasobów naturalnych. Oczywiście poszczególne scenariusze będą charakteryzować inna dynamika rozwoju danej technologii i zakres innowacji technologicznych.

W przypadku scenariusza pesymistycznego najszybciej będą rozwijać się technologie ICT, jako wynik stale rosnącego zapotrzebowania społecznego i gospodarczego w tym zakresie, oraz technologie fotoniczne, w związku ze stosunkowo niskimi nakładami inwestycyjnymi na wdrażania nowych idei technologicznych i ich znaczeniem w racjonalizacji zużycia energii. Najwolniej technologie zaawansowanych systemów wytwarzania jako skutek stagnacji produkcji i bardzo wysokich kosztów rozwoju i inwestycji. Zakres badań technologicznych będzie zawężony, w zależności od głębokości kryzysu gospodarczego, do technologii umieszczonych na czołowych miejscach technologii priorytetowych w opisie rezultatów analiz przeprowadzonych w poszczególnych polach badawczych.

W przypadku scenariusza neutralnego będą rozwijane wszystkie technologie wymienione jako priorytetowe w odpowiednich obszarach badawczych. Dynamika ich rozwoju będzie warunkowana osiągnięciami badawczo-rozwojowymi w danym obszarze. Przewiduje się, że przy tym scenariuszu najszybciej będą rozwijały się w Polsce technologie ICT, fotoniczne i biotechnologie, średnie tempo rozwoju w przemysłowych zastosowaniach będą miały polskie innowacje w zakresie nanotechnologii i mikroelektroniki, a stosunkowo niewielką dynamikę zaawansowane systemy wytwarzania.

W przypadku scenariusza optymistycznego (koniunktury gospodarczej) do najszybciej rozwijających się gałęzi technologicznych będą należały technologie zaawansowanych materiałów (nano- i bio-technologie) oraz technologie zaawansowanych systemów wytwarzania. Zostanie także rozszerzony zakres aktualnie prowadzonych prac badawczo-rozwojowych w tym obszarze i dynamika ich wdrożeń.

Scenariusze rozwoju poszczególnych technologii analizowanych w badanych obszarach zostały opisane – w każdym przypadku, w którym zdołano zgromadzić wiarygodne dane – w poświęconych im monografiach foresightowych opracowanych w ramach projektu InSight 2030.

5.1. Biotechnologia przemysłowa

5.1.1. Biotechnologia – kluczowa technologia rozwoju nowoczesnego przemysłu. Biotechnologia – interdyscyplinarna dziedzina integrująca nauki przyrodnicze (biochemia, genetyka, mikrobiologia) i inżynieryjne w celu zastosowania komórek lub ich części oraz molekularnych analogów dla pozyskania nowych produktów i usług – należy do najbardziej obiecujących innowacyjnych technologii. Powszechnie uważa się, że zrewolucjonizuje ona przemysł i gospodarkę światową. Poza wszelką wątpliwością potencjał aplikacyjny biotechnologii jest ogromny. Jej postępy pozwalają oczekiwać, iż spowoduje zasadniczą modyfikację dotychczasowych procesów technologicznych.

Wśród wielu kierunków rozwoju biotechnologii i ogromnej liczby zastosowań szczególne miejsce zajmuje biotechnologia przemysłowa. Jest ona definiowana jako nowoczesne zastosowania biotechnologii dla zrównoważonego przetwarzania i produkcji chemikaliów, materiałów i paliw. Wykorzystywane są w niej mikroorganizmy oraz enzymy do wytwarzania produktów w sektorach takich jak przemysł chemiczny, farmaceutyczny, spożywczy, paszowy, celulozowo-papierniczy, włókienniczy, energetyka oraz w ochronie środowiska naturalnego.

Powszechną, ogólnoswiatową tendencją jest uznawanie biotechnologii przemysłowej za priorytet rządów wielu krajów, co prowadzi do podejmowania inicjatyw mających na celu wypracowanie wspólnej strategii jej rozwoju. Komisja Unii Europejskiej w ostatnim dziesięcioleciu opracowała szereg dokumentów podkreślających strategiczne znaczenie rozwoju biotechnologii przemysłowej, w których stwierdza m.in., że *„Biotechnologia posiada ogromne znaczenie w strategii długoterminowej Unii Europejskiej. Europa nie może sobie pozwolić na stracenie tak wielkiej okazji, którą wykreaowały nowe nauki i technologie... Komisja Europejska przyjęła za cel swojej polityki naukowej przywrócenie Europie pozycji lidera w badaniach dotyczących nauk o życiu i biotechnologii. Programy ramowe proponują, aby ten sektor miał najwyższy priorytet”*. To wyjątkowe znaczenie biotechnologii dla rozwoju nowoczesnego przemysłu znalazło także wyraz w wydanym w 2009 r. komunikacie Komisji Europejskiej *„Preparing for our future: Developing a common strategy for key enabling technologies in the EU” COM(2009)512*”, w którym zaliczyła ona biotechnologię przemysłową do pięciu kluczowych technologii (Key

Enabling Technologies) warunkujących i umożliwiających rozwój, innowacyjność i konkurencyjność europejskiej gospodarki.

5.1.2. Kierunki rozwoju biotechnologii przemysłowej w technice światowej. Do najważniejszych pól wykorzystywania w światowym przemyśle naukowych zdobyczy biotechnologii przemysłowej należy:

- **W przemyśle chemicznym** – zastępowanie klasycznych katalizatorów chemicznych biokatalizatorami, pracującymi z reguły w nieporównywalnie łagodniejszych warunkach procesowych, co skutkuje efektami ekonomicznymi i środowiskowymi oraz wprowadzanie syntez nowych, dotychczas nieprodukowanych związków chemicznych, wykorzystując w tym celu specyficzne właściwości katalityczne enzymów i mikroorganizmów. Gama substancji uzyskiwanych tymi metodami jest ogromna. Występuje tutaj podwójne działanie: biokatalizatory umożliwiają otrzymywanie nowych substancji, a zapotrzebowanie na enzymy czy mikroorganizmy w technologiach je wykorzystujących implikuje prace nad ekonomicznymi metodami ich pozyskiwania. Bardzo ważną gałąź nowoczesnego przemysłu chemicznego stanowią biodegradowalne polimery.
- **W przemyśle spożywczym** – wytwarzanie, bazując na biokatalizatorach standardowych produktów, m.in. kwasu cytrynowego, kwasu mlekowego i jego pochodnych oraz polihydroksykwasów. Powszechnie są także stosowane mikroorganizmy i enzymy w nowoczesnych technologiach przemysłu mleczarskiego, piekarniczego i przeróbce mięsa.
- **W przemyśle włókienniczym** – wykorzystywanie enzymów do obróbki włókien naturalnych co poprawia ich jakość i ogranicza zanieczyszczenie środowiska naturalnego.
- **W przemyśle celulozowo-papierniczym** – unowocześnianie procesów modyfikacji włókien celulozy, odbarwianie, usuwanie biofilmu.
- **W przemyśle farmaceutycznym** – produkcja szeregu specyfików, surowców do syntez prowadzących do uzyskania farmaceutyków, w szczególności aktywnych biologicznie odmian racemicznych oraz biofarmaceutyków [leki „biotechnologiczne” („*biotechnology medical products*”, „*biotechnology(based)medicines/drugs/products*”) czy „biologiczne produkty lecznicze” („*therapeutic biologics*”)].
- **W ochronie środowiska naturalnego** – technologie biodegradacji organicznych związków zawartych w ściekach przemysłowych, biofiltry.
- **W przemyśle paliwowym** – coraz szersze wprowadzanie na rynek biopaliw (biodiesel, bioetanol, metan i wodór z surowców odnawialnych i odpadowych) oraz kompleksowe podejście do wykorzystania surowców pochodzenia roślinnego, tzw. biorafinerie.

5.1.3. Stan obecny i perspektywy rozwoju biotechnologii przemysłowej w Polsce. Prace badawczo-rozwojowe i wdrożenia w zakresie biotechnologii przemysłowej w Polsce cechuje rozproszenie tematyczne i organizacyjne. Do najważniejszych dziedzin, w których są one prowadzone, należą:

- biokatalizatory,
- biopaliwa,
- biorafinerie,
- ochrona środowiska naturalnego,
- inżynieria bioprosesowa,
- biopolimery,
- technologie bazujące na surowcach odnawialnych i odpadach

oraz w zakresie tzw. biotechnologii czerwonej w przemyśle:

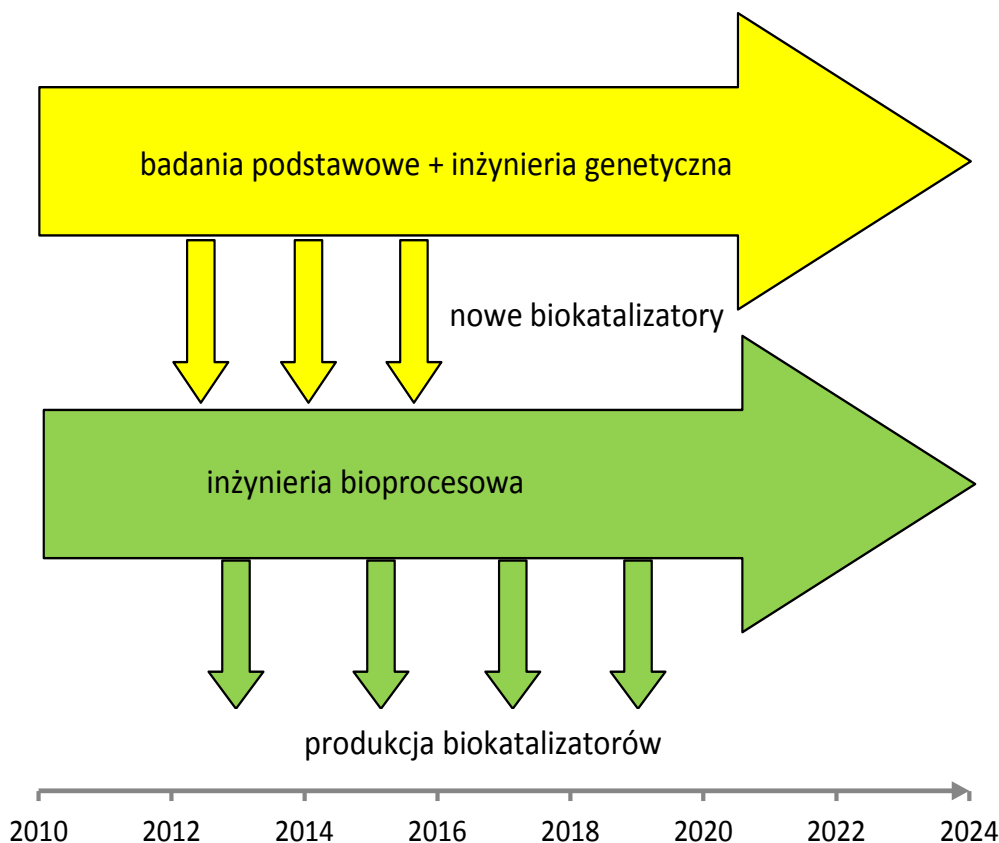
- biofarmaceutyki,
- leki biopodobne.

Biokatalizatory – mikroorganizmy i enzymy – to podstawowa dziedzina warunkująca rozwój biotechnologii przemysłowej. Pozwalają one efektywnie przeprowadzić prawie wszystkie znane reakcje chemiczne. Jest to także ogromny obszar przyszłościowych zastosowań. W przemysłowej syntezie organicznej obecnie wykorzystuje się tylko niewielki ułamek masy znanych już enzymów (około 200 enzymów). W Polsce prace nad poszukiwaniem nowych biokatalizatorów i źródłami ich pozyskiwania prowadzi się w bardzo wielu ośrodkach m.in. w politechnikach Łódzkiej, Śląskiej i Wrocławskiej, w Instytucie Chemii Organicznej, w Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni PAN w Krakowie.

W ocenie ekspertów uczestniczących w realizacji Projektu InSight 2030 są one obiecujące i należy je rozwijać, ale w strukturalnym powiązaniu z inżynierią bioprosesową (rys. 5.1). Podstawowym obszarem biotechnologii przemysłowej nie jest bowiem poszukiwanie biokatalizatorów, lecz ich wytwarzanie na skalę przemysłową. Stąd prowadzone badania powinny kończyć się opracowaniem pełnej charakterystyki nowego biokatalizatora w warunkach przemysłowych i co najmniej zarysem dokumentacji projektowej konkretnej technologii.

Pomimo dominacji kilku globalnych koncernów, polski przemysł ma szanse zaistnienia na rynku międzynarodowym w dziedzinie produkcji biokatalizatorów, szczególnie w obszarach niszowych. Dowodem tego jest zakład „Peklowin” w Jaśle, który skutecznie rozwija produkcję enzymów na bazie technologii opracowanej w Instytucie Biochemii Politechniki Łódzkiej.

W zakresie **biopaliw płynnych** obszarem zainteresowania biotechnologii przemysłowej są: biodiesel, bioetanol, metan i wodór. Europejskie dyrekty-



Rys. 5.1. Schemat procesu wdrażania do produkcji nowych biokatalizatorów

wy 2003/30/EC i 2009/28 EC dotyczące biopaliw i energii ze źródeł odnawialnych przewidują zwiększenie zużycia biopaliw w transporcie z 5,75 proc. w 2010 roku do 20 proc. w 2020 roku (co będzie stanowić 10 proc. paliw stosowanych w transporcie). Wymaga to zwiększenia produkcji:

- biodiesela – z $8 \cdot 10^6$ do $12 \cdot 10^6$ ton/rok,
- bioetanolu – z $2 \cdot 10^6$ do $13 \cdot 10^6$ ton/rok.

W Polsce obecnie nie wytwarza się w wystarczającej ilości bioetanolu, biodiesla i biogazu, stąd ich produkcja musi zostać zintensyfikowana, jeśli chcemy dochowywać norm ustalanych przez dyrektywy UE.

Aktualnie biodiesel otrzymuje się na skalę przemysłową w procesie katalitycznej (katalizator chemiczny) transestryfikacji olejów roślinnych i zużytych olejów zwierzęcych alkoholem metylowym lub rzadziej etylowym. Prowadzone są inten-

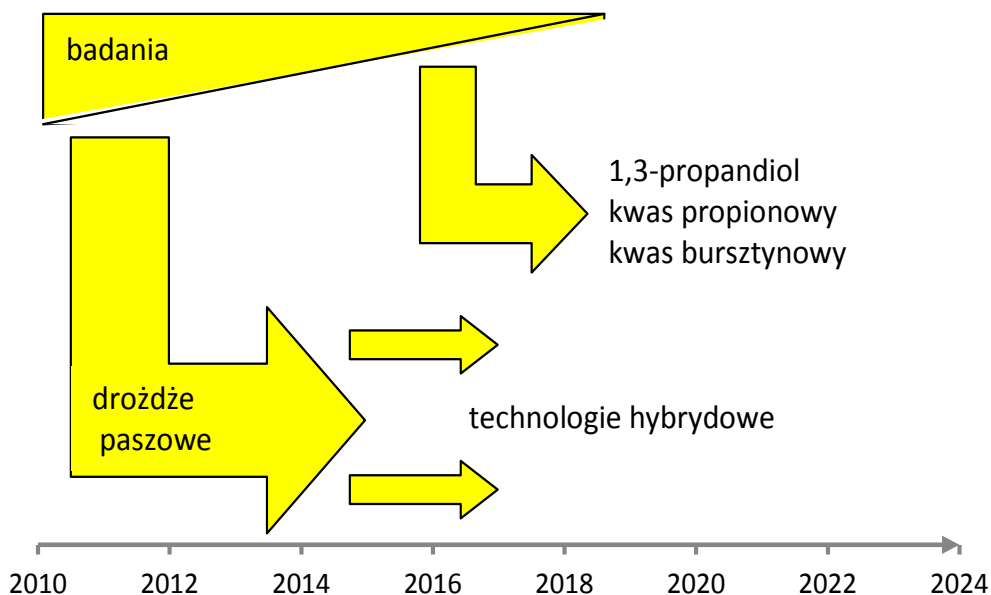
sywne, dające obiecujące wyniki badania nad możliwością transestryfikacji olejów za pomocą lipaz, które należą do najtańszych enzymów i są już produkowane na skalę masową. Najczęściej opisywane w patentach jest wykorzystanie do tego celu lipazy.

Badania takie są również prowadzone w Polsce. W zespole prof. S. Bieleckiego opracowano metodę wytwarzania biodiesla (FAAE) wykorzystującą substraty: olej rzepakowy i metanol, etanol (95 proc.) lub butanol oraz biokatalizator enzymatyczny w postaci preparatów immobilizowanych lipaz. Innowacyjność tego opracowania polega na zastosowaniu nowego katalizatora, umożliwiającego wytwarzanie biodiesla z olejów roślinnych, olejów odpadowych oraz olejów zużytych zanieczyszczonych wolnymi kwasami tłuszczowymi. Jako substrat alkoholowy do produkcji biodiesla może być stosowany metanol lub etanol w postaci rektyfikatu o zawartości 95 proc. (bez konieczności stosowania procesu odwadniania) lub butanol.

Pewną niedogodnością produkcji biodiesla na drodze transestryfikacji jest powstawanie dużej masy gliceryny, co do której nie ma koncepcji zagospodarowania. Prowadzone są prace nad przekształceniem gliceryny w produkty użyteczne gospodarczo, wśród tych opcji jest również metoda biotechnologiczna. Do najbardziej obiecujących należy zaliczyć wykorzystanie gliceryny do produkcji: kwasu cytrynowego, 1,3-propanodiolu, Single-Cell-Oil, biomasy drożdży paszowych, erytrytolu, kwasu bursztynowego, czy kwasu propionowego. Wymienione związki chemiczne są ważnymi surowcami dla przemysłu chemicznego stosowanymi do produkcji tworzyw sztucznych oraz mają zastosowanie w przemyśle spożywczym i farmaceutycznym.

Obecnie polskie zakłady przemysłowe wytwarzające biodiesel poszukają technologii zagospodarowania tego odpadu, czego przykładem jest inicjatywa firmy Skotan S.A. z Katowic, współpracującej w tym zakresie z Uniwersytetem Przyrodniczym we Wrocławiu nad wdrożeniem technologii wytwarzania drożdży paszowych na pożywkach zawierających glicerynę. Powstający w kraju inny zakład produkcji drożdży paszowych o wydajności 1200 ton na rok (Czechowice-Dziedzice – Lotos) jest obecnie w fazie rozruchu i będzie stanowił zaczątek dużego zakładu, o produkcji docelowej 30.000 ton na rok.

Jak przewidują eksperci, w perspektywie 10 lat na bazie tego zakładu zostaną wdrożone technologie hybrydowe, które wykorzystają drożdże gatunku *Yarrowia lipolytica* i surowiec, jakim jest gliceryna, do produkcji drożdży paszowych, drożdży paszowych wzbogaconych w cenne pierwiastki (selen, cynk, miedź, żelazo) w formie organicznej, łatwiej przyswajalnej przez organizm zwierzęcia oraz inne produkty biosyntezy np. erytrytol czy kwas cytrynowy. Badania nad tymi technologiami prowadzi obecnie zespół prof. W. Rymowicza z Uniwersytetu Przyrodniczego



Rys. 5.2. Spodziewane wykorzystanie gliceryny w biotechnologii

we Wrocławiu. Są one są one zaawansowane, obiecujące i powinny być rozwijane. W ocenie konsultantów Projektu InSight 2030, w nadchodzących latach drożdże paszowe, jako źródło białka dla mieszanek paszowych, będą konkurować cenowo z innymi suplementami białka takimi jak soja, maczki rybne czy inne.

Podobnie obiecujące wyniki uzyskano w Uniwersytecie Przyrodniczym w Poznaniu (Prof. W. Grajek) w wykorzystaniu gliceryny jako surowca do biotechnologicznej produkcji 1,3-propanodiolu i kwasu propionowego, surowców do produkcji syntetycznych polimerów oraz w Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie (Prof. Z. Targoński), gdzie prowadzone są badania nad uzyskaniem kwasu bursztynowego i kwasu fumarowego. Można mieć nadzieję, że w perspektywie 3–8 lat (rys. 5.2) uda się wdrożyć biotechnologie utylizujące glicerynę uzyskiwaną przy produkcji biodiesela na surowce poszukiwane przez przemysł chemiczny.

W zakresie beztlenowej fermentacji ciekawą propozycją rozwijaną w Polsce jest metanowa fermentacja organicznych odpadów ze składowisk śmieci komunalnych oraz wybranych odpadów przemysłu spożywczego (Prof. L. Krzystek – Politechnika Łódzka). Technologia ta jest dopracowywana i stanowi ciekawą propozycję ochrony środowiska naturalnego z jednoczesnym wytwarzaniem energii.

Prace nad biotechnologicznym otrzymaniem czystego wodoru nie rokują w Polsce aplikacji w najbliższym dziesięcioleciu. Ciągłe jest to etap prac podstawowo-

wych. Wielkie światowe koncerny inwestują w ten temat bardzo poważne środki, zarówno kapitał ludzki jak i finansowy, stąd abstrahując od zwykłego przypadku, można stwierdzić, że nasz kraj ma niewielkie szanse w tej konkurencji.

Biorafineria jest to ogólne pojęcie linii technologicznej wykorzystującej znane procesy i typową aparaturę do ich realizacji, w której biomasa, roślinna bądź inna, ulega przemianom i zostaje zamieniona lub/oraz rozfrakcjonowana na szerokie spektrum cennych składników, z których każdy stanowi bądź produkt finalny, bądź surowiec dla innych technologii.

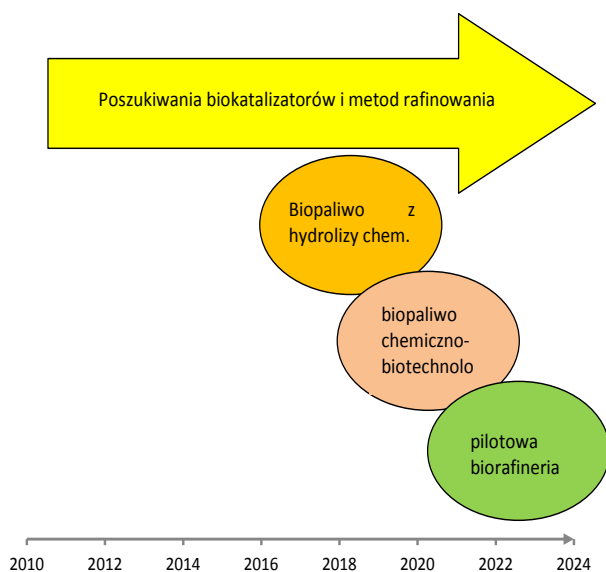
Do najważniejszych produktów biorafinerii należą:

- energia i biopaliwa,
- chemikalia, farmaceutyki i inne związki chemiczne o wysokiej wartości,
- włókna i biomateriały,
- żywność i pasza,
- nawozy i inne preparaty wzbogacające glebę.

Dotychczas uruchomione pilotażowe biorafinerie ligninocelulozowe w większości stosują metody chemicznej hydrolizy, co niszczy wiele cennych składników biomasy. Są to ciągle jeszcze raczej wytwórnie bioetanolu z masy ligninocelulozowej niż prawdziwe rafinerie. Podstawową wadą znanych technologii biochemicznych są wysokie koszty hydrolizy tego rodzaju biomasy, które wynikają z kosztów biokatalizatorów. Z tej przyczyny na całym świecie prowadzone są prace nad nowymi preparatami enzymatycznymi, które w sposób efektywny będą prowadziły dekompozycje tego surowca. W Polsce mamy na tym polu znaczące osiągnięcia badawczo-rozwojowe (zespoł prof. S. Bieleckiego).

Naciski, zarówno legislacyjne jak i ekonomiczne, sprzyjają bez wątpienia rozwojowi biorafinerii, zwłaszcza biorafinerii II-giej generacji. Wiąże się z tym jednak bardzo poważny problem decyzyjny: czy dążyć do wdrożenia procesu otrzymywania tylko biopaliwa z surowców ligninocelulozowych czy też realizować w praktyce gospodarczej pełną ideę biorafinerii, tj. wytwarzać, jakby przy okazji, szereg cennych produktów. Wszystkie argumenty merytoryczne przemawiają za tym drugim wariantem. Ponadto możliwy jest wariant mieszany. W pierwszym okresie, ze względu na zapotrzebowanie na biopaliwo wdrażany może być wariant produkcji bioetanolu, po czym stopniowo wdrażane by były technologie rafinacyjne, tzn. odzyskujące z biomasy inne cenne produkty. Na rys. 5.3 przedstawiono optymistyczny scenariusz rozwoju biorafinerii w Polsce.

Jednym z nader ważnych rodzajów biomasy, stanowiących surowiec dla biorafinerii III-ciej generacji są algi. Biorafineria bazująca na algach może wytwarzać biodiesel (ocenia się, że z glonów można uzyskać ok. 6000 – 250000 dm³/hektar/rok oleju, co jest wielokrotnie wyższą wartością od uzyskiwanej z nasion oleistych), ale pozwa-



Rys. 5.3. Optymistyczny scenariusz rozwoju biorafinerii w Polsce

la uzyskać także szereg cennych substancji. Ten kierunek badań jest dynamicznie rozwijany w Politechnice Wrocławskiej (Prof. K. Chojnacka). Powstały już solidne podstawy pod rozpoczęcie prac wdrożeniowych dla technologii wytwarzania:

- dodatków paszowych z mikroelementami,
- ekstraktów glonowych.

W tym ostatnim przypadku wytworzono już próbną partię ekstraktów glonowych wykorzystując technologię ekstrakcji nadkrytycznej CO_2 opracowaną w Instytucie Nawozów Sztucznych w Puławach.

W obszarze zastosowań biotechnologii przemysłowej w ochronie środowiska, w opinii ekspertów w Polsce jesteśmy dobrze przygotowani do realizacji procesów mikrobiologicznej degradacji zanieczyszczeń. Odnośnie gazów, szereg nowatorskich rozwiązań powstało w ramach realizowanego (2007–2010) programu zamianego „Inżynieria procesów ograniczania emisji oraz utylizacji gazów szkodliwych i cieplarnianych” pod kierownictwem Prof. G. Bartelmus – PAN Gliwice. Dotyczy to przede wszystkim wielofazowych i wielofunkcyjnych bioreaktorów, integrujących właściwości stosowanych mikroorganizmów z wymogami procesowymi. Posiadamy również w kraju szeroką ofertę technologii biodegradacji ścieków przemysłowych. Na drodze ich realizacji stoją głównie problemy finansowe. Należy przy tym zauważyć, że realizacja tych technologii od strony formalnej jest bardzo łatwa, nie do porównania z problemami występującymi np. przy wprowadzaniu nowego leku. Jest to również szansa dla rozwoju drobnej, lokalnej przedsiębiorczości.

Spośród wielu procesów jednostkowych typowych dla bioinżynierii, za najważniejsze eksperci uznali zagadnienia związane z:

- inżynierią bioreaktorów,
- metodami wydzielenia i oczyszczania bioproduktów.

W ramach programu rozwojowego Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (Prof. A. Noworyta, Politechnika Wrocławska) została w 2011 roku opracowana podstawowa konstrukcja mikrobiologicznego bioreaktora membranowego i zbudowano bioreaktor gotowy do testów. Jest on uniwersalny w działaniu i nad wyraz prosty w obsłudze, stąd jego wykorzystanie może być powszechne. Opracowano także matematyczne podstawy projektowania tego reaktora (prof. A. Trusek-Hołownia, Politechnika Wrocławska), które pozytywnie zweryfikowano w procesach syntezy specyfików chemicznych oraz w procesach biodegradacji ścieków przemysłowych. Zostały stworzone warunki do testowania dowolnych układów technologicznych przy stosunkowo niskich kosztach. W ocenie ekspertów realizacja programu pozwoli w ciągu 2–5 lat wprowadzić ten typ bioreaktora do co najmniej kilku technologii.

Jeśli chodzi o molekularne metody immobilizacji biokatalizatorów przemysłowych, wymagające kontrolowania powierzchni nośników z dokładnością nanometryczną, zaawansowane B+R z tego zakresu prowadzone są w Polsce przez zespół prof. Andrzeja Jarzębskiego w Politechnice Śląskiej i w Instytucie Inżynierii Chemicznej PAN w Gliwicach. Niewątpliwie w najbliższych latach można oczekiwać dalszego, wyraźnego postępu w inżynierii biokatalizatorów tego typu i ich praktycznym wykorzystaniu. Szczególnie bliski praktycznych zastosowań wydaje się dział syntezy związków chemicznych wykorzystywanych jako bloki budulcowe dla specyfików przemysłu farmaceutycznego. Aplikacje w tym obszarze wymagają od realizatorów stosunkowo wysokiej „kultury technicznej”, ale nie wymagają wysokich nakładów inwestycyjnych. Biorąc powyższe wydaje się, że program rozwoju badań i wdrożeń mikrobioreaktorów w kraju zasługuje na wsparcie, przy czym zastosowań na szerszą skalę można by oczekiwać nie wcześniej niż za 5–8 lat.

Dalszy rozwój inżynierii przemysłowej w znacznym stopniu jest uwarunkowany postępowaniem technologicznym w separacji i oczyszczaniu bioproduktów. Bardzo wiele produktów uzyskiwanych w procesach biotechnologicznych, zwłaszcza dotyczy to metabolitów uzyskiwanych podczas transformacji mikrobiologicznych, występuje w niskim i bardzo niskim stężeniu. Ich efektywne odseparowanie od pozostałych składników układu i oczyszczenie stanowi istotny problem technologiczny.

Spośród wielu metod rozdziału bardzo obiecujące są zachowawcze metody separacji membranowej. Wykorzystując duży postęp w inżynierii materiałowej, można bezpośrednio lub też wykorzystując odpowiednio dobrane specyficzne

ligandy, z dużą efektywnością rozdzielać omawiane układy. Istnieją bardzo duże przesłanki, że przy odpowiednim wsparciu finansowym za pomocą technik membranowych można będzie w perspektywie 5–8 lat opracować i wdrożyć szereg metod zachowawczego rozdziału bardzo wielu układów poliskładnikowych, o stężeniach typowych dla biotechnologii. Uzyskane przez polskie naukowców wyniki (Prof. A. Trusek-Hołownia – Politechnika Wrocławska) pozwalają już na skuteczne frakcjonowanie takich układów. Ogólnie należy stwierdzić, że procesy membranowe stwarzają bardzo interesujące możliwości zastosowań w biotechnologii i ich rozwój zasługuje na silne wsparcie.

Znaczenie **technologii biopolimerowych** dla dalszego rozwoju przemysłu dobitnie uświadamia fakt, iż światowa produkcja tworzyw sztucznych osiąga dzisiaj ponad 200 miliardów ton/rok. Ponad 90 proc. z nich stanowią: polietylen, poli(chlorek winylu), polipropylen, polistyren i poli(terftalan etylu). Szkodliwość takiej skali produkcji tworzyw sztucznych dla środowiska naturalnego jest oczywista. W celu ograniczenia jej negatywnego oddziaływania w okresie ostatnich kilkunastu lat obserwuje się dynamiczny rozwój chemii i technologii biodegradowalnych polimerów z odtwarzalnych surowców roślinnych. Z pewnością można powiedzieć, że są to materiały polimerowe XXI wieku, mimo że ich produkcja to dziś zaledwie 400.000 ton/rok.

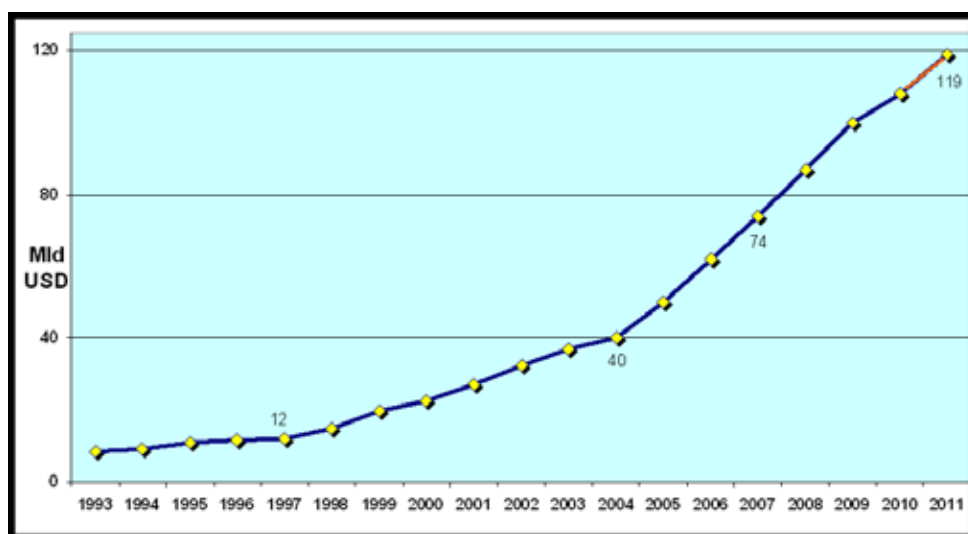
Biopolimery wykorzystuje się obecnie w dwóch obszarach. Należą do nich sektor biomedyczny oraz przemysłowy. Sektor biomedyczny skupia się na wytwarzaniu biomateriałów do medycznego wykorzystania (implanty, opatrunki, sprzęt medyczny itp.). Przewidywane wielkości produkcji są stosunkowo niskie, ale znaczenie takich biomateriałów jest i będzie niezwykle istotne. W sektorze przemysłowym nacisk kładzie się na metody produkcji konwencjonalnych i nowych biomateriałów polimerowych, procesy ich pozyskiwania i oczyszczania. Szczególne znaczenie dla rozwoju tej dziedziny mają: bio-plastiki wytwarzane z surowców odnawialnych, zaawansowane polimery o nowych, bardziej kompleksowych właściwościach funkcjonalnych oraz materiały, w których zastosowane systemy biologiczne lub metody produkcji zainicjowały powstanie strukturalnie złożonych produktów (*bio-inspired materials*).

Badania nad polimerami biodegradowalnymi prowadzone są w szeregu polskich ośrodkach badawczych, m.in.: w Instytucie Biopolimerów i Włókien Chemicznych w Łodzi, w Instytucie Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN w Zabrze, Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN w Łodzi, Instytucie Materiałów Polimerowych i Barwników w Toruniu. Wyniki są jeszcze na etapie nie pozwalającym na opracowanie technologii, niemniej mamy już w kraju pierwsze osiągnięcia. Doskonałym przykładem jest tutaj celuloza mikrobiologiczna. Jej naturalne pochodzenie, czystość chemiczna i wysoka biokompatybilność sprawiają, że doskonale sprawdza się ona jako wilgotny opatrunek, czy materiał implantowalny. Technologia otrzymywa-

nia celulozy bakteryjnej została opracowana przez zespół pod kierunkiem Prof. S. Bieleckiego i przekazana do firmy BioWil (Gdańsk), gdzie planowana jest budowa instalacji w skali przemysłowej. Istnieje możliwość modyfikacji dotychczas opracowanego materiału pod kątem skuteczniejszego ich zastosowania w praktyce klinicznej.

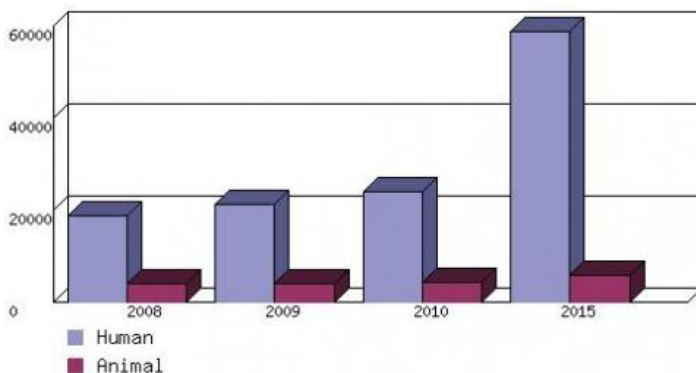
Jeśli chodzi o **biotechnologie bazujące na surowcach odnawialnych i odpadach** opracowywane w polskich ośrodkach badawczo-rozwojowych, przewiduje się, iż znaczenie praktyczne będzie miała technologia wytwarzania nawozów mineralno-organicznych na bazie produkcji zwierzęcej i technologia oparta na roztwarzaniu niskiej jakości fosforytów i surowców odnawialnych zawierających fosfor w celu wytworzenia nawozów surowcowych metodami biotechnologicznymi. Obydwe te technologie są opracowywane przez zespół Prof. Góreckiego z Politechniki Wrocławskiej.

W zakresie zastosowań **biotechnologii w ochronie zdrowia**, jednym z najważniejszych obszarów jest i pozostanie przemysł biofarmaceutyków. Wartość światowego rynku biofarmaceutyków w 2010 r. przekroczyła znacznie 100 mld. USD, a w 2011 r. oczekuje się, że osiągnie 120 mld. USD (rys. 5.4).



Rys. 5.4. Wzrost wartości światowego rynku biofarmaceutyków

Wśród 10. najlepiej sprzedawanych leków iniekcyjnych na świecie, aż 7 stanowią biofarmaceutyki. Zyski z ich sprzedaży stanowią obecnie ok. 20 proc. całego rynku farmaceutycznego, a szacowane są na co najmniej 30 proc. w 2015 r. W ostatnich latach największy potencjał wzrostu wśród biofarmaceutyków mają terapeutyczne przeciwciała monoklonalne ze wzrostem sprzedaży 15–20 proc. rocznie, czemu dorównuje jedynie sprzedaż szczepionek, wśród których dominują szczepionki przeciwko grypie. Biofarma-



Rys. 5.5. Wartość sprzedaży szczepionek

ceutyki znalazły zastosowanie terapeutyczne w wielu dziedzinach medycyny. Największy udział tych preparatów dotyczy takich schorzeń jak: niedokrwistość, choroby nowotworowe, choroby zakaźne oraz cukrzyca i inne zaburzenia metaboliczne. Z roku na rok rośnie udział biofarmaceutyków w chorobach o podłożu immunologicznym.

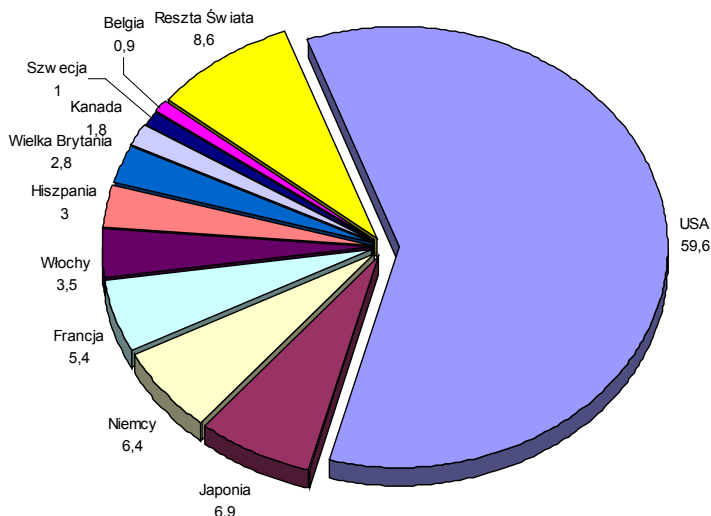
W najbliższych latach spodziewany jest gwałtowny wzrost sprzedaży szczepionek (rys.5.5), przede wszystkim dla ludzi. W 2009 r. światowy rynek szczepionek dla ludzi i zwierząt wynosił 25,2 mld. USD i przy 18 proc. wzroście rocznym osiągnie w 2015 r. wartość 64,2 mld. USD.

Średnia szybkość wzrostu wartości rynku biofarmaceutyków jest przeszło dwukrotnie większa od pozostałych leków; Na wzrost ten wpłynęły między innymi następujące czynniki:

- znacząca liczba corocznie rejestrowanych biofarmaceutyków,
- efektywność terapeutyczna preparatów biofarmaceutycznych w dotychczasowych obszarach niszowych (np. choroby nowotworowe, choroby autoimmunologiczne),
- wysoka cena biofarmaceutyków innowacyjnych w porównaniu do istniejących produktów,
- ograniczona liczba „biogeneryków” na rynku.

W skali światowej największy rynek biofarmaceutyków reprezentuje Ameryka Północna (58 proc.), a w następnej kolejności Europa (22 proc.) i Japonia (9 proc.) (rys. 5.6).

W Polsce jest produkowany w dużej skali tylko jeden nowoczesny biofarmaceutyk – rekombinowana insulina ludzka Gensulin. Jest to jednocześnie doskonały obraz (również jedyny) korzyści, które wynikają z realizacji dużego projektu biotechnologicznego z zakresu leków – uruchomienia produkcji i sprzedaży w oparciu o własne osiągnięcia naukowe. Oprócz oczywistych korzyści społecznych



Rys. 5.6. Podział światowego rynku biofarmaceutyków na kraje

(300 miejsc pracy, zwiększony dostęp do leku, rozwój terapii i ochrony zdrowia, postęp techniczny w innowacyjnej gospodarce, osiągnięcie naukowe) i ekonomicznych (podatki, efekt farmakoekonomiczny, inwestycje, eksport, zmniejszenie import) wprowadzenie własnego leku na krajowy rynek medyczny ma znaczenie cenotwórcze i przynosi łatwe do oszacowania oszczędności budżetu państwa wynoszące ok. 200 mln. PLN rocznie (skumulowane – ok. 2 mld. PLN).

5.1.4. Konkurencyjne obszary technologiczne. W ocenie ekspertów uczestniczących w realizacji Projektu InSight 2030 polskie opracowania technologiczne w obszarze biotechnologii przemysłowej nie mają praktycznie szans na skuteczną konkurencję w obszarze „globalnych technologii”, to znaczy technologii, których produkty można ulokować na każdym rynku. Nie znaczy to bynajmniej, że należy zaniechać zainteresowań badawczych i analitycznych takimi tematami. Duża wiedza na ich temat jest niezbędna przy ewentualnych zakupach licencyjnych, tak abyśmy nie byli „śmietniskiem” wysłużonych technologii i aby móc sprawnie te technologie wykorzystywać i rozwijać.

Największe szanse w kraju, z gospodarczego punktu widzenia, mają technologie niszowe, technologie związane z drobnym przemysłem chemicznym i przemysłami pokrewnymi, a przede wszystkim technologie wykorzystujące krajowe zasoby surowców odnawialnych. Jest to potencjalnie niemały rynek. Osiągnięcie sukcesu w kilku takich technologiach może być furtką do wyjścia na rynki trzecie, ale to dopiero po sukcesie krajowym. Odpowiedzialne wskazanie konkretnych, opracowywanych dzisiaj w polskich pracowniach biotechnologii przemysłowych jako potencjalnych, przyszłościowych „polskich specjalizacji” jest na obecnym etapie prac badawczych

– w ocenie ekspertów – przedwczesne i raczej niemożliwe. Do analiz, które mogłyby przynieść odpowiedź na to pytanie, należy powrócić za parę lat.

Jeśli chodzi o rynek ochrony zdrowia, polską specjalizacją mającą szanse Polską specjalizacją mającą szanse na sukces komercyjny na rynkach zagranicznych, przy uwzględnieniu realiów infrastrukturalnych i gospodarczych jest produkcja biosyntetycznych leków biopodobnych.

W Polsce istnieje duży potencjał intelektualny (naukowcy, instytuty i uczelnie) pozwalający na dokonywanie odkryć i opracowanie laboratoryjne nowych, innowacyjnych lub odtwórczych biofarmaceutyków. Istnieje również i powstaje nowa infrastruktura badawcza w skali laboratoryjnej pozwalająca na prowadzenie tych badań o wybitnym potencjale aplikacyjnym, będącym podstawą innowacyjnej gospodarki.

Przykład skutecznie zrealizowanego projektu rekombinowanej insuliny ludzkiej – czwartej na świecie – poprzez przełamanie wysokiej bariery zaawansowanej technologii wykazuje, że wytwarzanie leków biopodobnych ma realne szanse stać się polską specjalizacją z możliwościami na sukces komercyjny na rynkach zagranicznych. Dziś w Polsce prowadzonych jest już kilka kolejnych projektów wdrożenia biofarmaceutyków z szansami na zakończenie. Doprowadzenie do rozpoczęcia produkcji leku biopodobnego jest procesem długotrwałym, choć wybitnie skróconym w porównaniu z lekami innowacyjnymi z 11–13 lat do 7–8 lat przy znacznie mniejszych nakładach (porównaj rys. 5.7 i 5.8), lecz przynoszącym proporcjonalnie duże efekty. Skuteczne wsparcie ze strony państwa jest szczególnie pożądane na etapie komercjalizacji – wprowadzania na rynek. Jednocześnie długi czas realizacji projektu oznacza, że proces ten nie jest wrażliwy na bieżące warunki makroekonomiczne i takie przedsięwzięcia powinny być rozwijane nawet w warunkach kryzysu gospodarczego z racji ich znaczenia dla rozwoju całego przemysłu.

5.1.5. Wnioski i rekomendacje. Najsilniejszą stroną polskiej biotechnologii przemysłowej jest zaangażowana kadra naukowa. Posiadamy bardzo wiele ośrodków badawczych, w których realizuje się szeroką tematykę badawczą, głównie w obszarze nauk podstawowych. Słabą stroną jest brak systemu sterowania badaniami i wdrożeniami, brak planu strategicznego rozwoju biotechnologii przemysłowej w Polsce, w klasyfikacji opracowanej przez powstałe w ostatnim roku Narodowe Centrum Nauki brak nawet sekcji, w której prace z biotechnologii stosowanej mogłyby aplikować o środki. Pewną nadzieją na poprawę istniejącego stanu rzeczy jest rozpoczęcie budowy Centrum Biotechnologii Technicznej w Łodzi.

Zgodnie z definicją tej dziedziny, biotechnologia to integracja nauk przyrodniczych i inżynierskich. Bez właściwie zorganizowanej współpracy podmiotów tworzących biotechnologię osiągnięcie sukcesu w aplikacji wyników badań jest bardzo

Zasadnicze etapy procesu badawczo-rozwojowego innowacyjnego leku z szacunkowo określonym czasem trwania		
Etap	Kamienie milowe	Czas trwania
Badania podstawowe (synteza, poszukiwanie, testowanie) <ul style="list-style-type: none"> ■ Chemiczne ■ Biochemiczne ■ Biologia molekularna, strukturalna, ... 	przydzielenie kodu badanej substancji	ok. 2 lat
Badania przedkliniczne	pierwsza dawka w badaniach toksykologicznych (20-50 mln PLN)	ok. 3 lata
Badania kliniczne <ul style="list-style-type: none"> ■ I faza ■ II faza ■ III faza 	pierwsze podanie u ludzi pierwsze podanie u chorych (> 100 mln PLN, 1 wskazanie)	5-7 lat ok. 2 lata ok. 2 lata 2-3 lata
Proces rejestracyjny	złożenie wniosku	0,9 roku
Uzyskanie rejestracji/ wprowadzenie na rynek		~ 0,5 roku
Prace rozwojowe po wprowadzeniu do obrotu (badania IV fazy)		11 - 13 lat

Rys. 5.7. Mapa drogowa rozwoju innowacyjnego biofarmaceutyku

Zasadnicze etapy procesu badawczo-rozwojowego biopodobnego leku z szacunkowo określonym czasem trwania		
Etap	Kamienie milowe	Czas trwania
Badania podstawowe (synteza, poszukiwanie, testowanie) <ul style="list-style-type: none"> ■ Chemiczne ■ Biochemiczne ■ Biologia molekularna, strukturalna, ... 	przydzielenie kodu badanej substancji	ok. 3 lat
Badania przedkliniczne	Porównawcze badania wybranych właściwości (5-15 mln PLN)	1 - 2 lata
Badania kliniczne <ul style="list-style-type: none"> ■ I faza ■ II faza ■ III faza 	Wybrane badania porównawcze (ok. 30 mln PLN, 1 wskazanie)	2 lata
Proces rejestracyjny	złożenie wniosku	0,9 roku
Uzyskanie rejestracji/ wprowadzenie na rynek		~ 0,5 roku
Prace rozwojowe po wprowadzeniu do obrotu (badania IV fazy)		7 - 8 lat

Rys. 5.8. Mapa drogowa rozwoju biopodobnego biofarmaceutyku

mało prawdopodobne, niemal niemożliwe. W Polsce takiej zorganizowanej formalnie współpracy nie ma. Dotyczy to zwłaszcza biotechnologii przemysłowej, która z założenia ma dostarczać idee rozpracowane w postaci konkretnych technologii. Z tej przyczyny bardzo ważna rola przypada naukom inżynieryjnym, wiodącym przy wdrażaniu każdej technologii. Aby osiągnięcia uzyskiwane przez liczną i dobrze przygotowaną kadrę nie kończyły się na publikacjach, konieczne jest wzmocnienie sektora inżynierii bioprocusowej rozumianej jako zespół nauk inżynierskich zaangażowanych w przygotowanie ciągu technologicznego w skali przemysłowej.

Mimo posiadania dobrze przygotowanych kadr naukowych, Polska w pracach nad rozwojem biotechnologii zajmuje odległe miejsce w stosunku do czołówki światowej. W pewnych dziedzinach nie ma już szans na skuteczną konkurencję i fakt ten powinien determinować politykę naukową i badawczo-rozwojową w przyszłości. Możliwości zastosowań biotechnologii są jednak tak szerokie, iż bez wątpienia można znaleźć obszary niszowe, w których Polska może się stać się liczącym się partnerem w realizacji programów europejskich i znaczącym uczestnikiem rynku międzynarodowego.

Na tle tych stwierdzeń można sformułować następujące rekomendacje:

- Jak wykazano, podstawą biotechnologii przemysłowej są biokatalizatory, które mogą efektywnie i z mniejszą szkodą dla środowiska naturalnego zastępować katalizatory chemiczne, co więcej otwierają drogę dla uzyskiwania nowych, dotychczas inną drogą niedostępnych substancji o ważnym znaczeniu przyszłościowym. Liczba biokatalizatorów oczekiwanych przez przemysł jest bardzo duża, stąd prace nad ich uzyskaniem są ze wszech miar wskazane. Wszelkie tego typu prace powinny być realizowane w ścisłej współpracy z grupą nauk inżynierskich (inżynierią bioprocusową). Bez takiej współpracy szanse na wdrożenia dramatycznie maleją. W Polsce nie ma systemu taką współpracę stymulującego, co więcej, nieraz ambicje poszczególnych uczonych czy ośrodków współpracę taką torpedują. Wskazane jest uczynić wszystko, by odpowiednią współpracę, opartą na solidnych podstawach, zorganizować. Inżynieria bioprocusowa dostarcza bowiem „narzędzi” i elementów, z których buduje się każdą technologię. Rolę silnej inżynierii bioprocusowej w tworzeniu postępu w biotechnologii oraz w realizacji procesów biotechnologicznych trudno przecenić. Dysponując sprawną inżynierią bioprocusową i wytwarzając w kraju pewne biokatalizatory można z powodzeniem rozwinąć liczną grupę technologii „niszowych”, wykorzystujących łatwo dostępne surowce i mogące stanowić doskonały obszar dla inicjatyw lokalnych, stymulujących postęp w danym środowisku.
- Drugim niezwykle ważnym obszarem są technologie wykorzystujące lokalne surowce, zwłaszcza te odnawialne, oraz wszelkiego rodzaju odpady. Biotechnologia otwiera bardzo ciekawy, ważny – choć ciągle jeszcze w sferze badawczo-projekto-

wej – obszar, tj. biorafinerie, zwłaszcza ligninocelulozowe. Mamy w kraju wszelkie podstawy, aby w ich tworzeniu twórczo uczestniczyć. Dużą szansą dla rozwoju biorafinerii jest fakt, że zasadniczym jej produktem są biopaliwa, i w dającej się przewidzieć przyszłości będzie na nie rosnące zapotrzebowanie. Biorafinerie mają szanse stać się motorem napędzającym przemysł, jako że mogą dostarczać szeroki wachlarz substancji o bardzo pożądanym właściwościach.

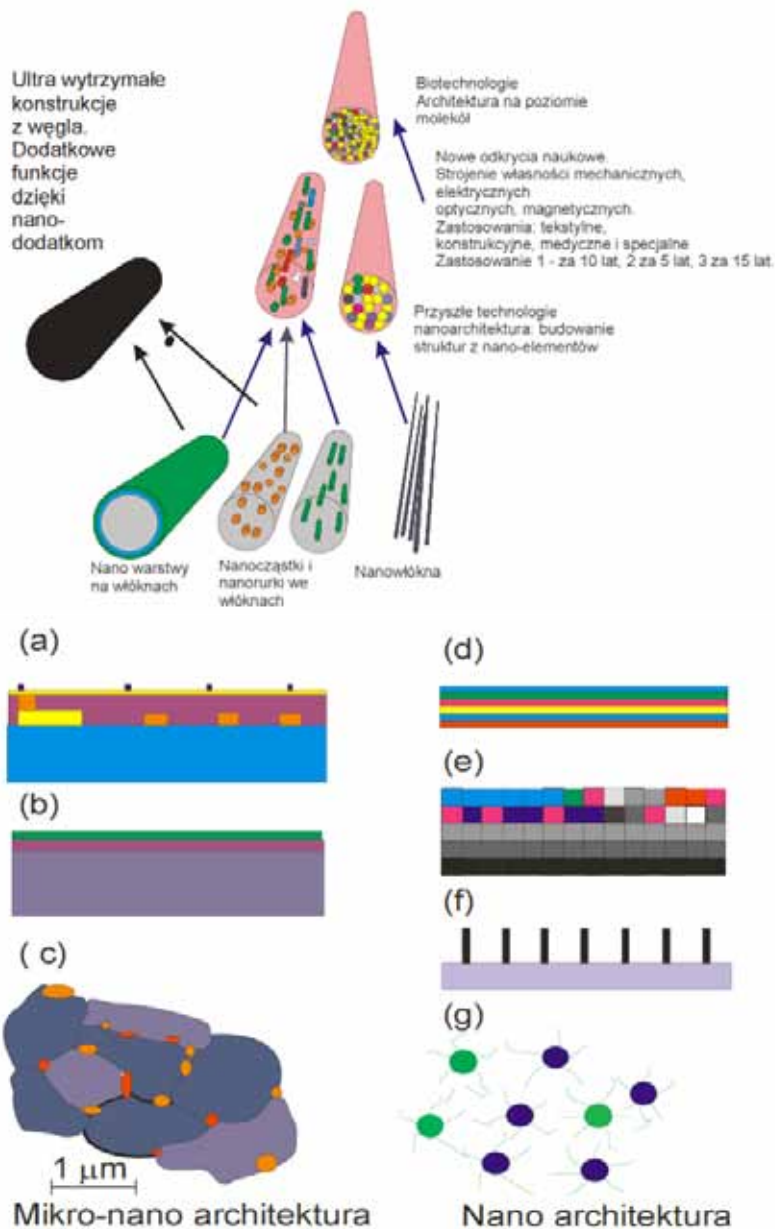
- Ważnym obszarem jest także wykorzystanie metod biotechnologicznych w ochronie środowiska naturalnego. Biotechnologia takich metod dostarcza, zarówno do oczyszczania gazów jak i degradacji zanieczyszczeń ścieków przemysłowych.
- Odrębnym niezwykle znaczącym obszarem w przemyśle – w zakresie biotechnologii czerwonej – są biofarmaceutyki, generujące najwyższą wartość dodaną. Wobec ogromnego obciążenia budżetów państw kosztami refundacji nowoczesnych leków biosyntetycznych, dopiero rozpoczął się stymulowany przez rozwinięty świat proces akceptacji leków biopodobnych, wyzwalaając konkurencję cenową, która pozwoli na objęcie nowoczesną terapią coraz większych populacji pacjentów. Wobec jednoczesnego postępu w diagnostyce chorób, zwiększania się dostępu do leczenia oraz do nowych środków i metod terapii, obniżanie kosztów leków biotechnologicznych staje się priorytetem, szczególnie wobec wzrostu populacji i stałego wydłużania średniej wieku, a co za tym idzie coraz szybszego wzrostu liczby pacjentów wymagających nowoczesnej terapii.

5.2. Nanotechnologie

5.2.1. Nanotechnologie – kluczowe technologie rozwoju nowoczesnego przemysłu. Rozwój nanotechnologii jest traktowany w krajach o najwyższym poziomie rozwoju technologicznego jako podstawowy czynnik warunkujący konkurencyjność ich przemysłów w XXI wieku. Uważa się, że nanotechnologia jest tą generyczną technologią, która zapoczątkuje nową przemysłową rewolucję na miarę wynalezienia maszyny parowej, elektryczności i techniki komputerowej. Oczekuje się, że wywrze ona większy wpływ na rozwój cywilizacyjny niż postępy w dziedzinie półprzewodników w technologiach informacyjno-telekomunikacyjnych, gdyż zakres jej zastosowań jest prawie nieograniczony. Przykładami przyszłych zastosowań mogą być: lekarstwa bez skutków ubocznych dozowane z nanostruktur, nowe biokompatybilne materiały na implanty, nowe optyczne nanostruktury dla ultra-wysoko-szybkiej transmisji informacji, biologiczna produkcja materiałów dla przemysłu, nowe katalizatory dla technologii energetycznych i środowiskowych i wiele innych.

Przesłanki te spowodowały, iż Komisja Europejska uznała nanotechnologię, za kluczową technologię warunkującą dalszy rozwój i konkurencyjność wszystkich

gałęzi europejskiego przemysłu (Commission Communication (COM(2009)512): „Preparing for our future: Developing a common strategy for key enabling technologies in the EU).



Rys. 5.9. Ilustracja pojęcia mikro-nano architektury i nano-architektury

5.2.2. Kierunki rozwoju nanotechnologii w technice światowej. Pojęciem „nanotechnologie” określa się w technice światowej grupę działań technologicznych na poziomie atomowym i molekularnym o skali wielkości 0,1–10000 nm podejmowanych w celu projektowania, produkcji, manipulowania i stosowania materiałów, komponentów i systemów o nowych fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwościach funkcjonalnych. Te nowe właściwości pojawiają się z powodu małej skali struktury i nie mogą być uzyskane w inny sposób. Integracja nano-skali z rozwiązaniami posługującymi się inną skalą lub pochodzącymi z innych obszarów zastosowań, jest często kluczowe w celu opracowania konkretnych aplikacji technologicznych.

„Nano-nauka” obejmuje pozyskanie nowej wiedzy i zrozumienia fundamentalnych zjawisk, właściwości i funkcji w nano-skali, które nie mają swoich odpowiedników poza zakresem w skali nanometrowej. W analizach prowadzonych w ramach projektu InSight 2030 nanotechnologie zostały podzielone na trzy podkategorie:

- nano-bio-systemy,
- nano-materiały,
- nano-elektronikę z nano-optyką (nano-fotonikę),

Podział taki jest oczywiście pewnego rodzaju uproszczeniem i służy wyłącznie celom analitycznym wynikającym z zakresu i potrzeb projektu. Poniżej przedstawiono zwięzły przegląd priorytetowych obszarów badań w wymienionych wyżej podkategoriach i przewidywanych kierunków rozwoju technologii w danym obszarze.

Przewiduje się, że wykorzystanie **nanotechnologii w medycynie** będzie jednym z najważniejszych i prężniej rozwijających się zastosowań tej technologii. Krótkie łańcuchy DNA i RNA odegrają w przyszłości bardzo ważną rolę, jako leki. Jednak ze względu na duże wymiary tych biomolekuł, ich dostarczenie do miejsca docelowego może okazać się problematyczne. Transport leków w ciele człowieka będzie jednym z kierunków badań dotyczących wykorzystania nanotechnologii w medycynie.

Dzięki nanotechnologii możliwa będzie budowa nanokapsuł, które uchronią aktywną molekułę (tworząc nanolek) przed zniszczeniem przez system immunologiczny człowieka, zanim lek dotrze do miejsca, w którym ma zadziałać. W przyszłości możliwa będzie także budowa inteligentnych systemów dostarczania leków, które nie tylko ochronią indywidualnie dobrany do potrzeb pacjenta lek przed zniszczeniem, ale także dostarczą go bezpośrednio do chorego miejsca i dopiero tam aktywują. Dzięki temu będzie on skuteczniejszy, co wyeliminuje konieczność przyjmowania silnych leków, które mogą działać niekorzystnie na zdrowe partie organizmu. Systemy te pozwolą na monitorowanie stanu komórek w ciele i wczesne wykrywanie chorób, takich jak rak, czy zakrzepy krwi. Wykorzystanie właściwości nanorurek węglowych może pozwolić również na leczenie raka, bez konieczności stosowania toksycznych środków niszczących także zdrowe komórki.

Kolejnym działem medycyny, w której nanotechnologia z pewnością odegra dużą rolę są materiały biokompatybilne możliwe do wykorzystania przy produkcji implantów i protez. Prawdopodobnie możliwa także będzie również naprawa uszkodzonych połączeń nerwowych, przy użyciu przewodzących nanostruktur.

Z racji znaczenia dla ochrony środowiska i oszczędzania energii, **katalizatory i procesy katalizy** są od wielu lat przedmiotem intensywnych badań naukowych i technologicznych. Znaczenie nanotechnologii w kontekście katalizatorów wiąże się z dwoma aspektami. Efektywność katalizy zależy nie tylko od materiału katalizacyjnego, ale także od stosunku jego aktywnej powierzchni do objętości. Z jednej więc strony wykorzystuje się drobne cząstki katalizatora (dla przykładu cząstki platyny w katalizatorach samochodowych mają wymiary 2–20 nm). Z drugiej natomiast, aby utrzymać aktywne cząstki katalizatora, stosuje się materiał nośny, który najczęściej jest porowatym nanomateriałem, co ma za zadanie dodatkowo zwiększyć efektywność katalizatora poprzez zwiększenie stosunku powierzchni do objętości. W przyszłości, wykorzystanie w katalizatorach samochodowych nanorurek węglowych zamiast platyny pozwoli w znacznym stopniu zmniejszyć jego koszty, ze względu na bardzo dużą cenę platyny.

Nanorurki węglowe mogą też w najbliższej przyszłości posłużyć do filtracji wody, ze względu na to, że wiele popularnych zanieczyszczeń wody (m.in. rozpuszczalne chemikalia) silnie wiąże się z nanorurkami, a trudno jest je odfiltrować w przypadku zastosowania innych filtrów z użyciem aktywnego węgla. Kolejną zaletą nanorurek jest redukcja problemów związanych z nasycaniem filtrów dzięki dużej powierzchni filtrującej. Mimo obiecujących właściwości, nie udało się do tej pory zbudować nanorurkowego filtra. W tym zakresie nadal trwają intensywne poszukiwania rozwiązań technologicznych.

Nanomateriały z nowymi właściwościami stanowią bardzo szerokie pole zastosowań. Z szerokiego zakresu nanomateriałów do najważniejszych z punktu widzenia zastosowań przemysłowych – zdaniem ekspertów uczestniczących w realizacji projektu – należą:

- nanokryształy, które stanowią przejście między cząsteczkami a ciałem stałym. Materiały takie cechują się bardzo dużą stabilnością temperaturową – mogą być twarde tak jak diament, dlatego znajdują zastosowanie w wielu produktach wysokiej jakości;
- nanowłókna i kompozyty: właściwości makroskopowe materiałów kompozytowych mogą być modyfikowane poprzez dodanie nanomateriałów, co skutkuje zwiększeniem stosunku wytrzymałości do wagi; Dodatkowo nanokompozyty polimerowe są bardzo wytrzymałe, mają lepszą stabilność temperaturową i są bardziej odporne chemicznie niż czyste polimery;
- naporowate materiały są substancjami podobnymi do gąbek o porach wielkości do 100 nm. Dzięki swoim właściwościom umożliwiają przejście przez nie

cząstek o określonym kształcie i rozmiarze. W przyszłości może to pozwolić na budowę specjalnych filtrów w przemyśle spożywczym, czy materiałów do przechowywania gazów;

- nanopokrycia, które dzięki zmodyfikowanej powierzchni mogą zyskać takie właściwości jak: antykorozyjność, samo-czyszczenie, zwiększona odporność na ścieranie. Nanopokrycia mogą być także wykorzystane w ogniwach słonecznych do zwiększenia efektywności absorpcji promieniowania.

Zdaniem większości ekspertów, chociaż w tej sprawie zdania są podzielone, w obszarze **nanoelektroniki** bardzo obiecujące jest wykorzystanie grafenu. Materiał ten posiada doskonałe właściwości elektryczne, a dodatkowo jest elementem bardzo trwałym i wytrzymałym. Po opracowaniu grafenowego tranzystora, udało się zbudować grafenowy układ scalony. Jego wykorzystanie na skalę przemysłową wymaga jeszcze znacznych prac badawczo-rozwojowych w celu udoskonalenia procesu wytwarzania tego materiału i jego obróbki.

Grafen może posłużyć do wytwarzania kart pamięci typu flash o pojemnościach większych niż obecnie stosowane karty, przy zachowaniu tych samych rozmiarów. Dodatkowo, pamięci takie mogą pozwolić na zachowanie danych znacznie dłużej w porównaniu z obecnymi przemysłowymi standardami.

Kolejnym rozwiązaniem, które w najbliższych latach będzie coraz częściej stosowane, są układy elektroniczne wykonywane z plastiku (przykładem są tutaj tranzystory polowe FET). Wykorzystanie plastiku znacznie obniża koszty urządzeń. Dodatkowo sprawia, że są one elastyczne i mogą być wbudowane w inne elementy, takie jak na przykład opakowanie żywności w celu monitorowania jego warunków przechowywania, transportu itd. Przewiduje się także, że plastikowe układy znajdą także zastosowanie w produkcji źródeł światła. Plastikowe źródła światła LED mają wysoką sprawność oraz szeroki kąt emisji. W połączeniu z technologią plastikowych FET-ów możliwa jest budowa kompaktowych, giętkich, lekkich i tanich wyświetlaczy.

Poprzez połączenie zintegrowanej elektroniki z nanoczuJNIkami możliwe będzie wytworzenie rozproszonych systemów czujników, które dostarczą dane pomiarowe przy pomocy techniki bezprzewodowej. Systemy te umożliwią lepszy monitoring środowiska, procesów przemysłowych, kontrolę klimatu, kontrolę zużycia energii w domu/pracy, czy zwiększenie bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Potencjał wykorzystania nanoczuJNIków jest jednak zdecydowanie większy. Przewiduje się, że będą one w przyszłości stosowane niemal w każdej dziedzinie życia, poczynając od medycyny (monitoring stanu zdrowia), poprzez przemysł spożywczy (kontrola jakości żywności), bezpieczeństwo (wykrywanie materiałów toksycznych i innych materiałów niebezpiecznych dla zdrowia, kontrola ruchu drogowego), aż po przemysł.

W zakresie **fotoniki**, największy rynek zbytu stanowi rynek wyświetlaczy. Jest on jednak stosunkowo wolno rozwijającym się obszarem, a głównym trendem związanym z ich rozwojem jest obniżenie kosztu urządzeń. Zdecydowanie największą popularnością cieszą się wyświetlacze ciekłokrystaliczne LCD, ze względu na bardzo dobry stosunek jakości do ceny. Ponieważ zastosowanie nanofotoniki wiązałoby się z powiększeniem kosztów LCD, powinna być ona raczej rozważana w kontekście wspierania takich technologii jak wyświetlacze z emisją polową FED (*Field Emission Display*) i wyświetlacze z emiterami elektronowymi i przewodnictwem powierzchniowym SED (*Surface-Conduction Electron-Emitter Display*), które mogłyby rywalizować z plazmowymi wyświetlaczami wielko-gabarytowymi oraz organiczne diody elektroluminescencyjne OLED (*organic light emitting diodes*), kwantowe diody elektroluminescencyjne QLED (*quantum/dot/light emitting diodes*) dla małych urządzeń, takich jak telefony komórkowe, i nowych aplikacji, gdzie wymagane są giętkie ekrany.

Duży nacisk w pracach badawczo-rozwojowych prowadzonych w laboratoriach światowych kładzie się na rozwój technologii nanorurek węglowych, które byłyby wykorzystane w FED i SED oraz rozwój diod elektroluminescencyjnych wykonanych z giętkich materiałów organicznych i kropek kwantowych. Ważnym kierunkiem badań technologicznych jest także rozwój technologii kropek kwantowych (QD) i studni kwantowych (krzemowych oraz grup III-V i II-VI), istotny z punktu widzenia fotowoltaiki (budowa ogniw wysokiej sprawności), połączeń optycznych, detekcji w podczerwieni, zapisu danych czy telekomunikacji.

Wykorzystanie nanotechnologii w powyższych zastosowaniach fotonicznych nie jest przeważnie niezbędne i wiąże się z polepszeniem sprawności urządzeń stosowanych obecnie. Jednak ze względu na masową ilość produkowanych i sprzedawanych urządzeń w zastosowaniach, takich jak telekomunikacja, wyświetlacze, oświetlenie czy fotowoltaika, wkład pracy włożony w rozwój nanotechnologii do tych zastosowań może być bardzo opłacalny.

Pionierami nanotechnologii były takie kraje jak: USA, Republika Federalna Niemiec, Japonia, Korea Płd, Izrael, Francja, a obecnie dołączyły Rosja i Chiny. Większość krajów o rozwiniętym przemyśle posiada strategiczne programy rozwoju nanotechnologii. Nanotechnologie rozwija także Południowa Afryka, Wietnam, Meksyk. Każdy kraj opracowuje swoją własną koncepcję i ustala własne priorytety. Na przykład RPA: dla pozyskania wody, dla górnictwa, dla zwalczania chorób tropikalnych. Francja i Austria stawiają na bio-nanotechnologie.

We krajach o najbardziej rozwiniętym przemyśle obserwujemy intensywny rozwój badań stosowanych we wszystkich wymienionych wyżej dziedzinach. Na przykład Niemcy tylko w zakresie badań z obszaru nanofotoniki zdecydowały się zainwestować 30 mld euro do roku 2020 (około 3 mld Euro rocznie). Na konferencjach i wy-

stawach widać coraz więcej firm działających oferujących elementy, materiały i urządzenia oparte o nowe idee z zakresu nanotechnologii. Staje się ona dziedziną zaciętej walki konkurencyjnej o rynek przyszłości o ogromnym znaczeniu komercyjnym.

5.2.3. Stan obecny i perspektywy rozwoju nanotechnologii w Polsce. W Polsce istnieją od lat silne zespoły badawcze prowadzące prace naukowe i badawczo-rozwojowe z zakresu nanotechnologii. Podobnie jak to ma miejsce w innych polach badawczych objętych projektem Foresight 2030 cechuje je wielkie rozproszenie tematyczne i brak spójnego programu strategicznego.

W monograficznym studium foresightowym wykonanym przez profesorów Witolda Łojkowskiego i Urszulę Narkiewicz w ramach projektu InSight 2030, zawartym w jego „Analizie końcowej”, szczegółowo opisano stan obecny i perspektywy rozwoju nanotechnologii w Polsce na tle świata oraz dokonano rankingu ich znaczenia. Podane są gałęzie technologii, zalecenia dla ich rozwoju, cele do osiągnięcia, podstawy fizyczne wykorzystywanych zjawisk, branże przemysłowe, które skorzystają z nanotechnologii, największe bariery. Oceniono także poziom poszczególnych nanotechnologii w Polsce oraz na świecie wg. 9-stopniowej klasyfikacji NATO oraz dystans do najwyższego, 9. poziomu tej skali (poziom IX dojrzałości technologicznej: „Technologia sprawdzona z sukcesem w warunkach rzeczywistej misji”).

W ocenie ekspertów w kluczowych obszarach badań i prac rozwojowych w zakresie nanotechnologii sytuacja Polski kształtuje się następująco:

- **w obszarze nanomateriałów konstrukcyjnych i barierowych** istnieją w Polsce silne zespoły badawcze i silny przemysł zdolny wdrażać innowacyjne idee technologiczne;
- **w obszarze nowych urządzeń dla nanotechnologii** istnieją silne zespoły badawcze lecz niezbyt silny przemysł;
- **w obszarze nano-biotechnologii, nanomedycyny i nanochemii** sytuacja jest zróżnicowana. Pomimo bardzo dynamicznego rozwoju w świecie, w wielu dziedzinach tego obszaru mamy słabe i nieliczne zespoły badawcze;
- **w obszarze nanofizyki** (półprzewodniki, materiały dla fotoniki, magnetyki, metamateriały, spintronika) w kilku specjalności technologicznych posiadamy silne zespoły badawcze, jednakże zarówno w Polsce jak i w świecie przemysł wykorzystujący osiągnięcia nanofizyki jest jeszcze w początkowych fazach rozwoju.

Za kluczowe technologie, na których należy skoncentrować prace badawcze, wdrożeniowe i inwestycyjne eksperci uznali **w obszarze nanomateriałów:**

- nanowarstwy ochronne metaliczne, ceramiczne i diamentopodobne,
- nanokompozyty polimerowe,
- nanometale konstrukcyjne.

W **obszarze urządzeń i aparatury** będą kontynuowane prace badawcze i rozwojowe nad wybranymi urządzeniami laboratoryjnymi i technologicznymi dla nanotechnologii, w tym nad reaktorem do tworzenia warstw techniką hybrydową, systemem do nanolitografii przy pomocy EUV, reaktorami mikrofalowymi do syntezy nanocząstek i aparaturą do wyciskania hydrostatycznego metali z ekstremalną deformacją plastyczną.

W **obszarze nano-biotechnologii, nanomedycyny i nanochemii** najszerszej są prowadzone prace naukowe i badawczo-rozwojowe w zakresie **nanomedycyny**. Prowadzi je wiele uczelni, medycznych i technicznych, instytutów badawczych i biur rozwojowych przemysłu. Realizowany jest projekt kluczowy „Mikrosystemy w diagnostyce biomedycznej”. Prace obejmują metody diagnostyczne o większej czułości i rozdzielczości przestrzennej, regenerację znacznych ubytków uszkodzonych tkanek, metody terapeutyczne z minimalizacją skutków ubocznych, nowe materiały dla implantów i kateterów i szereg innych. Nanotechnologia stanowi medycynę przyszłości. Stąd prace w tym zakresie powinny być kontynuowane i przy odpowiednim wsparciu można się spodziewać szeregu osiągnięć na poziomie światowym.

W **obszarze nanofizyki** za priorytetowe w polskich pracach badawczo-rozwojowych eksperci uznali technologie:

- półprzewodników azotkowych,
- nanostruktur węglowych dla elektroniki (grafen, nanorurki).

Prace związane z badaniem i wykorzystaniem grafenu w elektronice powinny być w najbliższych latach szczególnie intensywne w Polsce, ze względu na opracowany w Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych (ITME) innowacyjnego sposobu wytwarzania grafenu o bardzo dobrej jakości, który być może okaże się także użyteczny w zastosowaniu na skalę przemysłową.

Mapy drogowe wymienionych specjalności technologicznych, krzywe życia technologii, oceny szans i zagrożeń zostały szczegółowo przedstawione w „Analizie końcowej”.

Problemy rozwoju innej ważnej dziedziny zastosowań nanotechnologii – **nanofotoniki** – zostały szerzej omówione w podrozdziale 5.6. Podkreślając znaczenie tej dziedziny dla polskiego przemysłu należy zauważyć, że jednym z najistotniejszych działów nanofotoniki rozwijanych w Polsce jest technologia i wykorzystanie światłowodów mikrostrukturalnych.

Potrzeba rozwoju i inwestycji w zakresie technologii światłowodów fotonicznych wynika przede wszystkim z oczekiwań rynku na innowacyjne rozwiązania posiadające potencjał do wdrożenia w działalności gospodarczej. Wśród odbiorców rozwiązań wykorzystujących światłowody mikrostrukturalne będą przede wszystkim firmy działające w obszarze telekomunikacji, w szczególności w dziedzinie

FTTX (Fiber-To-The-X), do której należy FTTH (Fiber-To-The-Home) i inne, a także w obszarze czujników światłowodowych, mających zastosowanie niemal we wszystkich gałęziach przemysłu w kraju i na świecie oraz innowacyjnych źródeł światła takich jak lasery i wzmacniacze światłowodowe czy źródła supercontinuum.

Technologię wytwarzania światłowodów fonicznych, opracowaną na Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej (UMCS) w Pracowni Technologii Światłowodów mamy dostępną u nas w kraju na bardzo wysokim poziomie. Polska należy do czołówki kilku krajów na świecie, które mają najwięcej publikacji w tej dziedzinie. Rozwój tej dziedziny w Polsce poprzez działania wdrożeniowe i inwestycyjne powinien być celem priorytetowym polityki naukowo-technicznej.

5.2.4. Obszary konkurencji. Biorąc pod uwagę aktualny stan prowadzonych prac naukowych i badawczo-rozwojowych, posiadany potencjał przemysłowy, uwarunkowania finansowe i przewidywane potrzeby rynku przyszłości, w ocenie ekspertów z punktu widzenia polskiego przemysłu najbardziej rozwojowe i konkurencyjne na rynku globalnym są technologie:

- pokryć foto-katalitycznych,
- nanokatalizy dla oczyszczania środowiska,
- nanokompozyty polimerowe,
- nanometale.

5.2.5. Wnioski i rekomendacje. Polska ma szansę, w okresie około dwudziestu lat, znaleźć się wśród światowych liderów w wybranych obszarach nanotechnologii. Rozwój nanotechnologii i związanych z nią dziedzin techniki zainicjował nową rewolucję przemysłową, która – jak każda rewolucja gospodarcza – stwarza szansę dla nowych graczy. Dobitym przykładem są przedsiębiorstwa ICT, o których jeszcze parędziesiąt temu nikt nie słyszał, a które dziś są potężnymi graczami na rynku globalnym.

Polskie mocne strony obejmują następujące atuty:

- uznawane na świecie środowisko naukowe o bardzo dużym potencjale (naukowcy mieszkający w Polsce oraz w krajach rozwiniętych),
- zaawansowane, na światowym poziomie, badania w zakresie światłowodów mikrostrukturalnych oraz metod pomiarowych istotnych z punktu widzenia nanofotoniki,
- możliwość zakupu i rozbudowy narzędzi badawczych umożliwiających prowadzenie prac z zakresu nanotechnologii poprzez wykorzystanie przyznanych Polsce środków europejskich,
- stosunkowo duża (w porównaniu do innych krajów rozwiniętych) ilość studentów i doktorantów na kierunkach studiów kształcących w zakresie nanotechnologii,

Jednocześnie z drugiej strony Polska cierpi na szereg niedostatków i słabości wśród których należy wymienić:

- słabe tradycje w zakresie tworzenia i rozwoju nowych technologii,
- polskie uczelnie mają niewielkie doświadczenie w zakresie komercjalizacji wyników badań naukowych, pozyskiwania i utrzymania oraz obsługi patentów i innych form własności intelektualnej,
- słabe tradycje w zakresie przedsiębiorczości pracowników naukowych, która wciąż napotyka na liczne bariery spowalniające jej rozwój,
- brak (lub bardzo nieliczne) podmioty działające na styku nauki i biznesu,
- brak doświadczenia (a często także i woli) tworzenia dużych wyspecjalizowanych programów badawczo-rozwojowych i wdrożeniowych,
- niedostateczna współpraca pomiędzy światem nauki i przemysłu.

Wartym rozważenia jest projekt utworzenia Centrum Doskonałości Badań i Innowacji w Nano-technologii. Inwestycje ze środków krajowych powinny przyjąć formę skoncentrowanego programu, który będzie wspierał tworzenie i obsługę podmiotów o znaczeniu międzynarodowym.

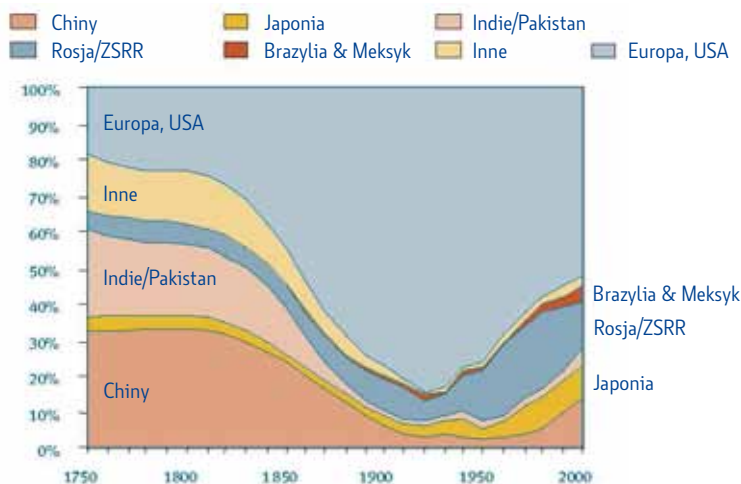
Potrzebne jest podniesienie poziomu naukowego i kształcenia absolwentów uczelni wyższych oraz kadry naukowo-badawczej. Rozwój nano-nauki i nanotechnologii wymaga dostępności odpowiedniej liczby wykwalifikowanego personelu naukowo-badawczego.

Wreszcie, koniecznym jest także uświadomienie polskim przedsiębiorcom przyszłej roli nano-nauki i nano-technologii. Polski przemysł musi mieć możliwość uczestniczenia w rewolucji przemysłowej spowodowanej przez nanotechnologię. Szczególnego wysiłku wymagać będzie wzbudzenie zainteresowania nowopowstających i istniejących już przedsiębiorstw ogromnym potencjałem nanotechnologii oraz możliwości osiągnięcia przewagi nad konkurencją dzięki tej dziedzinie.

5.3. Zaawansowane systemy wytwarzania

5.3.1. Zaawansowane systemy wytwarzania – kluczowa dziedzina rozwoju nowoczesnego przemysłu. Nadzwyczaj szybki postęp globalizacji wywołał nową rewolucję przemysłową, której skutkiem jest niespotykane w historii gospodarczej rozpowszechnienie się na wszystkie regiony świata fabryk, produktów i usług. Największe pożytki z tego nowego zjawiska czerpią, wykorzystując czynnik bardzo taniej siły roboczej, kraje do niedawna zaliczane do „trzeciego świata” a dziś nazywane krajami „wschodzącej ekonomiki”. Regiony mające od czasów pierwszej

rewolucji przemysłowej zdecydowany prym w produkcji wyrobów i usług – w tym Europa – tracą swoje znaczenie (rys. 5.10). Dynamika tych zmian wyraźnie przyspieszyła w ostatnim dziesięcioleciu. Jeśli nasz region chce utrzymać dotychczasową pozycję gospodarczą, musi w sposób zdecydowany przekształcić swoją gospodarkę w gospodarkę, w której głównym czynnikiem sprawczym nie jest siła robocza, lecz wiedza. Należy przy tym podkreślić, że w żadnej innej działalności przemysłowej wiedza nie ma tak decydującego znaczenia z punktu widzenia konkurencyjności, jak wiedza wbudowana w zaawansowane systemy wytwarzania (ZSW).



Rys. 5.10. Udział poszczególnych regionów w światowej produkcji począwszy od pierwszej rewolucji przemysłowej (w procentach, Świat = 100 proc.)

Źródło: Tseng Mitchell M., „Industry development perspectives: Global Distribution of Work and Market”, CIRP 53rd General Assembly, Montreal – Canada, 2003)

Unia Europejska nie może i nie będzie mogła konkurować z regionami wschodzącej ekonomiki, w perspektywie objętej Projektem InSight 2030, taną siłą roboczą. Jednocześnie Unia Europejska ma ciągle jeszcze wyraźną przewagę w możliwościach doskonalenia i unowocześniania procesów wytwarzania. To ten region świata posiada największe doświadczenie w projektowaniu i produkcji ZSW, to właśnie w Europie jest największa koncentracja uniwersytetów, instytutów i centrów badawczo-rozwojowych zajmujących się od lat tą dziedziną techniki. Stopień wykorzystanie tego czynnika będzie w przyszłości decydował o konkurencyjności całej gospodarki europejskiej.

Gospodarcze znaczenie dalszego doskonalenia systemów wytwarzania wynika także stąd, że w Unii Europejskiej w 230 000 przedsiębiorstwach produkcyjnych zatrudniających więcej niż 20 osób pracuje ponad 34 miliony ludzi wytwarzają-

cych 1 500 miliardów euro wartości dodanej, w tym 2,2 miliona wysoko wykwalifikowanych specjalistów zatrudnionych bezpośrednio w rozwoju, produkcji i serwisie ZSW (*ManuFuture Strategic Agenda 2006*). Warto przy tym zauważyć, że każde miejsce pracy przy wytwarzaniu ZSW pociąga za sobą konieczność stworzenia co najmniej 2 miejsc pracy w serwisie.

Obok wpływu na całokształt gospodarki, rozwój ZSW także duże znaczenie sektorowe. Ocenia się, że światowy rynek ZSW wzrośnie ze 165 miliardów dolarów w roku 2010 do 200 miliardów dolarów w roku 2015. Produkcja europejskiego przemysłu w tym sektorze wynosi ponad 10 proc. produkcji przemysłowej UE, 19 proc. jej eksportu i pochłania 40 proc. wydatków na prace badawczo-rozwojowe finansowane przez przedsiębiorstwa prywatne.

Wymienione czynniki spowodowały, że w 2009 r. Komisja Europejska uznała tę dziedzinę techniki za kluczową dla jej dalszego rozwoju gospodarki Unii Europejskiej.

5.3.2. Kierunki rozwoju zaawansowanych systemów w technice światowej. Zaawansowane systemy wytwarzania są jednym z tych obszarów techniki, w których Unia Europejska dzierży wyraźny prymat. Jedynie w takich specjalnościach tego obszaru jak robotyka i wytwarzanie zintegrowane komputerowo dorównują jej Stany Zjednoczone i Japonia, która w zakresie robotyki nieco przewyższa osiągnięcia europejskie. Wśród krajów europejskich czołowe miejsce pod tym względem zajmują Niemcy, a w następnej kolejności Francja i Wielka Brytania. Z „nowych” krajów Unii Europejskiej największą aktywnością cechuje się Słowenia (*Cross-sectorial Analysis of the Impact of International Industrial Policy on Key Enabling Technologies, Copenhagen 2011*)

Rozwój ZSW jest jednym z priorytetów polityki naukowo-technicznej szeregu krajów Europy. Przykładem może być choćby Wielka Brytania, która ostatnio przeznaczyła na budowę Parku Zaawansowanego Wytwarzania (*Advanced Manufacturing Park*) 200 milionów funtów. Zgodnie z założeniami będzie on nie tylko miejscem badań nad nowymi technologiami, lecz także platformą współpracy nauki i biznesu. Obok największych uniwersytetów brytyjskich prowadzących kierunki technologiczne uczestnikami przedsięwzięcia są tak znane organizacje przemysłowe jak Rolls Royce, Casting Technology International czy Dorner Tools.

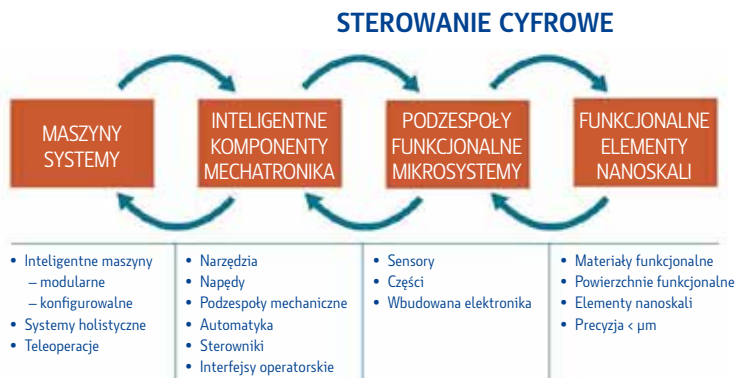
Prace rozwojowe w zakresie ZSW cechuje bardzo wysoki koszt i długi okres oczekiwania zwrotu inwestycji (ROI). Stąd nie jest przypadkiem, że w tym obszarze przodują kraje najbogatsze, będące siedzibami wielkich koncernów. Kraje o mniejszej koncentracji funduszy przemysłowych, posiadające na ogół rozproszone kapitałowo przedsiębiorstwa, uczestniczą w tej działalności kooperując z wytwórcami generalnymi poprzez dostawę wyspecjalizowanych przyrządów i urządzeń wchodzących w skład systemów oraz oprogramowania aplikacyjnego lub prowadząc

działalność integracyjną czy adaptacyjną. Przykładem skuteczności takiej polityki może być Szwajcaria czy Izrael.

Tematyka prac badawczo-rozwojowych w zakresie ZSW w ostatnich latach została skoncentrowana na wykorzystaniu do ich doskonalenia osiągnięć bardzo szybko rozwijającej się mechatroniki, interdyscyplinarnej technologii stanowiącej połączenie inżynierii mechanicznej, elektrotechniki, elektroniki, fotoniki, nanotechnologii, automatyki, robotyki, zaawansowanych materiałów i ICT. Rozwój techniki komputerowej i teledziania spowodował wręcz zmianę filozofii projektowania ZWS prowadząc do powstawania tzw. wirtualnych fabryk i inteligentnych linii produkcyjnych. Integracja dotąd oddzielnych technologii, wykorzystując zjawisko ich konwergencji, radykalnie zmienia zakres i skalę procesów produkcyjnych (rys. 5.11).

Wychodząc z powyższych założeń prace badawczo-rozwojowe w świecie w zakresie ZSW zostały ukierunkowane na tworzenie systemów:

- **adaptacyjnych** – automatycznie dostosowujących się do zmian zachodzących w operacyjnym środowisku i integrujących dotychczas różnorodne procesy produkcyjne. W wyniku powstaną zupełnie nowe metody organizacji procesów produkcyjnych;
- **cyfrowych** – opartych na wykorzystaniu narzędzi softwerowych i ICT do planowania, projektowania i integracji nowych technologii zarówno w fazie projektowania jak i w fazie operacyjnej. Softwerowe narzędzia modelowania i prezentacji złożonych produktów znajdują powszechne zastosowanie w tworzeniu wirtualnych modeli całej fabryki, obejmujących budynki, maszyny, wyposażenie technologiczne i inne środki produkcji. Tego typu modele będą podstawą prac i analiz planistycznych i projektowych (wirtualnej inżynierii), prowadząc do znacznej obniżki kosztów implementacji technologicznych i czasu ich wdrażania.



Rys. 5.11. Integracja wiedzy w zaawansowanych systemach wytwarzania od systemów i maszyn inteligentnych po funkcjonalne elementy nanoskali (Źródło: *Assuring the Future of Manufacturing in Europe*, RTDinfo 2006)

- **podłączonych do sieci (networked)** – przekształcające procesy produkcyjne – przekraczając tereny fabryczne a nawet granice krajów – w dynamiczne, kooperacyjne systemy wytwarzania. Wizja sieci minifabryk, jako alternatywa dla scentralizowanej produkcji masowej, staje się coraz bardziej realna. Opracowanie komputerowych metod identyfikacji i weryfikacji wymagań produkcyjnych dla takich systemów jest obecnie jednym z głównych problemów prac badawczych w tym zakresie,
- **zrobotyzowanych** – ta właściwość jest nader istotna wobec konkurencji produkcyjnej z obszarami bardzo taniej siły roboczej.

Jednocześnie, wobec niezwykle szybkiego starzenia się nowych technologii, następują istotne zmiany w organizacji procesów badawczo-wdrożeniowych w zakresie ZSW, jak dotychczas bardzo czasochłonnych. Dotychczasowy model linearny (badania naukowe, prace rozwojowe, konstrukcja, produkt, marketing) zostaje coraz częściej zastępowany symultaniczną realizacją wszystkich faz rozwojowych prowadzoną na zasadach iteracyjnych. Głównym czynnikiem decydującym o takim podejściu jest możliwie największe skrócenie czasu wejścia na rynek nowej idei technologicznej. Z tych samych powodów Komisja Europejska kładzie duży nacisk na umiędzynarodowienie prac badawczych nad rozwojem ZSW i włączeniem do nich wszystkich krajów UE, w tym także nowych. Jednakże wobec działalności koncernów europejskich w tej dziedzinie, prowadzących własną politykę konkurencyjną, skutki dyrektyw unijnych jeszcze jest trudno ocenić.

Istotnym czynnikiem rozszerzenia i usprawnienia współpracy badawczo-wdrożeniowej oraz kooperacji w zakresie ZSW byłoby przyspieszenie standaryzacji ich elementów i modułów, w szczególności modułów (narzędzi) softwerowych. Obecnie z narzędzi tych korzysta się przede wszystkim w drodze ich outsourcingu od nielicznej grupy dostawców systemów. Wprowadzenie standardów podniosłoby konkurencję w tym zakresie, znacznie rozszerzając liczbę potencjalnych dostawców. Ma to także ważne znaczenie dla polskiego przemysłu tego sektora.

5.3.3. Stan obecny i perspektywy rozwoju zaawansowanych systemów wytwarzania w Polsce. Polska nigdy nie była liczącym się „graczem” na międzynarodowym rynku zaawansowanych systemów sterowania i ich węzłów technologicznych. Transformacja ustrojowa dodatkowo bardzo dotkliwie wpłynęła na przemysł maszyn i urządzeń technologicznych, w tym przemysł obrabiarkowy. W zderzeniu z rynkiem światowym i działającymi na tym rynku koncernami, dysponującymi nieporównywalnie większymi kapitałami, wiele przedsiębiorstw tego sektora uległo likwidacji, zmieniło swój profil produkcji lub przeszło do produkcji niszowej.

Badania podstawowe i prace rozwojowe z zakresu różnorodnych problemów i technologii zaawansowanych systemów wytwarzania prowadzi w Polsce kilkadziesiąt jednostek naukowych i przemysłowych. Najsilniejszym ośrodkiem jest region mazowiecki z Politechniką Warszawską, Przemysłowym Instytutem Automatyki i Pomiarów oraz Centralnym Biurem Konstrukcji Obrabiarkowych na czele. Silne ośrodki znajdują się także na Górnym Śląsku (Politechnika Śląska, Instytut Technik Innowacyjnych EMAG i inne) i Dolnym Śląsku (Politechnika Wrocławska, Instytut Komputerowych Systemów Automatyki i Pomiarów), Łodzi (Politechnika Łódzka, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Maszyn Włókienniczych „Polmatex-Centro”, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Automatyki i Urządzeń Precyzyjnych), Krakowie (Akademia Górniczo-Hutnicza, Politechnika Krakowska, Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania) oraz w Gdańsku (Politechnika Gdańska).

Prace tych ośrodków cechuje jednak brak skorelowanego programu rozwoju tej dziedziny techniki w Polsce i wynikające stąd rozproszenie tematyczne. Aktualna ich tematyka dotyczy zagadnień:

- modelowania i algorytmizacji procesów technologicznych,
- inteligentnych systemów diagnostyki i wspomagania sterowania procesów przemysłowych,
- automatycznej akwizycji i analizy danych,
- metod sztucznej inteligencji w zastosowaniu do sterowania procesami technologicznymi,
- interferometrycznych systemów pomiarowych,
- mechatroniki robotów i maszyn,
- modelowania komputerowego układów i procesów,
- projektowania i automatyzacji maszyn i procesów technologicznych,
- robotyzacji procesów technologicznych i produkcyjnych,
- komputerowo zintegrowanych systemów wytwarzania,
- geometrycznej teorii sterowania w nieliniowych układach dynamicznych i robotyce,
- sterowania i optymalizacji dyskretnych procesów produkcyjnych (z uwzględnieniem elastycznych systemów produkcyjnych),
- sterowania dyskretnymi elastycznymi systemami produkcyjnymi z wykorzystaniem teorii szeregowania zadań i sieci Petriego,
- przetwarzania obrazów wizyjnych w robotyce,
- dynamiki procesów ewolucyjnych i jej zastosowań w prognozowaniu,
- sterowania procesami współbieżnymi w systemach komputerowych i produkcyjnych z uwzględnieniem rozdziału zasobów,
- niezawodności zaawansowanych systemów wytwarzania i wielu innych.

Ogromna większość tych prac kończy się pracami doktorskimi lub habilitacyjnymi, publikacjami i sprawozdaniami. W ocenie ekspertów z ośrodków przemysłowych uczestniczących w projekcie InSight 2030 ich wpływ na systemy wytwarzania stosowane obecnie w polskim przemyśle, jest – jak dotąd – nikły.

Jeśli chodzi o wdrożenia zaawansowanych systemów wytwarzania w przemyśle, jednostki badawczo-rozwojowe i inne jednostki świadczące usług w tym zakresie koncentrują się na:

- pracach projektowych, montażowych i serwisowych z zakresu robotyzacji procesów produkcyjnych i logistycznych, wykorzystując do tego celu w zasadzie tylko roboty dostarczane przez producentów zagranicznych (KUKA, FANUC, ABB i inni),
- projektowania, kastomizacji, integracji, montażu i serwisu technicznego,
- opracowywania aplikacji softwerowych na potrzeby sterowania,
- rozwiązywania problemów eksploatacyjnych.

W ocenie ekspertów, mimo opisanego wyżej stanu Polska może być liczącym się uczestnikiem rynku globalnego w analizowanym obszarze. Głównym atutem są liczne i dobrze przygotowane kadry – dzięki wieloletniej działalności szeregu polskich uczelni – w zakresie automatyki i robotyki. Wielu absolwentów polskich uczelni pracuje w renomowanych zagranicznych ośrodkach badawczych i biurach rozwojowych koncernów.






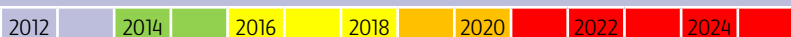

Jednym z podstawowych warunków osiągnięcia tego celu jest opracowanie strategicznego programu rozwoju badań i wdrożeń technologii zaawansowanych systemów sterowania i przeznaczenie na ten cel odpowiednich środków finansowych.

5.3.4. Obszary konkurencji. W wyniku analizy z udziałem wielu interesariuszy – uwzględniając aktualne osiągnięcia prac badawczo-rozwojowych, możliwości finansowe i zapotrzebowanie rynku – wytypowano trzy technologie, które polskie ośrodki badawczo-rozwojowe mogłyby w horyzoncie objętym projektem InSight 2030 wdrożyć i skutecznie konkurować na rynku globalnym. Są to następujące technologie:






- elastyczna automatyzacja i robotyzacja centrów obróbczych,
- robotyzacja stanowisk montażowo-wytwórczych w przemyśle maszynowym,
- systemy wytwórcze wykorzystujące energie odnawialne.

Charakterystyki tych technologii i ich mapy drogowe w tabelach 5.1.–5.3.

Tabela 5.1. Charakterystyka i mapa drogowa priorytetowej technologii – elastyczna automatyzacja i robotyzacja centrów obróbkowych

Priorytetowa technologia:	Elastyczna automatyzacja i robotyzacja centrów obróbkowych			
Zastosowanie:	Wytwarzanie elementów dyskretnych, logistyka			
Znaczenie:		1–3 lata	3–7 lat	7–10 lat
	Ekonomia	+	++	+++
	Środowisko	-	+	+++
	Spółeczeństwo	-	+	++
<p>1) Rozwój semantycznych modeli wiedzy, które integrują produkty i usługi oraz związane modele biznesowe w całym cyklu życia produktów, przeznaczone dla systemów wytwarzania, a także narzędzia i metodologie analizy i modelowania wartości dodanej w łańcuchu wartości wytwarzania i w całym cyklu życia systemów wytwarzania.</p> 				
<p>2) Rozwój mechatronicznych systemów z wbudowaną wiedzą i informacjami zorientowanymi na klienta, włączone w innowacyjne usługi i modele biznesu.</p> 				
<p>3) Rozwój nowych procesów wytwarzania i ich integracja do zwinnych i wrażliwych środowisk wytwarzania dla producentów maszyn i komponentów.</p> 				
<p>4) Rozwój zaawansowanych narzędzi modelowania konfiguracji adaptacyjnych systemów opartych na adaptacyjnych modułach z wbudowaną inteligencją i ze standardowymi interfejsami typu plug-and-play.</p> 				
<p>5) Rozwój metodologii i narzędzi zarządzania modułowymi i adaptacyjnymi komponentami w łatwo rekonfigurowalnych maszynach i łatwo adaptowalnych liniach produkcyjnych.</p> 				
<p>6) Wbudowane inteligentne funkcje, takie jak możliwość samouczenia się i samonapraw w produktach z wbudowaną wiedzą.</p> 				
<p>7) Rozwój systemów sterowania opartych na wiedzy i samouczących się, które oparte są na wielowarstwowym sterowaniu umożliwiającym zarządzanie dynamicznymi i łatwo adaptowalnymi sieciami maszyn oraz pracownikami i robotami.</p> 				







Oznaczenia:

-  – Badania podstawowe
-  – Badania stosowane
-  – Prace rozwojowe
-  – Pierwsze aplikacje
-  – Produkcja






Wpływ rozwoju technologii:

- : brak
- + : mały
- ++ : średni
- +++ : duży
- ++++ : b. duży

Tabela 5.2. Charakterystyka i mapa drogowa priorytetowej technologii – robotyzacja stanowisk montażowo-wytwórczych w przemyśle maszynowym

Priorytetowa technologia:	B1. Robotyzacja stanowisk montażowo-wytwórczych w przemyśle maszynowym			
Zastosowanie:	Wytwarzanie elementów dyskretnych, montaż, logistyka			
Znaczenie:		1–3 lata	3–7 lat	7–10 lat
	Ekonomia	+++	+++	+++
	Środowisko	++	+++	+++
	Spółeczeństwo	+	++	+++
<p>1) Rozwój metodologii narzędzi ICT pozwalającej na planowanie o wysokiej dokładności i przewidywanie produkcji, planowanie i sterowanie procesami w ramach złożonych sieci firm i wielu udziałowców.</p> 				
<p>2) Rozwój inteligentnych systemów i narzędzi ICT dla monitorowania stanu, diagnostyki i prognoz, jako środka budowy inteligentnych, samooptimalizujących się i efektywnych kosztowo maszyn z wytwarzaniem typu „zero usterek”.</p> 				
<p>3) Rozwój organizacyjnych koncepcji, procesów i metod dla planowania współpracy, zarządzania i optymalizacji produkcji i zasobów logistyki.</p> 				
<p>4) Rozwój metod i narzędzi ICT dla oceny ryzyka i poprawy przewidywalności związanej z nowymi produktami, usługami i procesami wytwarzania, aby uniknąć przyszłych drogiej poprawek i reorientacji produkcji.</p> 				
<p>5) Rozwój modeli cyfrowej fabryki z animacją w czasie rzeczywistym, w celu zapewnienia działania rozproszonej i równoczesnej inżynierii w sieci firm i jednostek badawczych.</p> 				
<p>6) Rozwój narzędzi ICT dla tworzenia wartości w ramach globalnie działających sieci, w tym zarządzania globalnym łańcuchem wartości, połączeń produkt-usługa i zarządzania rozproszonymi zasobami wytwórczymi (wirtualna fabryka), zabezpieczenie informacji wymiana wiedzy i synchronizacja procesów.</p> 				

Oznaczenia:

-  – Badania podstawowe
-  – Badania stosowane
-  – Prace rozwojowe
-  – Pierwsze aplikacje
-  – Produkcja






Wpływ rozwoju technologii:

- : brak
- + : mały
- ++ : średni
- +++ : duży
- ++++ : b. duży

Tabela 5.3. Charakterystyka i i mapa drogowa priorytetowej technologii – systemy wytwarzania uwzględniające wykorzystanie energii odnawialnych

Priorytetowa technologia:	C1. Systemy wytwarzania uwzględniające wykorzystanie odnawialnych źródeł energii							
Zastosowanie:	Wytwarzanie ciągłe, wytwarzanie elementów dyskretnych, montaż							
Znaczenie:		1–3 lata	3–7 lat	7–10 lat				
	Ekonomia	++	+++	-				
	Środowisko	++	+++	+++				
	Spółeczeństwo	++	-	-				
Harmonogram realizacji zadań dla uzyskania krytycznych rozwiązań:	1) Rozwój innowacyjnych koncepcji systemów wytwarzania, w których ich funkcje związane z dokładnością, produktywnością i niezawodnością są osiągnane z minimalnym możliwym zaangażowaniem zasobów materiałowych i energii.	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024
	2) Rozwój innowacyjnych procesów wytwarzania, w celu minimalizacji zużycia materiałów i energii, jak również materiałów eksploatacyjnych, takich jak smary, chłodziwa, itp.	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024
	3) Badania nad uproszczeniem metod oceny cyklu życia dla umożliwienia użytkownikom i producentom systemów wytwarzania integrację przyjaznych dla środowiska materiałów i energii.	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024
	4) Rozwój innowacyjnych algorytmów sterowania i monitorowania oraz systemów zwiększających stabilność procesów wytwarzania w trybie online w sposób autonomiczny i inteligentny.	2012	2014	2016	2018	2020	2022	2024

Oznaczenia:

-  – Badania podstawowe
-  – Badania stosowane
-  – Prace rozwojowe
-  – Pierwsze aplikacje
-  – Produkcja

Wpływ rozwoju technologii:

- : brak
- + : mały
- ++ : średni
- +++ : duży
- ++++ : b. duży

5.3.5. Wnioski i rekomendacje. Rozwój opisanych wyżej technologii zaawansowanych systemów wytwarzania, które mogłyby stać się konkurencyjną ofertą polskiego przemysłu na rynku globalnym, wymaga opracowania i wdrożenia strategicznego programu badawczo-rozwojowego w tym obszarze. Koordynatorem tego programu powinna być Polska Platforma Technologiczna Procesów Produkcji. W ocenie ekspertów jest ona przygotowana do podjęcia tego zadania. Platforma jest także otwarta na szeroką współpracę z zespołami badawczymi z innych ośrodków i na pozyskanie dalszych firm planujących rozwijać nowe technologie wytwarzania odpowiednie dla wysoce innowacyjnych produktów, np. z zakresu

biotechnologii, czy nowych materiałów, z uwzględnieniem całego cyklu życia tych produktów. Ponieważ typowe fazy w cyklu życia produktu są podobne dla wszystkich sektorów przemysłu, stąd też opracowywane przez firmy uczestniczące w Platformie metody, narzędzia i systemy będą mogły być implementowane w innych branżach. Ważnym rezultatem gospodarczym Platformy mogą być także opracowane narzędzia i systemy IT do integracji i synchronizacji procesów biznesowych i produkcyjnych w branżowych sieciach produkcyjno-logistycznych.

Reasumując wnioski z przeprowadzonych w ramach pola badawczego „Zaawansowane systemy wytwarzania” analiz można sformułować następujące rekomendacje:

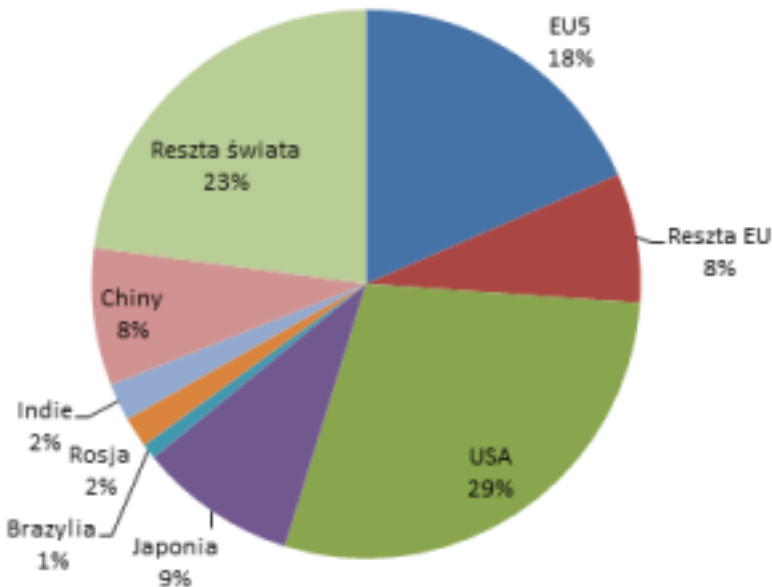
- Należy opracować strategię rozwoju zaawansowanych systemów wytwarzania w Polsce do roku 2025, ze szczególnym naciskiem na rozwój systemów automatyzacji, robotyki i technik informacyjnych.
- Ustanowić strategiczny program badawczo-rozwojowy, składający się z kilku etapów obejmujących programy częściowe trwające po kilka lat (2–4 lata każdy). Byłyby to programy badawcze i programy rozwojowe ogłaszane na zasadzie konkursu. W tym celu należy powołać zespół sterujący, złożony ze specjalistów naukowców i praktyków o dużych kompetencjach i przekonaniu o celowości takiego programu. Zespół miałby zadanie uzgodnić zakres prac z oferentami, zgodnie z zapisami strategii i z uwzględnieniem już prowadzonych prac, aby je nie powtarzać (czego brakuje w obecnych projektach, także strategicznych), a następnie kontrolować postępy i inspirować lub uzgadniać zmiany wynikające z konkurencyjnego otoczenia (obecnie zmiany w projekcie stanowią wyjątek, nie regułę).
- Zespół sterujący powinien także określić zestaw odpowiednich mierzalnych wskaźników technicznych. Należy podkreślić wagę i dużą trudność tego zadania (obecnie stosowane np. tzw. parametry wdrożenia, proponowane przez samych oferentów są często zupełnie nie spełniające swojej roli).
- Nakłady finansowe przeznaczone na program powinny być znaczne, umożliwiające realizację badań i rozwoju na poziomie światowym, w tym we współpracy z czołowymi zespołami z rozpatrywanej dziedziny.
- Program badawczo-rozwojowy powinien być realizowany konsekwentnie, ale elastycznie dostosowywać się do zachodzących zmian i nowych wyzwań.
- Należy prowadzić akcje promocyjne programu badawczo-rozwojowego oraz jego wyników, w połączeniu z różnymi formami zachęty do współpracy firm z zespołami badawczymi.

5.4. Technologie informacyjne i telekomunikacyjne

5.4.1. Technologie informacyjne i telekomunikacyjne – kluczowe technologie rozwoju. Trwające już kilkadziesiąt lat procesy cyfryzacji gospodarek narodowych są dziś podstawą wszelkiej działalności przemysłowej a także szerzej – podstawą funkcjonowania społeczeństwa. Nowe, przełomowe technologie i nowe zastosowania istniejących zmieniają konwencjonalne sposoby funkcjonowania przemysłu, usług, mediów a także całych grup społecznych. W większości dokumentów strategicznych technologie informacyjne i telekomunikacyjne (ICT) są wymieniane jako podstawowy element rozwoju innowacji. Unieruchomienie sieci telekomunikacyjnej i wyłączenie wszelkich urządzeń cyfrowych (komputerów i urządzeń wyposażonych w procesory) spowodowałoby trudny do wyobrażenia kataklizm, co dobitnie świadczy o roli ICT we współczesnej cywilizacji.

Globalny rynek ICT w 2010 r. jest szacowany na 2 523 mld. euro (ponad siedmiokrotność PKB Polski). Udział poszczególnych regionów świata (EU5 to Niemcy, Wielka Brytania, Francja, Hiszpania i Włochy) w globalnym rynku ICT ilustruje rysunek 5.12 (*J.P.Simon: The ICT Landscape in BRICS Countries: Brazil, India, China, JRC European Commission, 2011*).

Udział w rynku ICT w 2009



Rys. 5.12. Struktura światowego rynku ICT

Rynek ICT w Europie w 2011 r. jest oceniony na 715 miliardów euro (IT – 314 mld., telekomunikacja 344 mld., elektronika konsumencka 57 mld. wg. EITO – *European Information Technology Observatory*). W 2007 było zatrudnionych w sektorze ICT UE ponad 6 milionów pracowników w 617 tysiącach firm. Nakłady na prace badawczo-rozwojowe wyniosły 36,7 miliarda euro, bez badań finansowanych przez przemysł dla określonych zastosowań (np. systemy wbudowane wykorzystywane w przemyśle samochodowym). Prace B+R prowadzi ponad 200 tysięcy badaczy w przemyśle i uczelniach (*The 2010 Report on R&D in the European Union, JRC Report 2010*). Pomimo tak wielkiego wysiłku finansowego i organizacyjnego UE, nakłady na B+R w Stanach Zjednoczonych w zakresie ICT wyniosły ponad dwukrotnie więcej (88 mld euro). Zdaniem KE stanowi to zagrożenie dla konkurencyjności całego europejskiego przemysłu wytwórczego i sektora usługowego (*Komunikat Komisji Europejska Agenda Cyfrowa, COM(2010) 245*).

5.4.2. Kierunki rozwoju technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych w technice światowej. Rozwój technologii ICT w perspektywie kilkunastu lat jest stosunkowo łatwy do przewidzenia. Moc obliczeniowa będzie rosła zgodnie z prawem Moore’a, podobnie zwiększać się będą także pojemności urządzeń do przechowywania danych. Istnieją oszacowania mówiące, że do 2030 liczba wnioskowań (*inferences*) realizowanych przez procesory zwiększy się do 16 000/sek czyli wielkości zbliżonej do możliwości ludzkiego mózgu.

Komputer kwantowy w wersji dojrzałej pojawi się najwcześniej w końcu lat 20-tych. Jeszcze później komputery typu optycznego, DNA i chemiczne. Nastąpi dalszy rozwój możliwości superkomputerów i sieci gridowych, co zwiększy możliwości obliczeniowe. Jednocześnie sprzęt komputerowy będzie coraz lżejszy, bardziej mobilny i wykorzystujący rosnące możliwości telekomunikacji (w tym tzw. przetwarzanie w chmurze – „*cloud computing*”). Przepustowości sieci będą ulegały dalszemu zwiększaniu i upowszechniać się będzie dostęp do prawdziwie szerokiego pasma (*broadband*). Dotykowe ekrany na podłożu elastycznym (dzięki rozwojowi mikroelektroniki) będą powszechnie dostępne zmieniając obecny interfejs użytkownika. Podobnie wykorzystanie języka naturalnego, gestów czy „języka ciała” oraz „trójwymiarowość” wpłynie na sposób komunikowania się z komputerami. Będzie to możliwe dzięki zwiększeniu mocy obliczeniowych i szerszemu użyciu sensorów. Projekcje holograficzne staną się typowym sposobem prezentacji; już obecnie powstają realizacje trójwymiarowych obrazów, które można „dotykać”.

Zjawisko „wszechobecnego przetwarzania” (*ubiquitous computing*) wykorzystujące inteligentne sieci sensorów t.zw. *smart grids*, zmieni funkcjonowanie społeczeństwa i oczywiście przemysłu (pierwsze realizacje już funkcjonują np. w systemach energetycznych, coraz powszechniejsze są systemy radio-identyfikatorów RFID

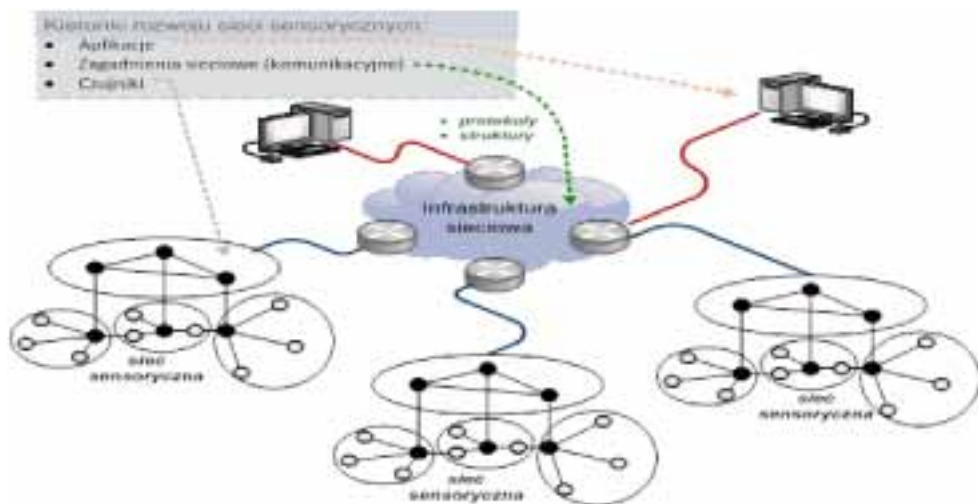
– *Radio-Frequency Identification*). Na szeroką skalę zostanie rozwinięta budowa micro/nano-elektronicznych urządzeń mechanicznych (MEMS). Powstawanie miniaturowych sensorów o małym zapotrzebowaniu energii i wysokiej wydajności, postęp w tworzeniu miniaturowych źródeł zasilania będą możliwe dzięki badaniom materiałowym, nanotechnologiom, osiągnięciom mikroelektroniki i fotoniki. Tzw. systemy wbudowane (*embedded systems*) będą istotnym elementem rozwoju nie tylko przemysłów takich jak samochodowy lub AGD.

Wraz z rozwojem sprzętu będzie następował rozwój oprogramowania, co umożliwi dalszy rozwój zastosowań. Systemy wspomagające procesy biznesowe i zarządzanie w przemyśle wytwórczym, budownictwie, energetyce, logistyce itp. będą musiały być o wiele bardziej niezawodne i spełniające wymogi interoperacyjności. Symulacje i modelowanie, dzięki dostępności dużych mocy obliczeniowych, będą coraz szerzej używane dla wspomagania podejmowania decyzji, zwiększenia jakości produktów i procesów przy skróconym czasie projektowania i obniżeniu kosztów. Ważnym aspektem będzie uwzględnianie w procesach symulacji i modelowania aspektów behawioralnych, zarówno indywidualnych jak i grupowych. Spowoduje to coraz większą współpracę interdyscyplinarną (matematyka, informatyka, socjologia, psychologia i inne).

Kolejnymi wyzwaniami będzie wykorzystywanie olbrzymiej liczby informacji i wynikające stąd problemy złożoności (*complexity*), przeszukiwania i podejmowania decyzji. W następnych latach powstaną systemy pozwalające na efektywną analizę gigantycznych baz danych oraz nowe systemy ułatwiające współpracę i oferujące nieznane dotąd możliwości prowadzenia rozproszonych procesów podejmowania decyzji. Inteligentne systemy analizujące semantycznie teksty zostaną wykorzystane w zastosowaniach cywilnych umożliwiając efektywne korzystanie z dostępnych informacji. Nowe rozwiązania dotyczące sposobów komunikacji z urządzeniami komputerowymi, powszechność zastosowań, złożoność obsługiwanych procesów oraz wymagania dotyczące niezawodności spowodują radykalne zmiany sposobów programowania.

Tak jak w przypadku wielu innych technologii, zastosowania militarne dały początek rozwojowi **sieci sensorycznych** (rys. 5.13). Z rozwojem tychże sieci, także w zastosowaniach dla gospodarki, nierozzerwalnie związane są zmiany zachodzące w dziedzinie technologii czujników (sensorów), systemów komunikacji i przetwarzania (w tym aplikacji). Dzisiaj sieci sensoryczne postrzegane są jako jedna z wiodących technologii XXI wieku.

Jednym z głównych nurtów rozwoju systemów informatycznych jest przejście od „danych” do „informacji”. Proces odkrywania wiedzy w bazach danych (ang. *knowledge discovery in databases*) jest nietrywialnym zadaniem, którego celem jest znalezienie dotychczas nieznanych, potencjalnie użytecznych oraz zrozumiałych dla użytkownika wzorców w zbiorach danych. W eksploracji danych wyróżnia



Rys. 5.13. Obszary techniczne rozwoju sieci sensorycznych

się kilka klas problemów, z których najważniejsze to: grupowanie, klasyfikacja, odkrywanie asocjacji i wzorców sekwencji oraz odkrywanie zmian i odchyień. Należy tu także zwrócić uwagę, że obecnie coraz większą wagę przykładają się nie tylko do wydobywania wiedzy z danych istniejących, ale ich wykorzystania na potrzeby budowy i eksploatacji modeli predykcyjnych.

Charakterystyka sieci sensorycznych jest bardzo złożona, co jest konsekwencją ich dużej różnorodności – zarówno co do technologii wykonania sensorów, ich rozmiarów, rodzaju mierzonych wielkości fizycznych, wielkości sieci, aspektów mobilności, wymagań dotyczących pasma, sposobów zarządzania siecią czy zastosowań, jak i wielu innych aspektów technicznych.

Rozwój sieci sensorycznych odbywa się w trzech obszarach (rys. 5.13): czujników, zagadnień sieciowych (komunikacyjnych) i aplikacji.

Wszechobecność technologii informatycznych i sieci łączących urządzenia cyfrowe pociągnie za sobą wzrost znaczenia bezpieczeństwa systemów. Nastąpi dalszy rozwój zarówno kryptografii i systemów zabezpieczenia sieci jak i technologii biometrycznych, co będzie miało istotne znaczenie dla przemysłu i bezpieczeństwa publicznego.

5.4.3. Stan obecny i perspektywy rozwoju technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych w Polsce. W Polsce istnieje dobre zaplecze badawcze w zakresie teleinformatyki. Do roku 2009 zidentyfikowano blisko 167 jednostek naukowych deklarujących prowadzenie badań tym obszarze, zatrudniających ponad 15 tysięcy pracowników. Przykładowo w ramach 6 Programu Ramowego ponad 60 jednostek naukowych i 25 przedsiębiorstw realizowało projekty badawcze ICT. W po-

czątkowym okresie funkcjonowania 7 Programu Ramowego (do 2009 r.) było ich 76. W Bazie Wiedzy o Nauce Polskiej figuruje prawie 10 000 osób posiadających co najmniej stopień doktora i deklarujących prowadzenie badań w zakresie ICT (w tym ponad 1500 profesorów).

Nakłady na prace B+R w Polsce w obszarze ICT są stosunkowo niewielkie. W 2007 r. nakłady rządowe (GBAORD) wynosiły 1,21 proc. wszystkich nakładów rządowych w UE, natomiast nakłady przedsiębiorstw (BERD) tylko 0,34 proc. Jednocześnie wartość dodana wytworzona przez polskie firmy wynosiła 2,3 proc. całej wartości dodanej ICT w Europie i ponad 4 proc. polskiego PKB (średnia w EU wynosiła 4,8 proc. PKB danego kraju). Powodem niedoszacowania w oficjalnych statystykach nakładów firm na B+R jest zapewne system prawno-finansowy w Polsce. W Polsce działa ok. 11 tysięcy firm informatycznych, z czego tylko ok. 80 firm nie należy do sektora MŚP, tzn. zatrudnia powyżej 250 osób. Jest to olbrzymi potencjał, którego współpraca z nauką i wsparcie w wybranych grupach technologii ICT może mieć zasadniczy wpływ na zwiększenie konkurencyjności polskiego przemysłu.

Analiza dotychczasowych wyników prac badawczo-rozwojowych prowadzonych w Polsce, kierunków rozwoju światowej techniki ICT i możliwości finansowych naszego kraju, przeprowadzona przez ekspertów uczestniczących w realizacji projektu InSight, daje podstawy do uznania w obszarze ICT za priorytetowe kierunki badawczo-rozwojowe, które mogą w niezbyt odległej przyszłości stać się polskimi specjalizacjami na rynku globalnym:

- sieci sensoryczne,
- medycyna spersonalizowana,
- bezpieczeństwo systemów komputerowych (w szczególności kryptografia).

Potencjalne główne obszary zastosowań **sieci sensorycznych** to m.in.:

- ochrona zdrowia – telemedycyna, sensory na potrzeby badań przesiewowych, domowe systemy monitorowania i diagnostyki;
- racjonalna gospodarka zasobami – konsumpcja i jakość wody, energia zarówno infrastruktura, jak i racjonalizacja zużycia (np. inteligentne budynki:)
- bezpieczeństwo – monitoring stanu środowiska, zarządzanie sytuacjami kryzysowymi.

Specyficzne zagadnienia związane z wykorzystaniem sieci sensorów w poszczególnych branżach przemysłowych w naturalny sposób będą rozwijane w miarę osiągnięcia postępu tych trzech najbardziej zaawansowanych w Polsce grupach zastosowań.

W zakresie systemów monitorowania środowiska jest realizowany projekt pt. „Czujniki i sensory do pomiarów czynników stanowiących zagrożenia w środo-



Rys. 5.14. Główne obszary zastosowań sieci sensorycznych

wisku – modelowanie i monitoring zagrożeń” w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, 2007–2013. Projektem kieruje Politechnika Wrocławska. W sensie naukowo-technicznym celem projektu jest, w oparciu o zintegrowane badania, opracowanie systemów do pomiarów i kontroli czynników stanowiących zagrożenia środowiska obejmujących wszystkie istotne elementy środowiska (powietrze, glebę, wodę) przy wykorzystaniu zarówno czujników opracowanych w ramach projektu jak i dostępnych komercyjnie.

Prace nad podobnymi systemami są prowadzone m.in. w Politechnice Śląskiej, Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki, Politechnice Gdańskiej Politechnice Warszawskiej. Firma Mostostal Warszawa uczestniczy w programach badawczych dla potrzeb monitoringu obiektów budowlanych, podobnie EC Electronics.

Wykorzystanie systemów informatycznych opartych o sieci sensoryczne dla racjonalnej gospodarki zasobami powinno być ważnym kierunkiem zastosowań przemysłowych w Polsce. Konieczność poważnych nowych inwestycji energetycznych i regulacje dotyczące ograniczenia emisji dwutlenku węgla będą wymuszały wprowadzanie mechanizmów oszczędzania energii i poszukiwania źródeł alternatywnych, a tym samym systemów typu *smart grid* umożliwiających integrację skomplikowanych systemów energetycznych.

Inteligentne systemy elektroenergetyczne typu *smart grid*, gdzie istnieje komunikacja między wszystkimi uczestnikami rynku energii, umożliwi znaczne obniżenie kosztów i zwiększenie efektywności oraz zintegrowanie rozproszonych źródeł energii, w tym także energii odnawialnej. Zagadnienie rozwijania koncepcji *smart grid* jest ważnym tematem badawczym, którym zajmuje się wiele instytucji m.in. Urząd Regulacji Energetyki czy Krajowa Izba Gospodarcza Elektroniki i Telekomunikacji (KIGEiT), uczelnie oraz firmy. W 2010 roku zostało powołane konsorcjum Smart Power Grids Polska, które stawia sobie za cel rozwój innowacyjnych techno-

logii dotyczących inteligentnych sieci elektroenergetycznych. Przedmiot działania konsorcjum obejmuje m.in: opracowanie koncepcji rozwoju inteligentnych sieci elektroenergetycznych przesyłowych i dystrybucyjnych oraz narzędzi wykorzystywanych dla jej optymalizacji, zabezpieczania i sterowania sieciami, praktyczną realizację i komercjalizację wyników badań i rozwiązań technologicznych.

Program budowy *Smart Grid* powinien przyczynić do rozwoju następujących sektorów gospodarki:

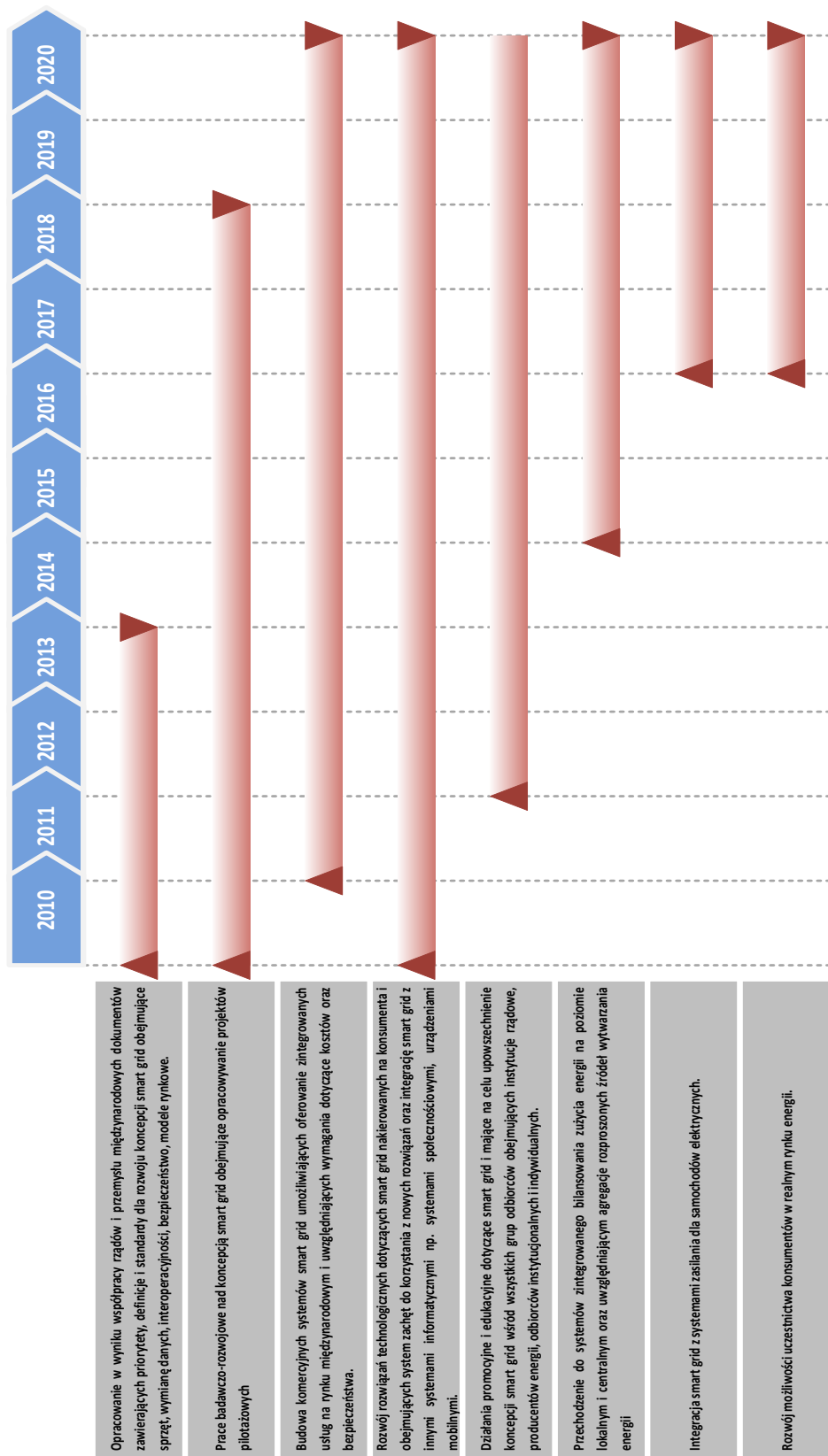
- segmentu usług i sprzętu IT,
- dostawców liczników (nowej generacji),
- dostawców „inteligentnego” sprzętu AGD,
- dostawców sprzętu oraz usług jego instalowania i utrzymania,
- segmentu usług i sprzętu e-mobility (baterii i elementów ładowania),
- dostawców usług energetycznych.

Należy podkreślić, że w Unii Europejskiej wprowadzenie technologii *smart grid* jest przedmiotem regulacji poprzez dyrektywę III Pakietu Liberalizacyjnego UE oraz Agendy Cyfrowej UE. Wprowadzenie tej technologii jest obowiązkiem państw członkowskich, które po przeprowadzeniu studium wykonalności, powinny wyposażać 80 proc. odbiorców końcowych w inteligentne liczniki do 2020 r.

Interesującym materiałem dotyczącym przyszłości w tym zakresie do roku 2050 jest opracowanie Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (*Technology Roadmap, Smart Grids, Global Status and Vision to 2050; International Energy Agency, draft February 3, 2010*).

Kolejną dziedziną stanowiącą możliwości rynkowe dla polskich dostawców ICT jest **medycyna personalizowana**. Standardowe podejścia do planowania terapii w medycynie oparte na faktach (*evidence-based medicine*), bazują na wynikach obszernych analiz statystycznych i parametrów uśrednionych dla całości testów. W zależności od rodzaju choroby, takie uśrednione decyzje terapeutyczne zapewniają około 40–60 proc. kwoty sukcesu wyrażającego się powodzeniem terapii, dodatkowo dla około 15 proc. pacjentów prowadzą one do niepożądanych efektów. Zasadnicze przełożenie akcentów wiąże się z wprowadzaniem podejścia zindywidualizowanego (personalizowanego), dostosowywanego z osobna do każdego pacjenta lub specyficznie dobieranego dla wystarczająco jednorodnej grupy pacjentów. Decyzje terapeutyczne są podejmowane na podstawie indywidualnych cech biologicznych pacjenta, w oparciu o całą dostępną wiedzę ogólną.

Według raportu: *PricewaterhouseCoopers, The new science of personalized medicine: Translating the promise into practice 2010* rynek medycyny personalizowanej w USA jest szacowany obecnie na \$232 mld, a jego roczny przyrost przewiduje się na 11 proc., co około roku 2015 doprowadziłoby do blisko podwojenia na poziomie



Rys. 5.15. Mapa drogowa smart grid w energetyce na lata 2011–2020

ponad \$450 mld. Bezpośrednio, personalizowana część opieki medycznej w tym układzie, obejmująca telemedycynę, informatykę medyczną oraz usługi zarządzania opieką zdrowotną (publiczne i komercyjne) jest oceniana na \$4–12 mld rocznie, z potencjałem 10-krotnego wzrostu do ponad \$100 mld w roku 2015.

O ile pierwsza dekada rozwoju personalizowanej medycyny była w dużej mierze związana z podejściami genomicznymi, o tyle trwająca obecnie era postgenomiczna sięga do kolejnych poziomów, wchodząc głęboko w ich warstwy funkcjonalne. Coraz bardziej centralna rola jest przypisywana wielodyscyplinarnym metodom nauk obliczeniowych (modelowania komputerowego), informatyki biomedycznej (obejmującej bioinformatykę, obrazowanie komputerowe, informatykę kliniczną i informatykę systemu opieki zdrowotnej), szczególnie w kontekście ich roli dla medycyny translacyjnej, łączącej i przenoszącej osiągnięcia badań podstawowych do praktyki terapeutycznej.

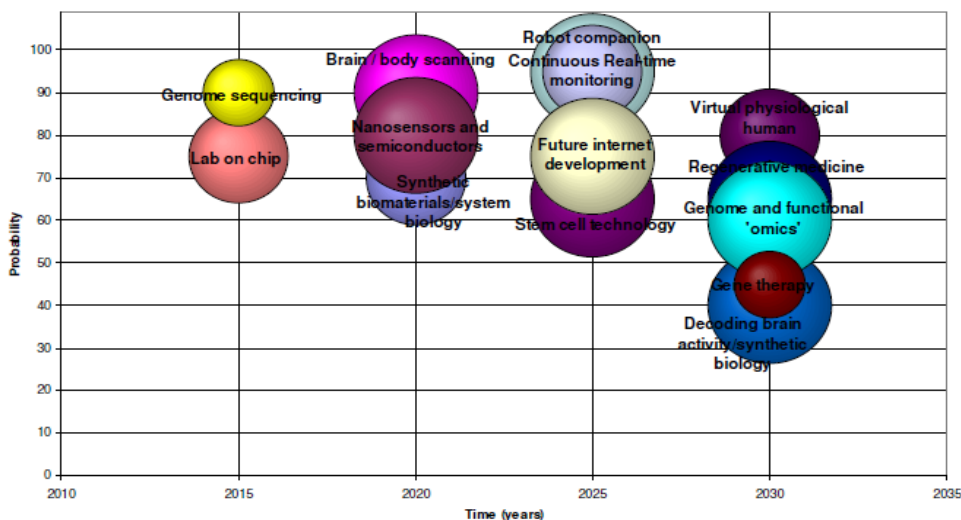
Przewiduje się, że głównymi obszarami rozwoju medycyny personalizowanej z punktu widzenia teleinformatycznego będą w horyzoncie czasowym projektu InSight 2030:

- diagnostyka molekularna,
- projektowanie leków, farmakogenomika,
- modelowanie komputerowe, obrazowanie,
- telemedycyna, archiwa cyfrowe.

Rozwój wiedzy o molekularnych i immunologicznych mechanizmach rozwoju chorób, komplementarnej wobec implikacji badań genomicznych, prowadzi do nowej jakości tak w zakresie zindywidualizowanej diagnostyki jak i terapii. Zarówno poziom molekularny jak immunologiczny badań bazują nie tylko na danych eksperymentalnych ale, w zasadniczym stopniu, na wynikach modelowania i symulacji komputerowych. Technologie informacyjne w obszarach przewidywania struktury chemicznej, udostępniania heterogenicznych baz danych, odkrywania wzorców (różnego rodzaju), modelowania systemowego i molekularnego stały się podstawowymi składowymi nowoczesnego procesu projektowania leków.

Rozwój technologii komputerowych przybliży czas, kiedy możliwe stanie się zindywidualizowane modelowanie procesów fizjologicznych na poziomie całych układów (a nie tylko pojedynczych narządów) w czasie zbliżonym do rzeczywistego z wykorzystaniem zaawansowanych technologii analizy obrazów. Problemy modelowania mają charakter interdyscyplinarny. Centra Komputerów Dużej Mocy – Uniwersytet Warszawski – ICM, Poznańskie Centrum Superkomputerowo Sieciowe (afiliowane przy Instytucie Chemii Bioorganicznej PAN), Cyfronet – AGH, TASK na Politechnice Gdańskiej oraz WCSS na Politechnice Wrocławskiej umożliwiają prowadzenie zaawansowanych prac badawczych w tym zakresie.

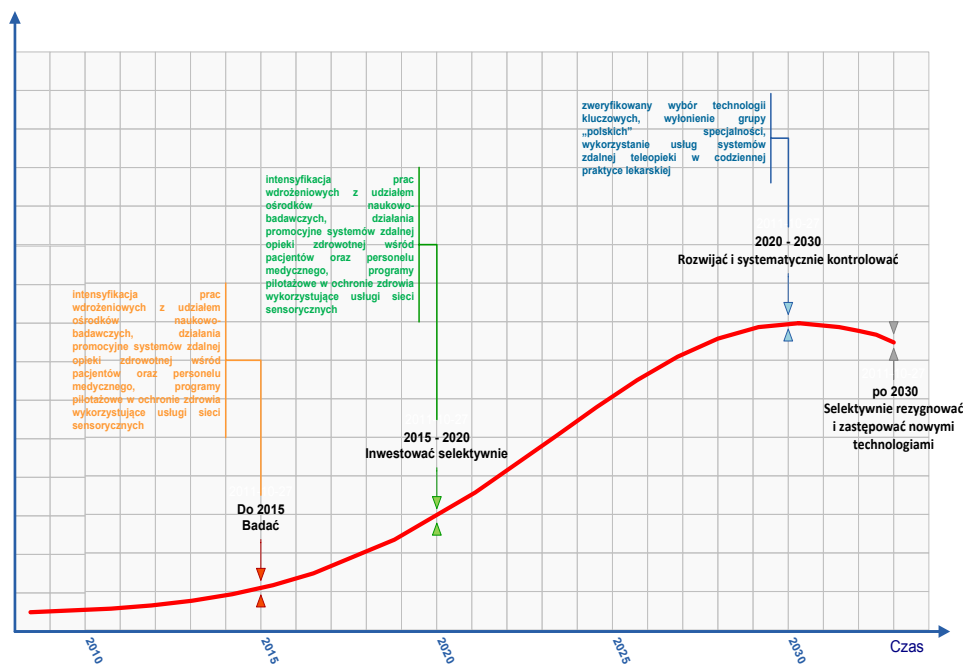
Oczywiście prace w tym zakresie winny być prowadzone przy ścisłej współpracy z jednostkami naukowymi z zakresu medycyny i opieki medycznej. Rysunek 5.16 prezentuje mapę drogową rozwoju medycyny personalizowanej i warunkujących go technologii do roku 2030 (*COST Foresight 2030 Benefitting from the Digital Revolution, Workshop on Life Enhancement, 30 June to 2 July 2009*).



Rys. 5.16. Mapa drogową rozwoju personalizowanej medycyny do roku 2030

Zdaniem ekspertów realizujących projekt InSight 2030, wykorzystanie sieci sensorycznych umożliwiających realizację usług telemedycznych, głównie w zakresie teleradiologii i zdalnego nadzoru nad pacjentami, oraz narzędzi teleinformatycznych wspomagających ochronę zdrowia jest obiecującą gałęzią polskiego sektora ICT i polskich ośrodków badawczo-rozwojowych medycyny. Wyrazem tego zainteresowania jest realizacja znacznej liczby projektów, głównie przez ośrodki naukowe. Przykładami zaawansowanych projektów w tym zakresie są:

- Kardionet – projekt realizowany przez ICM Uniwersytet Warszawski wraz z Warszawskim Uniwersytetem Medycznym wspólnie z norweską firmą Trollhetta AS,
- MONTE – projekt internetowej sieci telemedycznej, który został opracowany na Wydziale Fizyki Uniwersytetu im. A. Mickiewicza i jest wdrożony w ramach porozumienia z Centrum Diagnostyki i Analityki Medycznej Fundacji UAM,
- TCares – projekt realizowany przez pioniera telemedycyny w Polsce – Szpital Specjalistyczny im. Jana Pawła II w Krakowie i szereg innych.



Rys. 5.17. Krzywa życia technologii sieci sensorycznych w medycynie

Procesy cyfryzacji i wykorzystanie różnorodnego typu sieci (przewodowych i bezprzewodowych) we wszystkich gałęziach przemysłu powoduje coraz więcej zagrożeń takich jak utrata danych osobowych, utrata tajemnic technologicznych wreszcie możliwość zakłócania funkcjonowania urządzeń. Spowodowało to olbrzymi wzrost znaczenia **kryptografii** dla zastosowań cywilnych. Przykładowo energetyka jądrowa może być skrajnie czułym podmiotem dla ataków, ale cały konwencjonalny proces produkcji, transmisji, dystrybucji i sprzedaży detalicznej energii elektrycznej także wymaga ścisłej ochrony.

Pomimo znacznego rozwoju metod kryptograficznych po 2000 roku, kryptografia ma przed sobą okres burzliwego rozwoju przez następnych kilka dziesięcioleci. Ogromne ilości przekazywane w sieci danych, np. zbieranych z różnego typu sensorów, wymaga nowego podejścia do kryptografii. Szyfrowanie i deszyfrowanie często olbrzymich ilości danych w urządzeniach cyfrowych o różnych mocach przetwarzania (od super komputerów poprzez telefony komórkowe do kart chipowych i mikro/nano sensorów) powoduje, że nie można ujednoczyć stosowanych metod. Wprawdzie obecnie istnieje generalny podział typów zastosowań przedstawiony na rysunku 5.18, lecz nie uwzględnia on wszystkich aspektów prac badawczych i wdrożeniowych.

Oprócz badań klasycznych prowadzonych we współpracy informatyków i matematyków pojawiła się nowa dziedzina, w której dominujący udział mają fizycy

	Przetwarzanie	Zastosowania
Kryptografia klucza symetrycznego	Duża prędkość	Szyfrowanie dużych ilości danych
Kryptografia klucza asymetrycznego	Średnia prędkość	Podpis elektroniczny/ Dystrybucja kluczy
Kryptografia kwantowa	Niska prędkość	Ultra-bezpieczne dostarczanie danych

Rys. 5.18. Charakterystyka technologii kryptograficznych

– kryptografia kwantowa. Pierwsza praktyczna demonstracja tej przyszłościowej technologii dystrybucji kluczy (na odległość kilku centymetrów) została opisana w 1993. Odległość na jaką można obecnie przesyłać i odczytywać informacje w najlepszym razie wynosi około 200 km, natomiast szybkość transmisji zmniejsza się wraz ze wzrostem odległości. Pojawiają się nowe wyzwania związane z transmisją satelitarną. W ramach programów badawczych w Unii Europejskiej prowadzone są prace nad zastosowaniem transmisji w powietrzu na odległość 144 km pomiędzy wyspami Kanaryjskimi. Istnieje kilka sieci umożliwiających transmisje za pomocą światłowodów.

Perspektywa budowy komputera kwantowego o wystarczającej liczbie „qubitów” jest jeszcze nieznana (amerykańska armia przewidywała w 2004, że nastąpi to do 2024 roku; zdania ekspertów są podzielone). Jednakże perspektywa wykorzystania algorytmu Shore’a jest stosunkowo realna, a to powoduje, że wszystkie istniejące klasyczne technologie staną się bezużyteczne. Stanowi to dodatkowy bodziec dla prac rozwojowych prowadzonych przez specjalistów zajmujących się klasycznymi technologiami kryptograficznymi.

Zagadnienia kryptografii jako przedmiot badań mają w Polsce długą tradycję. W ujęciu klasycznym jest ona przedmiotem prac prowadzonych m.in. w WAT, AGH, Politechnice Poznańskiej, Warszawskiej i Zielonogórskiej, Instytucie Łączności. Większość prac praktycznych wykorzystywanych było przez instytucje wywiadu, wojsko i policję.

Największą liczbę firm zajmujących się tą problematyką skupia grupa kapitałowa COMP. Do firm reprezentujących wysoki poziom w tej dziedzinie należą

WASKO. Ostatnim sukcesem współpracy WASKO z Wojskową Akademią Techniczną jest szyfrator stosujący algorytmy wykorzystujące krzywe eliptyczne. ABW uruchomiła ostatnio system „niejawnej mobilnej łączności rządowej CATEL”, w którym mechanizmy zapewniające bezpieczeństwo (szyfrowanie) są niezależne od operatorów telefonii komórkowej. TechLab2000 opracował dla operatora Orange telefon umożliwiający szyfrowanie rozmów – Chaos Gamma. .

Jeśli chodzi o kryptografię kwantową, jest ona tematem badań wielu ośrodków w Polsce. Zagadnieniami dotyczącymi kryptografii kwantowej zajmują się: Uniwersytet Warszawski, Toruński, Gdański, Centrum Fizyki Teoretycznej PAN, Katedra Informatyki Wyższej Szkoły Biznesu w Dąbrowie Górniczej (we współpracy z czołową firmą szwajcarską) i wiele innych. Na Uniwersytecie Gdańskim powstało Krajowe Centrum Informatyki Kwantowej. Na Uniwersytecie Poznańskim istnieje Zakład Elektroniki Kwantowej. W ramach współpracy 18 ośrodków naukowych (fizyka) powstaje Narodowe Laboratorium Fotoniki i Technologii Kwantowych. Kontynuowane będą prace Narodowego Laboratorium Technologii Kwantowych nad wyposażeniem dla prowadzenia badań m.in. w zakresie kryptografii kwantowej.

Osiągnięcia polskich uczonych stanowią podstawę do praktycznych wdrożeń tej technologii. Jednocześnie trudno jest wskazać firmy, które byłyby w stanie natychmiast wdrażać wyniki badań. Tym niemniej przykłady typowych firm spin-off, które powstały w wielu krajach i istnieją na rynku kryptografii kwantowej pozwalają na optymizm.

Innym aspektem zapewnienie bezpieczeństwa (szeroko rozumianego) jest konieczność identyfikacji osób oraz ich zachowań. Ważnymi z tego punktu widzenia technologiami są **technologie biometryczne**. Urządzenia dla szybkiego określania DNA już nie są fikcją naukową – znajdują się w fazie testowania. Trwają prace nad ulepszeniem metod analizy głosu i DNA, ale też i innych elementów takich jak skanowanie naczyń krwionośnych, pulsu, termografii twarzy, analizy zapachów, charakterystyki skóry a także paznokci, rozpoznawania kształtu uszu i analizy chodu. Zagadnienia dotyczące wielkich zasobów danych, które w zastosowaniach biometrycznych muszą być dostępne często w czasie niemal rzeczywistym, stanowią ciągle wyzwanie dla naukowców i inżynierów.

Zagadnieniami dotyczącymi identyfikacji na podstawie linii papilarnych, geometrii dłoni i układów naczyń krwionośnych zajmuje się w Polsce Instytut Maszyn Matematycznych. Produkowane są czujniki biometryczne, także w połączeniu z odczytem znaczników RFID i kart zbliżeniowych. Również na Politechnice Poznańskiej prowadzone są prace związane z analizą geometrii dłoni. Biometrią tęczówki oraz innymi zagadnieniami związanymi z biometrią zajmuje się NASK we współpracy z Politechniką Warszawską. Zespół specjalistów w Politechnice Wrocławskiej zaj-

muje się biometrycznymi systemami rozpoznawania osób na podstawie obrazów termowizyjnych twarzy. Rozpoznawanie twarzy i głosu jest tematyką prowadzoną na Politechnice Gdańskiej. Badania nad rozpoznawaniem twarzy poruszających się osób prowadzi Politechnika Śląska wspólnie z firmą WASKO i we współpracy MSWiA. Polska Wytwórnia Papierów Wartościowych S.A. prowadzi prace nad możliwościami wprowadzenia paszportów biometrycznych. Firma Optel z Wrocławia uczestniczy w projektach badawczych m.in. w ramach 7 Programu ramowego i produkuje czytniki biometryczne.

Jak wynika z tego przeglądu prowadzonych prac nad biometrycznymi metodami identyfikacji i ochrony danych, tematyka tych prac – podobnie jak w innych dziedzinach nowych technologii – jest bardzo szeroka i rozproszona. Brak koncentracji problematyki badawczej, przy stosunkowo niskich środkach finansowych, stanowi istotne zagrożenie dla ich konkurencyjności.

Pomimo dużego zapóźnienia w stosunku do krajów rozwiniętych istnieje możliwość zaistnienia na tym rynku polskich przedsiębiorstw przy wykorzystaniu osiągnięć naukowców. Wymaga to jednak większego skoordynowania badań prowadzonych w Polsce w tym zakresie.

5.4.4. Obszary konkurencji. W opinii ekspertów uczestniczących w Projekcie InSight 2030 jedynie w niewielu technologiach ICT mamy szanse na sukces w skali globalnej. Obszar oprogramowania i tworzenia aplikacji jest jedyną, ale bynajmniej nie marginalną dziedziną, w której polski przemysł ma szanse zaistnieć. Do najważniejszych przesłanek przemawiających za tą tezę należą stosunkowo niskie wymagania dotyczące kosztów prowadzenia tego rodzaju działalności. Szansą dla rozwoju przemysłu ICT są obszary wymagające współpracy naukowców z różnych dyscyplin i indywidualnego podejścia do problemów wdrożeniowych. Biorąc pod uwagę czynniki omówione wcześniej, za obszary konkurencyjne – w których polski sektor ICT może odnieść największy sukces na rynkach zagranicznych – eksperci realizujący projekt InSight 2030 uznali:

- **Inteligentne sieci sensorów**
- **Bezpieczeństwo informacji** (kryptografia i wybrane systemy biometryczne)
- **Zastosowania w medycynie personalizowanej** (modelowanie i telemedycyna).

Wykorzystując scenariusze prezentowane w Foresight'cie Narodowym Polska 2020 pominięto dwa skrajne jako nierealistyczne i przeanalizowano trzy: pesymistyczny odpowiednik scenariusza „słabnącego rozwoju”, realistyczny odpowiednik „trudnej modernizacji” i optymistyczny – „twardych dostosowań” zgodnie z nazewnictwem stosowanym w tym opracowaniu.

W zakresie sieci sensorów w każdym ze scenariuszy nastąpi rozwój technologii związanych z sieciami typu „smart grid” dla energetyki. W scenariuszach obójnym i optymistycznym polskie firmy mogą stać się dość interesującymi graczami na rynkach międzynarodowych. Koncepcja *smart grid* głównie kojarzona z sieciami energetycznymi może być również rozwijana dla całego szeregu innych zastosowań jak np. dla dystrybucji zasobów (energia cieplna, gaz, woda), systemów inteligentnych tynków, systemów bezpieczeństwa, systemów inteligentnych miast uwzględniające transport, zanieczyszczenie środowiska, bezpieczeństwo mieszkańców, itd.

Również telemedycyna będzie rozwijała się w każdym z rozważanych scenariuszy. W przypadku scenariusza optymistycznego polskie firmy mają duże szanse zdobycia części rynku medycyny spersonalizowanej. Obecnie technologie teleinformatyczne ukierunkowane na zdalne wspomaganie diagnostyki, monitorowania, terapii i rehabilitacji wykorzystujące usługi sieci sensorycznych są w początkowym stadium rozwoju, jednakże o bardzo dużym potencjale wzrostu, gdyż wspomniane technologie dotyczą rozwiązań unikatowych, niszowych. Z punktu widzenia gospodarki Polskiej opartej w dużej mierze na małych i średnich przedsiębiorstwach, realizacja takich projektów jest niepodważalną zaletą.

Prace związane z kryptografią i biometrią mogą przynieść wymierne efekty dla przemysłu w skali krajowej. Taka sytuacja może wystąpić w skali międzynarodowej jedynie w scenariuszu optymistycznym, kiedy dynamiczny rozwój gospodarki wymusi zapotrzebowanie na takie produkty.

5.4.5. Wnioski i rekomendacje. Wspomniane wczesne stadium rozwoju technologii informacyjnych i telekomunikacyjnych w rozpatrywanych zastosowaniach stanowi szansę na zdobycie konkurencyjnej pozycji polskiego przemysłu, ale wymaga wzrostu nakładów na interdyscyplinarne badania stosowane z ukierunkowaniem na prace mające szanse na realny sukces rynkowy. Realizacja prac badawczo-rozwojowych w jednostkach naukowych powinna być zwolniona ze stosowania ustawy o zamówieniach publicznych. Należy wprowadzić system zachęt podatkowych dla firm prowadzących prace B+R w dziedzinach uznanych za konkurencyjne.

Warunkiem efektywnego rozwoju personalizowanej medycyny jest wdrożenie infrastruktur informatycznych i realizowanych przez nie procedur. W tym celu niezbędne jest wprowadzenie programów operacyjnych zarówno po stronie biomedycznej jak informatycznej, a ponadto przyjęcie odpowiednich rozwiązań legislacyjnych oraz nowelizacja koncepcji całego systemu finansowania usług medycznych.

Powodzenie w badaniach i wdrożeniach w zakresie kryptografii i biometrii wymaga kontynuacji działań wspierających te dziedziny i firmy. W przypadku

osiągnięcia zamierzonych celów badawczych istnieje możliwość osiągnięcia spektakularnych sukcesów np. w zakresie kryptografii kwantowej pod warunkiem odpowiedniego finansowania.

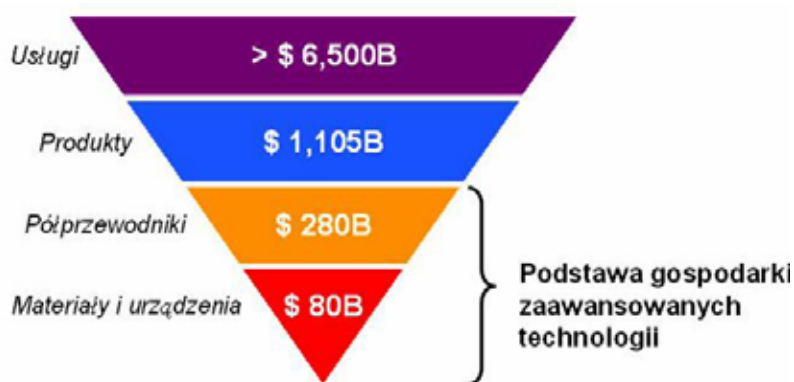
5.5. Mikroelektronika

5.5.1. Mikroelektronika – kluczowa technologia rozwoju nowoczesnego przemysłu. Z obecnej perspektywy bez wątpienia możemy stwierdzić, że druga połowa ubiegłego stulecia jak i początek wieku XXI założyły na miano wieku mikro- a obecnie nanoelektroniki. Produkcja samego tylko światowego przemysłu półprzewodnikowego startując od zera w połowie wieku dwudziestego osiągnęła w roku 2010 poziom 300 mld dolarów. Liczba ta w żadnym stopniu nie oddaje realnego znaczenia mikro/nano-elektroniki. Jak wykazują bowiem badania i obserwacje gospodarek krajów wysoko rozwiniętych, istnieje bezpośrednia korelacja pomiędzy innowacyjnością technologiczną i wzrostem dochodu narodowego.

Mikro/nanoelektronika zatem, będąc dziedziną gospodarki o najwyższym poziomie innowacyjności, równocześnie warunkującą wzrost innowacyjności innych obszarów gospodarki, wpływa w sposób istotny na poziom dochodu narodowego a w konsekwencji – dobrobytu społeczeństw. Wyroby mikroelektroniczne są dziś obecne wszędzie – od dzieciennych zabawek poprzez wszelkiego rodzaju sprzęty domowe, pojazdy, maszyny i urządzenia produkcyjne, urządzenia dla diagnostyki medycznej, implanty medyczne, systemy automatyzacji i sterowania aż do obejmujących cały świat systemów telekomunikacji, przesyłania i przetwarzania informacji czy też globalne systemy pozycjonowania (GPS). Globalna wartość rynku systemów elektronicznych i usług opartych o mikroelektronikę przekracza niewyobrażalną kwotę 6 500 000 000 000 euro. Ocenia się, że mikroelektronika przyczynia się do wytworzenia więcej niż 10 proc. łącznego światowego, dochodu narodowego (GDP). Sektor elektroniczny oraz sektor związanych z nim usług jest najszybciej wzrastającym przemysłem wytwórczym i przewiduje się, że tendencja ta utrzyma się co najmniej przez całą następną dekadę.

Mikro- a następnie nanoelektronika wykorzystując najnowsze zdobycze nauki i głęboko penetrując wszystkie właściwie obszary działalności człowieka, stała się podstawą nie tylko współczesnej gospodarki ale również kultury i nauki. Znaczenie mikroelektroniki dla innowacyjności i konkurencyjności gospodarki jest fundamentalne. Mikroelektronice zawdzięczamy między innymi:

- wyposażanie wyrobów elektronicznych w coraz bogatszy zespół funkcji użytkowych przy równoczesnej poprawie ich niezawodności i obniżce kosztu (np. ewolucja od prostego telefonu bezprzewodowego do telefonu komórkowego a następnie do smartfonu),
- doskonalenie wyrobów w tradycyjnych dziedzinach techniki (np. współczesne silniki samochodowe, które nie mogłyby funkcjonować bez elektronicznych systemów sterowania),
- coraz doskonalsze przyrządy diagnostyki medycznej umożliwiające wcześniejsze wykrywania i diagnozowanie chorób a także systemy podtrzymujące i ratujące zdrowie i życie ludzkie (np. stymulatory serca, protezy słuchu),
- ewolucję metod produkcji i urządzeń produkcyjnych we wszystkich dziedzinach gospodarki, w kierunku podnoszenia wydajności przy równoczesnej poprawie jakości (np. roboty przemysłowe, systemy sterowania procesami technologicznymi, nowoczesne technologie rolnicze – wszystko to nie byłoby możliwe do praktycznej realizacji bez mikroelektroniki),
- kreowanie nowych obszarów gospodarki, usług i nowych modeli biznesowych bezpośrednio wpływających na rynek dóbr kultury (np. ewolucja sposobu rozpowszechniania muzyki od radia i płyty winylowej przez płytę CD do „ekosystemu Apple” czyli urządzeń iPod, iPhone oraz iPad wraz ze sklepami internetowymi iTunes i AppStore), upowszechnianie książek elektronicznych).



Ocena Rynku na rok 2007

Źródło: Future Horizons, Luty 2007

Rys. 5.19. Udział przemysłu związanego z nanoelektroniką w gospodarce światowej

Rola mikroelektroniki polega więc nie na wartości samej produkcji mikroelektronicznej jako takiej, lecz na tym, że mikroelektronika jest kluczową technologią umożliwiającą rozwój, innowacyjność i konkurencyjność praktycznie całej gospodarki. Przemysł mikro/nano-elektroniczny jako najbardziej innowacyjny zatrudnia

wysoko kwalifikowaną siłę roboczą, sprzyja innowacyjności w niemal wszystkich obszarach gospodarki wpływając na nasz poziom życia, jego styl, a nawet na obszar kultury i sztuki.

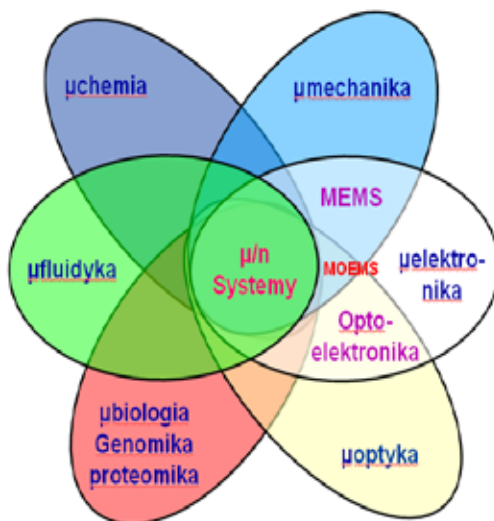
Powyższe względy spowodowały zaliczenie mikroelektroniki i nanoelektroniki w roku 2010 przez Komisję Europejską do pięciu kluczowych technologii, których rozwój będzie decydował o przyszłości europejskiego przemysłu na rynku globalnym. W najbliższej dekadzie będzie ona stanowić jeden z priorytetowych obszarów prac badawczo-rozwojowych w Unii Europejskiej.

W świadomości ogółu społeczeństwa mikroelektronika to jedynie układy scalone, zwłaszcza mikroprocesory i pamięci półprzewodnikowe, tymczasem gwałtowny rozwój technologii mikroelektronicznych, oprócz umożliwienia imponującego rozwoju niesłychanie złożonych układów scalonych, zaowocował na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat rozwojem mikrosystemów, wykorzystujących elementy tych technologii oraz nowe, specyficzne dla mikrosystemów procesy technologiczne. Mikrosystemy są to mikro-przyrządy łączące funkcje czujników i detektorów, z mechanizmami wykonawczymi oraz elektronicznymi układami obróbki i przesyłu informacji. Uzupełnione o elementy nano-strukturalne (nano-materiały, nano-ostrza i in.) i elementy umożliwiające aplikacje bio-medyczne, przyrządy te tworzą pomost pomiędzy naszym makro-światem a światem molekuł i atomów, światem nano-.

Pierwsze mikrosystemy, oparte o wykorzystanie krzemu jako podstawowego materiału konstrukcyjnego łączyły funkcje elektryczne i mechaniczne. Określano je mianem MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*). Współcześnie, wykorzystując obok krzemu również ceramikę, szkło, polimery i szereg innych zaawansowanych materiałów opracowuje się mikrosystemy realizujące najróżniejsze funkcje, włączając w to funkcje optyczne (MOEMS – *Micro-Opto-Electro-Mechanical Systems*). Dalszym, obserwowanym już obecnie etapem rozwoju, jest integracja rozwiązań mikro-nanosystemowych z elementami, strukturami czy też procesami biologicznymi, co określane jest w dokumentach Komisji Europejskiej jako *micro-nano-bio-convergence* lub Bio-MEMS.

Porównując mikrosystemy z układami scalonymi trzeba zauważyć, iż podczas gdy technologia układów scalonych jest w znacznym stopniu zuniiformizowana, jako że jest to niemal wyłącznie krzemowa technologia CMOS oparta na osiągnięciach elektroniki i fizyki ciała stałego, technologia mikrosystemów jest technologią multi- i interdyscyplinarną (rys. 5.20). Istotną cechą mikrosystemów jest również to, iż ze względu na ogromną dywersyfikację nie poddają się one łatwo standaryzacji. Jak to będzie pokazane dalej, jest to cecha o istotnym znaczeniu z punktu widzenia organizacji procesu produkcyjnego i w konsekwencji, również opracowywania modelu biznesowego.

Zintegrowane z rozbudowanymi układami elektronicznymi mikrosystemy określa się mianem Smart Microsystems lub Smart-MEMS. Cechą wspólną mikrosys-



Rys. 5.20. Technologia mikro/nanosystemów operuje na styku różnych dziedzin wiedzy

temów jest ich miniaturyzacja oraz podobnie jak w przypadku układów scalonych – wsadowy system wytwarzania. Obie te właściwości przyczyniają się do obniżenia ceny przyrządu, podniesienia jego niezawodności i obniżenia zużycia energii. Szczególną cechą mikrosystemów jest szeroki zakres funkcjonalności, a w konsekwencji również i obszarów aplikacyjnych. Trzeba podkreślić, iż do sfery mikrosystemów zaliczyć można również złożone mikro-przyrządy, w których skład wchodzi elementy optoelektroniczne lub fotoniczne (nanofotoniczne). Co ważne z punktu widzenia możliwości rozwoju takich krajów jak Polska, poziom dojrzałości technologii mikrosystemów jest znacznie mniejszy niż układów scalonych. Mówi się, że mikrosystemy są w takiej fazie rozwoju jak układy scalone w latach 80-tych. Są one zatem w przededniu wielkiego rozwoju i jest to właściwy moment, aby z całą energią włączyć się do konkurencji na polu innowacyjnych rozwiązań dla gospodarki.

Podobnie jak układy scalone, mikrosystemy znajdują coraz powszechniejsze zastosowanie, począwszy od ochrony środowiska, poprzez technikę samochodową, lotniczą, przyrządy gospodarstwa domowego, technologię żywienia i rolnictwo aż po biologię i medycynę. Szczególnie istotne obszary aplikacyjne to diagnostyka techniczna, włączając w to monitorowanie stanu struktur inżynierskich, np. budynków, hal, mostów i in. (SHM – *Structural Health Monitoring*), monitorowanie środowiska oraz zastosowania medyczne (np. implanty lub przyrządy do diagnostyki medycznej). Przenikanie do wszystkich właściwie sfer życia jest w przypadku mikrosystemów nawet bardziej znaczące niż w przypadku układów scalonych, gdyż mikrosystemy stanowią pomost (interfejs) łączący nasz nie-elektroniczny świat

sygnałów fizycznych ze światem bitów i układów scalonych. Cecha ta sprawia, iż właśnie technologia mikrosystemów (i czujników) stanowi podstawę koncepcji Ambient Intelligence, będącej jednym z kluczowych kierunków badawczych podejmowanych przez Komisję Europejską w ramach Programów Ramowych. Ambient Intelligence oznacza nasycenie otoczenia przez złożone systemy informatyczne wspomagające człowieka w jego pracy i w codziennym życiu. Krokiem w tym kierunku jest m.in. opracowywany obecnie przez konsorcjum europejskie projekt „Guardian Angels” należący do prestiżowej kategorii projektów Flagowych (FET-Flagship) Programu Ramowego Unii Europejskiej. Zgodnie z dokumentami KE przewidywane jest finansowanie wybranych programów FET Flagship na poziomie 1 mld euro w ciągu 10 lat. Będą to zatem największe projekty badawcze w historii Europy, co świadczy o wadze przykładanej do tych projektów i tematyki którą podejmują.

Rzeczony rozwój technologii mikroelektronicznych, a w tym technologii mikrosystemów, warunkuje także rozwój tzw. systemów wbudowanych (ang. *embedded systems*). Systemy wbudowane są to mniej lub bardziej zminiaturyzowane systemy oparte o mikroelektronikę, przeznaczone do wyrobów z różnych dziedzin techniki, w których istotnym elementem, w dużym stopniu decydującym o wartości dodanej jest specjalistyczne oprogramowanie opracowane wyłącznie dla tego właśnie systemu.

Podsumowując: szeroko pojęta mikro/nano-elektronika obejmująca również technologię mikrosystemów służy nie tylko rozwojowi technik informacyjnych opartych na urządzeniach i systemach elektronicznych, ale przenika i stymuluje wszystkie dziedziny techniki, gospodarki i szerzej, życia społecznego. Znaczenie mikroelektroniki dobrze charakteryzuje cytat z Białej Księgi organizacji europejskich CATRENE i ENIAC: *„Dostęp do technologii mikro/nanoelektronicznych jest krytycznie ważny dla opracowywania i dostarczania innowacyjnych rozwiązań, dla zabezpieczenia technologicznej niezależności i konkurencyjności całego przemysłu europejskiego. Znaczenie ekonomiczne mikroelektroniki wynika z jej umożliwiającej („enabling”) natury i również z jej bezpośredniego wkładu ekonomicznego. W kolejnej, oczekiwanej już fali aplikacji ukierunkowanych na zaspokojenie potrzeb społecznych udział przyrządów mikroelektronicznych w systemach elektronicznych może wzrosnąć do 25–30 proc. ich wartości”*.

5.5.2. Kierunki rozwoju mikroelektroniki na technice światowej. Analiza programów rozwojowych przodujących pod tym względem krajów świata pozwala stwierdzić, że działalność badawcza i wdrożeniowa w zakresie mikroelektroniki w dalszym ciągu jest skoncentrowana na rozwoju technologii układów scalonych i mikrosystemów.

Obecnie w produkcji seryjnej standardowych **układów scalonych** najbardziej zaawansowana jest technologia CMOS, w której najmniejszy wymiar wynosi 28 nanometrów. Kolejna spodziewana wartość minimalnego wymiaru w następnej generacji technologii CMOS to 22 nm. Potem w dalszych generacjach wymiar ten będzie prawdopodobnie malał aż do 8 nm. Osiągnięcie tej wartości spodziewane jest w latach 2019–2021. Jeszcze mniejsze struktury tranzystorowe być może dałyby się wyprodukować, ale z elementarnych praw fizyki wynika, że nie działałyby już one tak, jak tranzystory stosowane dzisiaj.

Powszechnie uważa się, że dalsze zmniejszanie wymiarów tranzystorów przy pozostawieniu ich dotychczasowej postaci raczej nie ma sensu. Dalszemu zmniejszaniu wymiarów tranzystorów musi towarzyszyć taka zmiana ich struktury fizycznej, która doprowadzi do zmniejszenia wydzielanej mocy bez pogarszania ich podstawowego (w układach cyfrowych) parametru, jakim jest szybkość przełączania. Zaproponowano kilka rozwiązań idących w tym kierunku. Dwa z nich, które są – jak się sądzi – najbliższe wdrożeniu do praktyki przemysłowej, to technologia FDSOI (polegająca na wytwarzaniu tranzystorów o tradycyjnej strukturze, ale nie bezpośrednio w płytce krzemowej, lecz w bardzo cienkiej warstwie krzemu na powierzchni warstwy dielektrycznej) oraz technologia FinFET (w której tranzystory mają inną od tradycyjnej, trójwymiarową strukturę). Intel ogłosił, że w roku 2012 wprowadzi do produkcji pierwsze układy wykorzystujące tranzystory FinFET. Nie wiadomo i czy bariera wydzielanej mocy nie stanie na drodze do dalszego zmniejszania wymiarów i czy dążenie do osiągnięcia granicy 8 nm będzie miało sens. Już dziś zwiększanie wydajności systemów przetwarzania informacji odbywa się przez ulepszanie architektur tych systemów (procesory wielordzeniowe, przetwarzanie równoległe itp.), a nie przez zwiększanie szybkości działania układów scalonych (z czym wiązałyby się wzrost wydzielanej mocy).

Nadzieje na dalszy postęp, na opracowanie technologii określanej mianem „*Beyond CMOS*” (technologia „po-CMOS-owa”) wiąże się z innymi materiałami i z elementami działającymi na odmiennych zasadach, niż tranzystory stosowane dzisiaj. Materiałem od niedawna uważanym za obiecujący jest grafen, aczkolwiek ze względu na niezbyt korzystne właściwości elektryczne (brak tzw. przerwy zabronionej) jego przydatność do wytwarzania elementów przełączających (analogów tranzystorów) w układach scalonych jest problematyczna. Nawet jeżeli udałoby się rozwiązać związane z tymi właściwościami problemy, od obecnych eksperymentów z grafenem do dojrzałej przemysłowej technologii musi upłynąć, jak się dziś sądzi, co najmniej kilkanaście lat – o ile w ogóle spełnią się pokładane w tym materiale nadzieje.

Za technologię przyszłości uważa się także tzw. spintronikę. Jest to technologia wykorzystująca subtelne właściwości magnetyczne niektórych materiałów. Bada-

nia nad nią toczą się od wielu lat i już obecnie wytwarzane są i dostępne handlowo układy wykorzystujące te zjawiska. Bada się również możliwości budowy układów w oparciu o procesy przebiegające w cząsteczkach związków chemicznych, tzw. elektronikę molekularną. Wszystkie te próby zastąpienia elektroniki krzemowej CMOS nie rokują jednak szybkiego sukcesu. Głównym problemem nie jest tu zresztą problem fizycznego stworzenia przyrządu, którego parametry byłyby konkurencyjne w stosunku do tych opartych na krzemowej technologii CMOS lecz raczej to, iż na przestrzeni ostatniego półwiecza krzemowa technologia CMOS wypracowała taki ogrom wiedzy, standardów technologicznych, architektury przyrządów, narzędzi projektowania, które byłoby niesłychanie trudno osiągnąć technologii konkurencyjnej. Z tego też względu nawet w przypadku osiągnięcia sukcesu w pracach nad nowymi przyrządami opartymi o nowe materiały i inne niż w technologii CMOS podstawy fizyczne nie należy się spodziewać podjęcia produkcji układów w pełni opartych o tę technologię. Oczekiwać należy raczej integracji układów wykorzystujących krzemową technologię CMOS z wbudowanymi w nie blokami np. grafenowymi, spintronicznymi lub innymi.

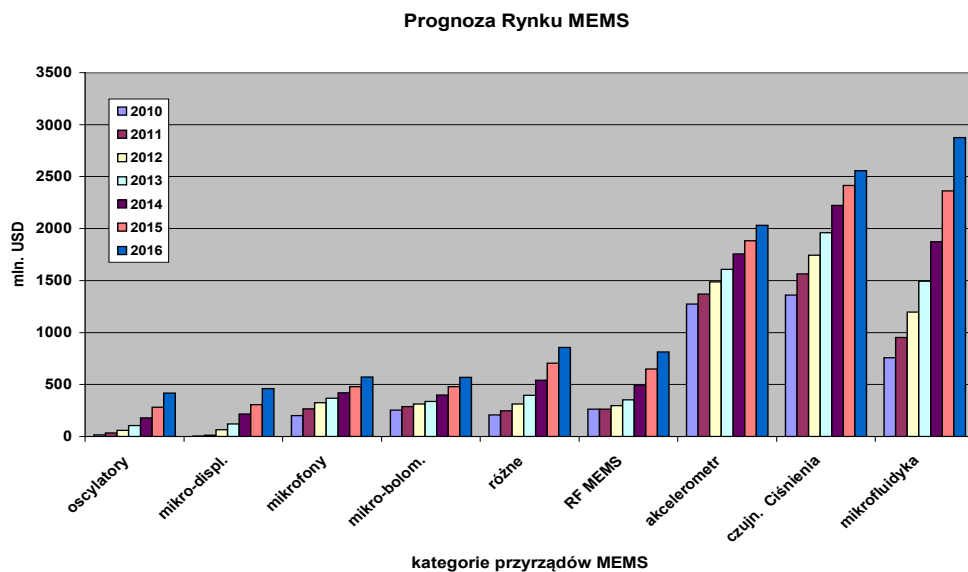
Niemniej istotne, lub nawet ważniejsze ze względu na możliwość potencjalnego rozwijania produkcji w Polsce, są dane dotyczące tendencji rozwojowych w obszarze **technologii mikrosystemów**. Obszerny obraz tendencji w tej dziedzinie przedstawia opracowanie francuskiej firmy analitycznej YOLE zatytułowane „*Status of the MEMS Industry 2011*”. Przedstawione poniżej prognozy opierać się będą w na eksperckiej wiedzy Prof. Piotra Grabca, jednego z głównych ekspertów współpracujących przy realizacji Projektu InSight 2030, wynikającej z jego uczestnictwa w pracach Europejskiej Platformy Nanoelektronicznej ENIAC.

W obszarze technologii mikrosystemowych obserwuje się trzy podstawowe tendencje:

- Dojrzewanie istniejących technologii i wytwarzanych w tych technologiach przyrządów. Proces ten połączony jest z obniżaniem kosztu produkcji oraz z doskonaleniem parametrów technicznych wytwarzanych przyrządów.
- Wprowadzanie całkiem nowych przyrządów i technologii mikrosystemowych opartych o nowe funkcje, nowe koncepcje aplikacyjne i nowe materiały. Przykładem takiej nowej grupy przyrządów, które są wciąż w fazie opracowania, mogą być urządzenia do zbierania energii z otoczenia (*energy harvesting*) pozwalające na zasilanie urządzeń elektronicznych bez konieczności podłączenia zasilania.
- Postępująca integracja mikrosystemów, łączenie różnych funkcji mikrosystemowych w jednym przyrządzie (na chipie lub też w jednej obudowie – *system-in-package*). Elementem tego procesu jest integracja trójwymiarowa (3D), w której poszczególne przyrządy (mikrosystemy, układy scalone różnego rodzaju, anteny, mikro-baterie itp.) umieszczone są jedno na drugim.

Pierwsza z wymienionych tendencji dotyczy przede wszystkim producentów średnich i dużych, najczęściej realizujących produkcję na własnej linii produkcyjnej („In House”). Tendencja wymieniona w punkcie drugim w znacznym stopniu dotyczy niewielkich, wysoce innowacyjnych firm, najczęściej blisko powiązanych z ośrodkami badawczymi. Trzeci z wymienionych kierunków jest przedmiotem zainteresowania zarówno dużych jak i mniejszych producentów z tym, że firmy mniejsze skupiają się na integracji różnych przyrządów wykorzystując różne odmiany koncepcji „System-in-Package” (integracja w jednej obudowie) podczas gdy wielkie firmy podejmują prace nad integracją na poziomie procesów płytkowych (na płytkach krzemowych) co określa się mianem „Wafer level integration” (Integracja na poziomie płytki), jako bardziej przydatną dla produkcji masowej. Szczególnie innowacyjną, niesłychanie złożoną techniką integracji jest integracja trójwymiarowa (3D). Badania nad tą technologią prowadzą zarówno duże firmy mikrosystemowe jak i typowi producenci układów scalonych – zmierzający do budowania złożonych, wielofunkcyjnych systemów, w skład których wchodzi produkowane przez nich układy.

Według prognozy YOLE, rynek mikrosystemów, który w roku 2010 wart był 8,6 mld USD, będzie na przestrzeni lat 2010 – 2016 wzrastał średnio o 14 proc. rocznie, osiągając w roku 2016 poziom 19,5 mld USD. Ponieważ na wspólne miano „mikrosystemy” składają się bardzo różne kategorie przyrządów o różnej obecnie wielkości produkcji oraz różnej jej dynamice, warto przeanalizować prognozę dla różnych mikrosystemów (rys. 5.21).



Rys. 5.21. Prognoza rozwoju rynku przyrządów MEMS

Na wykresie przedstawiono prognozę wzrostu produkcji dla (kolejno) przyrządów rezonansowych (oscylatorów), mikro-wyświetlaczy (microdisplay), mikrofonów, mikro-bolometrów służących jako detektory promieniowania podczerwonego, mikrosystemów używanych w urządzeniach telekomunikacyjnych (RF MEMS), czujników przyspieszenia (akcelerometry), czujników ciśnienia oraz systemów mikrofluidycznych (tu – wyłącznie dla medycznych aplikacji diagnostycznych). Kategoria „różne” obejmuje mikro-belki, mikro-ostrza, przepływomierze i innych. Trzeba dodać, iż zestawienie to nie pokrywa wszystkich możliwych do pomyślenia kategorii mikrosystemów.

We wszystkich kategoriach przewidywany jest szybki wzrost, od 2 do 10x na przestrzeni 6-ciu lat. Jest to znacznie więcej niż przewiduje się w przypadku układów scalonych.

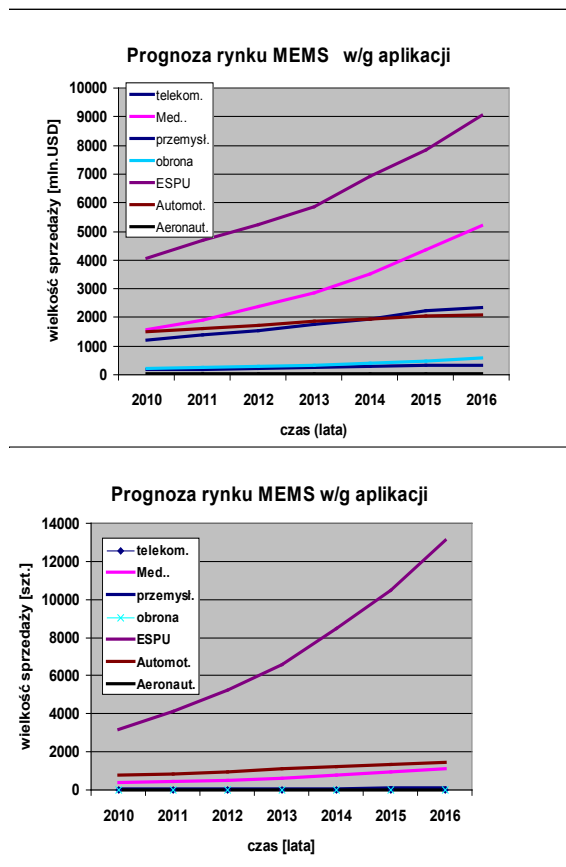
Interesujące wnioski można wyciągnąć porównując (tym razem w podziale ze względu na aplikacje) przewidywaną wielkość rynku według wielkości sprzedaży wyrażonej w dolarach oraz wyrażonej w ilości sztuk wyprodukowanych wyrobów (rys. 5.22).

Porównanie współczynników wzrostu dla poszczególnych aplikacji w układzie cenowym i ilościowym wskazuje, że wprawdzie we wszystkich kategoriach aplikacji przewidywany jest szybki wzrost, jednakże dla telekomunikacji i dla zastosowań w sferze obronnej wzrost ten będzie połączony z jednoczesną silną tendencją obniżki ceny. Wyraźnej obniżki cen należy spodziewać się również dla aplikacji konsumencjki (Sprzęt powszechnego użytku – ESPU) natomiast w pozostałych kategoriach spadek cen będzie niewielki. Dla aplikacji medycznych spodziewany jest nawet pewien wzrost średniej ceny przy jednoczesnym silnym (3-krotny) wzroście sprzedaży.

Kierując się wynikami przeprowadzonych analiz, eksperci uczestniczący w realizacji Projektu InSight 2030 za najbardziej obiecujące, przyszłościowe kierunki rozwoju technologii mikroelektronicznych i mikrosystemowych uznali:

- Układy scalone analogowe i analogowo/cyfrowe o bardzo małym poborze mocy,
- Mikrosystemy inteligentne (*smart systems*) dla zastosowań bio-medycznych (diagnostyka, opieka, monitorowanie), w tym również systemy *lab-on-a-chip*.
- Mikrosystemy inteligentne dla diagnostyki technicznej (monitorowanie struktur inżynierskich) i pomiarowe, głównie oparte o sensory wielkości fizycznych, zwłaszcza mechanicznych.
- Inteligentne sensory i sieci sensorowe dla monitorowania środowiska
- Integracja sensorów i mikrosystemów oraz układów CMOS (różne techniki zależnie od skali produkcji)
- Integracja funkcji biochemicznych w inteligentnych mikrosystemach.

Trzeba wyraźnie podkreślić, że przedstawiona powyżej analiza ujmuje jedynie zjawiska obserwowane w samym tylko przemyśle mikroelektronicznym, (produkcji



Rys. 5.22. Prognoza rynku MEMS według obszarów aplikacji

układów scalonych lub też mikrosystemów). Nie pokazuje ona wpływu dynamiki rozwoju tych dziedzin produkcji na pozostałe obszary gospodarki. Wprawdzie ujęcie tego wpływu w formie liczbowej jest bardzo trudne, jednak obserwacje gospodarek krajów rozwiniętych wskazują na istnienie i dominujący charakter tego wpływu.

Warte uwagi są także analizy ekonomiczno-finansowe przeprowadzone w ramach Projektu InSight 2030 w polu badawczym „Mikroelektronika”. Pozwoliły one na zidentyfikowanie wielu problemów dotyczących dalszego rozwoju przemysłu mikroelektronicznego, m.in. w obszarze produkcji układów scalonych:

- Ogromny wzrost kosztu budowy nowoczesnych fabryk produkujących najbardziej zaawansowane układy scalone na skalę masową,
- Związaną z powyższym koncentrację produkcji w niewielkiej liczbie potężnych koncernów mikroelektronicznych,
- Poważne problemy ekonomiczne mniejszych producentów układów scalonych produkujących układy na skalę masową,

- Integrację wysiłków producentów ukierunkowanych na opracowanie nowych technologii,
- Daleko idąca standaryzacja technologii i rozwój produkcji układów na zamówienie opartych na modelu biznesowym produkcji „fabless”, nie wymagającym posiadania fabryki,
- Sukcesy wytwórców układów scalonych typu „silicon foundry” (zajmujących się wyłącznie produkcją układów projektowanych gdzie indziej,) których pozycja rynkowa nie wynika z posiadania najnowocześniejszej technologii, lecz z większej elastyczności i łatwiejszego dostosowania do potrzeb rynku.

W obszarze opracowywania i podejmowania produkcji mikrosystemów w opinii ekspertów optymalnym jest następujący model biznesowy:

- Opracowanie nowego mikrosystemu podejmowane jest przy ścisłej współpracy przyszłego producenta z Centrum B+R dysponującym odpowiednim potencjałem technologicznym, pomiarowym i konstrukcyjnym.
- Całość mikrosystemu bądź jego kluczowe moduły opracowywane są i wytwarzane aż do etapu prototypu w laboratorium Centrum B+R. Jeżeli jest to możliwe, to wytworzenie niektórych, standardowych modułów zlecane jest Foundry. Producent bądź Centrum B+R podejmuje integrację wszystkich komponentów w jeden system stanowiący wyrób końcowy.
- W pierwszym okresie produkcja rynkowa mikrosystemu realizowana jest przez firmę będącą producentem komercyjnym w trybie Fabless lub Fablight w ten sposób, że cały mikrosystem lub jego moduły wymagające technologii półprzewodnikowej wytwarzane są w ramach produkcji pilotowej w Centrum B+R. Producent realizuje etapy końcowe cyklu wytwórczego.
- Po osiągnięciu dojrzałości rynkowej produkcja przekazywana jest z Centrum B+R w do producenta komercyjnego dysponującego niezbędnym potencjałem technologicznym. Towarzyszyć temu może transfer technologii opracowanej w Centrum do tego producenta.

5.5.3. Stan obecny i perspektywy rozwoju mikroelektroniki w Polsce. Przed rokiem 1989 w Polsce w CEMI produkowano standardowe układy scalone będące kopiami wyrobów zagranicznych, z co najmniej kilkuletnim opóźnieniem w stosunku do chwili pierwszego wprowadzenia tych wyrobów na rynek. Wyposażenie linii technologicznych pochodziło z początku lat 80-tych. Produkcja taka nie miała szans konkurencyjnych z chwilą otwarcia rynku i w efekcie, w połowie lat 90-tych fabryka CEMI zbankrutowała. Jedynym ośrodkiem nadal utrzymującym potencjał technologiczny mikroelektroniki pozostał Oddział Technologii Mikrosystemów i Nanostruktur Krzemowych Instytutu Technologii Elektronowej w Piasecznie. In-

frastruktura techniczna tego ośrodka została zbudowana ze środków ARP w roku 1999, natomiast urządzenia technologiczne przeniesiono z laboratoriów ITE usytuowanych wcześniej na terenie CEMI.

Warto podkreślić, iż podobne procesy obserwowano w pozostałych krajach dawnego bloku sowieckiego z tym, że jedynie w Polsce udało się uchronić od likwidacji potencjał ITE, który obecnie jest jedynym (obok znacznie mniejszego instytutu IMT w Bukareszcie) takim ośrodkiem wśród Nowych Krajów Członkowskich Unii Europejskiej. Z drugiej strony jednak, ze względu na dramatycznie niskie nakłady inwestycyjne, potencjał technologiczny ośrodka w Piasecznie był przestarzały (większość urządzeń liczyło sobie 25–30 lat).

Od roku 2010, dzięki podjęciu realizacji projektu o nazwie: Mikrosystemy i NanoTechnologie Elektroniczne dla Innowacyjnej Gospodarki „MINTE” sytuacja znacznie się poprawia. Wprawdzie wielkość środków uzyskanych w ramach projektu MINTE jest skromna w stosunku do potrzeb jedynego w kraju ośrodka badawczego w dziedzinie uważanej na całym świecie za podstawową dla rozwoju innowacyjnej gospodarki, niemniej zbudowany zostanie nowy budynek i zakupione najbardziej potrzebne urządzenia technologiczne, pozwalając na dalszy rozwój prac B+R.

Instytut Technologii Elektronowej, posiadając najpoważniejszy w tej dziedzinie potencjał badawczy w kraju, od kilkunastu lat specjalizuje się w konstrukcji i technologii mikrosystemów, współpracując z krajowym środowiskiem naukowym, któremu zapewnia, w miarę istniejących możliwości, dostęp do posiadanego potencjału. Osiągnięcia ITE w obszarze detektorów, czujników i mikrosystemów spotykają się z uznaniem czołowych ośrodków zagranicznych. Przejawia się to w postaci ofert wspólnych projektów badawczych, konkretnych zamówień na opracowania badawcze oraz zapraszania przedstawicieli ITE jako ekspertów.

Oprócz ITE zaawansowane prace w obszarze konstrukcji i technologii mikro/nano-systemów i czujników prowadzone są w wielu ośrodkach krajowych. Wymienić należy silne zespoły wrocławskie (Politechnika Wrocławska), warszawskie (Politechnika Warszawska) oraz łódzki (Politechnika Łódzka) i krakowski (AGH), a także prace prowadzone w firmie VIGO i kilku innych MŚP. Obserwuje się rosnące zainteresowanie małych firm poszukujących opartych o technologie mikrosystemów rozwiązań dla potrzeb aplikacji medycznych, dla przemysłu spożywczego, aparatury kontrolnej i innych. W ramach prowadzonej przez ITE współpracy europejskiej tworzona jest możliwość dostępu zespołów krajowych do rozwiązań oferowanych przez partnerów zagranicznych ITE. W tym celu ITE tworzy system bazo-danowy gromadzący i porządkujący informacje niezbędne dla podjęcia współpracy z partnerami zagranicznymi oferującymi usługi „foundry”.

W Polsce nie ma obecnie komercyjnej produkcji układów scalonych standardowych ani specjalizowanych, natomiast zespół ośrodka ITE w Piasecznie dysponuje

technologią CMOS umożliwiającą wytwarzania układów scalonych ASIC na zamówienie. Jest to jednak technologia przestarzała, nadająca się jedynie dla projektów edukacyjnych. W chwili obecnej, ITE przy współpracy zespołu z uniwersytetu UCL (Louvain-La-Neuve, Belgia) pracuje nad dopracowaniem i wdrożeniem nowoczesnej technologii FD-SOI, która w zamierzeniu będzie wykorzystywana dla opracowywania nowych układów dla zastosowań aeronautycznych i innych, wszędzie tam gdzie przy małej serii niezbędne będą wysokie parametry przyrządu a zwłaszcza – niskie zużycie mocy. Ponadto, Polska dysponuje unikatową szansą: opracowaną na Politechnice Warszawskiej według koncepcji i z udziałem prof. Wojciecha Małego oryginalną technologią produkcji krzemowych układów scalonych o nazwie VESTIC. Technologia VESTIC ma (potwierdzone badaniami eksperymentalnymi) unikatowe cechy, z których najważniejsze to:

- możliwość redukcji poboru mocy w stosunku do najlepszych obecnie produkowanych układów nawet o rząd wielkości,
- możliwość wytwarzania tranzystorów o nanometrowych wymiarach przy użyciu procesów fotolitografii znacznie prostszych i tańszych od obecnie stosowanych,
- regularna struktura powodująca szczególną przydatność do szybkiego projektowania i wytwarzania układów scalonych w niewielkich seriach, a więc do układów specjalizowanych.

W roku 1992 polskie ośrodki badawcze i firmy uzyskały dostęp do możliwości produkcji układów specjalizowanych za pośrednictwem finansowanej przez Komisję Europejską organizacji EUROPRACTICE. Organizacja ta pełni dwie bardzo ważne funkcje. Po pierwsze, uczelniom i ośrodkom badawczym (ale nie firmom) udostępnia na bardzo korzystnych warunkach profesjonalne oprogramowanie do projektowania układów scalonych oraz mikrosystemów. Po drugie, pośredniczy w zamawianiu wytwarzania prototypów i produkcji seryjnej układów specjalizowanych zarówno dla ośrodków badawczych, jak i dla firm.

Obiecującym faktem jest pojawienie się w ostatnich latach na rynku krajowym i światowym polskich firm typu „fabless design”. Dwie największe z nich to Evatronix (firma z Bielska Białej z oddziałami w Gliwicach i Warszawie) oraz Synopsys Poland (w Gdańsku, obecnie oddział amerykańskiej firmy Synopsys). Istnieje szereg firm zaangażowanych w projektowanie układów dla swoich potrzeb: ADB, ANDRA, Bonmart Medical, Inside Contactless, Twinteq i kilka innych. Osobne miejsce zajmuje Zakład Projektowania Układów Scalonych i Systemów Instytutu Technologii Elektronowej, który oprócz prowadzenia projektów badawczych przyjmuje zlecenia na projekty od polskich i zagranicznych klientów.

Układy projektowane w Polsce w modelu „fabless design” są potem wytwarzane przez producentów typu „silicon foundry”, za pośrednictwem EUROPRACTICE

lub w drodze bezpośrednich umów z tymi producentami. Projektowane w Polsce układy są wytwarzane głównie przez firmy dalekowschodnie (TSMC, UMC, SMIC), ale także europejskie (głównie AMS w Austrii). Zamawianie produkcji układów u wielkich światowych producentów wymaga jednak dostosowania się do oferowanych przez nich technologii.

5.5.4. Konkurencyjne obszary technologiczne. Biorąc pod uwagę trendy techniki światowej, rozwoju rynku globalnego, dotychczasowe osiągnięcia badawcze krajowych ośrodków naukowych oraz potencjał firm produkcyjnych, można założyć, że polski przemysł mikroelektroniczny mógłby skutecznie konkurować na rynku światowym w następujących obszarach:

- Układy scalone analogowe i *mixed signal* o bardzo niskim poborze mocy realizowane w technologii FD-SOI oraz VESTIC.
- Technologie mikrosystemów dla medycyny i dla ochrony środowiska (sensory chemiczne i bio-chemiczne, diagnostyka biomedyczna, implanty i in.)
- Technologie mikrosystemów dla monitorowania stanu struktur technicznych (SHM – *Structural Health Monitoring*) w lotnictwie, przemyśle samochodowym i innych dziedzinach gospodarki.
- Detektory promieniowania.

Jednakże osiągnięcie liczących się sukcesów komercyjnych w tych dziedzinach wymaga podjęcia pilnych działań, o których będzie mowa w następnym podrozdziale.

5.5.5. Wnioski i rekomendacje. W Polsce nie ma warunków ani ekonomicznego uzasadnienia dla inwestowania w masową produkcję układów standardowych. Aby bowiem w tej dziedzinie osiągnąć sukces rynkowy, potrzebne byłyby inwestycje sięgające miliardów dolarów, a podtrzymywanie pozycji rynkowej wymagałoby ponoszenia dalszych ogromnych kosztów na wprowadzanie raz na dwa-trzy lata technologii nowej generacji. Jest to nierealne i niepotrzebne, bo polscy producenci sprzętu – użytkownicy układów scalonych – mają nieograniczony dostęp do produkowanych na świecie układów standardowych.

Polska dysponuje natomiast wysokiej klasy specjalistami w dziedzinie projektowania układów scalonych, istnieją i rozwijają się firmy zajmujące się projektowaniem w modelu „fabless design”. Jest to kapitał, który można i należy wykorzystać. Potencjał innowacyjny polskich firm działających w modelu „fabless design” mógłby znacznie wzrosnąć, gdyby istniały w Polsce możliwości produkcji układów specjalizowanych/mikrosystemów w małej wytwórni mogącej elastycznie dostosowywać się do potrzeb, a w szczególności oferującej możliwości technologiczne niedostępne w dużych firmach typu „silicon foundry”.

Problem dostępu do technologii na miejscu, w Polsce, jest szczególnie krytyczny w przypadku mikrosystemów. Tak jak wspomniano w podrozdz. 4.6.2. w przypadku podejmowania opracowań i produkcji wysoce innowacyjnych mikrosystemów optymalnym modelem biznesowym jest model zakładający dostęp na etapie opracowania do (doświadczalnej) linii technologicznej, która mogłaby podejmować zadania niestandardowe, polegające na dostosowaniu posiadanej technologii do potrzeb projektowanego wyrobu.

Mając powyższe na uwadze rekomenduje się:

1. Utworzenie Polskiej Platformy Zastosowań Technologii Mikro- i Nano-elektronicznych zraszającej:
 - czołowe zespoły badawcze (projektanckie i technologiczne) prowadzące badania stosowane w obszarze mikro/nano-elektroniki,
 - firmy zajmujące się projektowaniem układów scalonych, mikrosystemów i systemów wbudowanych („Design House”),
 - przedsiębiorstwa podejmujące produkcję mikrosystemów i układów scalonych, również w trybie „Fables” i „Fab-light”.
 - Przedsiębiorstwa zainteresowane zastosowaniem produktów technologii mikroelektronicznych w produkowanych przez siebie wyrobach.
2. Utworzenie w ramach Platformy „Stowarzyszenia Projektantów Układów i Systemów Elektronicznych” – zraszającego zespoły projektujące układy scalone i mikrosystemy zarówno te mające status przedsiębiorstw prywatnych jak i zespołów wchodzących w skład organizacji B+R (Uczelnie, PAN, Instytuty Badawcze), wzorowanego na koncepcji Stowarzyszenia AENEAS zorganizowanego na bazie Europejskiej Platformy Nanoelektronicznej ENIAC. Efektem tego przedsięwzięcia, wspartego finansowo np. ze źródeł Funduszu Rozwoju Regionalnego, byłoby utworzenie sieci współpracujących ze sobą dobrze wyposażonych ośrodków i centrów projektowych i projektowo-technologicznych zdolnych do podejmowania projektowania układów i systemów scalonych, mikrosystemów oraz systemów wbudowanych dla potrzeb przemysłu oraz podejmowania lub organizowania następnie przedsięwzięć produkcyjnych pozwalających na zaspokojenie potrzeb przemysłu.
3. Dalszy rozwój projektowania w modelu „fables design”, z równoczesnym propagowaniem możliwości tworzenia i wykorzystywania oryginalnych systemów wbudowanych w wyrobach z różnych dziedzin techniki (np. sprzęt AGD, aparatura medyczna, motoryzacja i wiele innych).
4. Rozwój projektowania i produkcji mikrosystemów według koncepcji „Fab-light” wspartej doświadczalnym potencjałem technologicznym oraz projektowym zespołu ITE oraz utworzonych przy ścisłej współpracy z ITE mniejszych, współpracujących z ITE ośrodków w Warszawie i poza Warszawą. Wzmocnienie istnie-

jących w ITE Centrów w stopniu umożliwiającym spełnianie roli lidera grupy ośrodków projektowo-technologicznych.

5. Stworzenie polskiej mini-fabryki dla produkcji specjalizowanych układów scalonych i mikrosystemów, oferującej niedostępne gdzie indziej możliwości technologiczne, stosunkowo niewielkie serie wyrobów, elastycznie dostosowującej się do potrzeb wykraczających poza dostępne u producentów układów specjalizowanych i mikro-systemów standardy. Jak wynika z przeprowadzonego w ramach projektu InSight 2030 rozeznania istnieje w Europie ogromna potrzeba takiej właśnie wytwórni.

5.6. Fotonika

5.6.1. Fotonika – kluczowa technologia rozwoju nowoczesnego przemysłu. Fotonika należy do najbardziej obiecujących i najszybciej rozwijających się innowacyjnych technologii, które będą miały w najbliższych dekadach decydujący wpływ na rozwój większości obszarów techniki doprowadzając do prawdziwej rewolucji społecznej i przemysłowej. Obszary te obejmują takie zagadnienia jak: optyczne przetwarzanie informacji, telekomunikacja optyczna, obrazowanie, oświetlenie, wyświetlacze (wskaźniki) fotoniczne, kontrola procesów produkcyjnych, ochrona zdrowia i środowiska naturalnego, fotoniczne systemy bezpieczeństwa i zabezpieczeń. W wielu tych zastosowaniach fotonika oferuje nowoczesne i jedynie możliwe rozwiązania, szczególnie tam, gdzie tradycyjne techniki i technologie osiągnęły kres swoich możliwości zarówno pod względem szybkości działania jak i dokładności.

Niezwykle szybki rozwój wdrożeń nowych idei technologicznych wykorzystujących osiągnięcia fotoniki doprowadził do powstania wielu aplikacji, bez których nie potrafimy wyobrazić już sobie codziennego życia. Do nich należą między innymi światłowodowe systemy telekomunikacji optycznej, czujniki światłowodowe i fotoniczne, drukarki i czytniki laserowe, odtwarzacze CD i DVD, wyświetlacze i płaskie monitory ciekłokrystaliczne LCD oraz cała gama zastosowań laserów w przemyśle i w medycynie. Już obecnie mówi się, że wiek XXI będzie wiekiem fotoniki przejawiającym się burzliwym i dynamicznym rozwojem technologii fotonicznych, podobnie jak miniony wiek XX (w szczególności w swojej drugiej połowie, po wynalezieniu pod koniec lat 40. tranzystora) był wiekiem elektroniki.

Powyższe względy spowodowały zaliczenie fotoniki w roku 2010 przez Komisję Europejską do pięciu kluczowych technologii, których rozwój będzie decydował o przyszłości europejskiego przemysłu na rynku globalnym. W najbliższej dekadzie będzie ona stanowić jeden z priorytetowych obszarów prac badawczo-rozwojowych w Unii Europejskiej.

5.6.2. Kierunki rozwoju fotoniki w technice światowej. Światowy rynek w dziedzinie fotoniki w 2010 r. wyniósł 300 mld euro; a według prognoz do roku 2015 ma osiągnąć wartość ok. 400 mld euro. W USA kilkadziesiąt lat temu powstały organizacje optyczne/fotoniczne: *The International Society for Optics and Photonics*, *IEEE Photonics Society*, *Optical Society of America*, które działając globalnie promują badania podstawowe i wdrożeniowe w dziedzinie optyki i fotoniki zarówno w USA jak i na całym świecie. Olbrzymie zainteresowanie fotoniką wykazują dynamicznie rozwijające się ośrodki azjatyckie w Japonii, Chinach, Korei, Hongkongu, Singapurze, czy na Tajwanie. W krajach tych powstają fotoniczne parki technologiczne, a dzięki wysokim nakładom finansowym i znacznie tańszymi kosztom wytwarzania szereg technologii fotonicznych zostało całkowicie zdominowanych przez firmy azjatyckie (np. technologia płaskich ekranów ciekłokrystalicznych LCD)

Wydatki związane z fotoniką ponoszone w Europie wynoszą obecnie ok. 60 mld euro rocznie i szybko przekroczą poziom wydatków w dziedzinie mikroelektroniki. W samej Europie zatrudnionych jest obecnie w fotonice ok. 300 tys. osób, a ponad 5000 firm fotonicznych (głównie typu SME-MŚP) oferuje coraz więcej miejsc pracy.

Pomimo ostatniego kryzysu ekonomicznego sektor fotoniczny w Europie rozwija się bardzo dynamicznie – skala rocznego przyrostu jest powyżej 10 proc., co stanowi 2–3 krotnie szybszy wzrost od średniego europejskiego wskaźnika GDP (PKB). W latach 2005–2008, a więc już w okresie narastającego kryzysu ekonomicznego, w Europie utworzono ponad 40 tys. nowych miejsc pracy w sektorze fotonicznym. Przewiduje się, że wzrost miejsc pracy w tym sektorze jeszcze bardziej przyspieszy w nadchodzących latach, pod warunkiem wprowadzenia odpowiednio skoordynowanych strategii rozwoju fotoniki.

Jest to tym pilniejsze, że wiele krajów UE prowadzi w tym zakresie własne bardzo intensywne działania. Niemcy wystartowały z finansowaniem dedykowanych programów badawczych z fotoniki pod koniec XX wieku i obecnie niemiecki sektor fotoniczny jest potęgą przemysłową w tej dziedzinie w świecie i bezsprzecznie jednym z liderem naukowych w dziedzinach techniki laserowej, techniki światłowodowej, systemów optoelektronicznych, czy optycznych. Wielka Brytania opracowała narodową strategię rozwoju fotoniki w 2007 r.; a inne wiodące kraje europejskie (Francja, Włochy, Hiszpania, Szwecja, Belgia) również stawiają na fotonikę. W tym kontekście wydaje się wysoce pożądane opracowanie strategii rozwoju fotoniki w Polsce. Strategia ta przyczyniłaby się do integracji i koordynacji zarówno prac badawczo-rozwojowych jak i wdrożeniowych w wybranych obszarach fotoniki, w których polskie firmy typu MŚP mogłyby z powodzeniem konkurować na rynku globalnym.

Doceniając znaczenie i pilność koordynacji badań prowadzonych przez kraje Unii w zakresie fotoniki, Komisja Europejska przeznaczyła znaczące środki na jej

rozwój w ramach 7. Programu Ramowego (PR) na lata 2007–2013, a w kolejnym 8. PR przewiduje się dalsze ich zwiększenie. W działania koordynacyjne włączyły się także pozarządowe ośrodki europejskie. W 2006 r., z inicjatywy przemysłu fotonicznego – głównie niemieckiego – powstała europejska platforma technologiczna *Photonics*, której głównym celem jest określenie strategii badawczej rozwoju fotoniki w Europie oraz uświadomienie jej wielkiej roli i wpływu na rozwój gospodarki europejskiej.

Analiza programów rozwojowych poszczególnych przodujących pod tym względem krajów świata pozwala stwierdzić, że działalność badawcza i produkcyjna w zakresie fotoniki została skoncentrowana w następujących obszarach zastosowań:

- Informatyka i telekomunikacja (ICT),
- Wysokiej jakości produkcja przemysłowa,
- Fotonika w medycynie i w ochronie zdrowia,
- Oświetlenie i wyświetlacze (displeje),
- Fotonika w systemach bezpieczeństwa i zabezpieczeniach,
- Nowe materiały,
- Technologie fotoniczne „dnia codziennego”.

W zakresie **informatyki i telekomunikacji** jednym z najważniejszych obszarów rozwoju zastosowań fotoniki są fotoniczne sieci telekomunikacyjne. Internet (WWW) został wynaleziony dzięki badaniom z dziedziny fotoniki. Przewiduje się, że rozwijany obecnie „Internet przyszłości” w oparciu o technologię światłowodową (FTTH) umożliwi powszechną szybką transmisję danych rzędu wielu Tb/s (przekazy wideo, szerokopasmowe zastosowania); przy czym zastosowanie nowych rozwiązań fotonicznych spowoduje znaczną redukcję globalnego zużycia energii przez przyszłe systemy telekomunikacyjne (obecnie udział Internetu w konsumpcji światowej energii przekroczył już 40 proc. całkowitego zapotrzebowania energetycznego). Fotoniczne sieci telekomunikacyjne będą szybsze, „przezroczyste” (wprowadzanie coraz większej liczby elementów optycznych w miejsce elektronicznych), bardziej dynamiczne i bardziej „zielone” (energooszczędne).

W zastosowaniach dotyczących **wysokiej jakości produkcji przemysłowej** nadal główną rolę będą odgrywały lasery i systemy obróbki laserowej. W najbliższej dekadzie nowoczesny przemysł będzie wykorzystywał fotonikę w wielu nowych procesach produkcyjnych wymagających niezwyklej precyzji i dokładności tj. makro- i mikro-obróbka, litografia, optyczna kontrola jakości, optyczne systemy czujnikowe, nowe materiały dedykowane do obróbki fotonowej, biotechnologie, zastosowania medyczne. Światowy rynek w dziedzinie obróbki laserowej (ok. 6.4 mld euro w 2008 r.) wykazuje dynamikę wzrostu na poziomie 10 proc. rocznie. Na świecie w tej dziedzinie istnieje silna konkurencja: dotychczasowi liderzy

rynku w tym sektorze (USA, Niemcy) muszą stawić czoła tańszym producentom azjatyckim (głównie Chiny), którzy oferując znacznie niższe ceny systematycznie zwiększają jakość swoich wyrobów

W obszarze **medycyny i w ochronie zdrowia** już dzisiaj wartość rynku optyczno – fotonicznego wynosi ponad 23 mld euro rocznie i przewiduje się jego dalszy, bardzo dynamiczny rozwój. W wielu dziedzinach medycyny fotonika stała się podstawowym narzędziem diagnozowania i wspomaganie lekarza. Należy tu wymienić systemy tomografii optycznej OCT oraz wspomaganie fotoniczne systemów MRI, PET, mamografii, które pomagają w diagnozowaniu wielu chorób, przede wszystkim chorób oczu (ok. 3 mld euro w 2007 r.); dynamiczna terapia fotonowa (PDT) poczyniła znaczne postępy (7 mld euro w 2007 r.). Nowym rozwijającym się kierunkiem fotoniki jest biofotonika (szacunkowe wydatki na poziomie 8 mld euro w 2006 r. mają wzrosnąć do 100 mld euro w 2016 r.). Wiele krajów inwestuje duże sumy w biofotonikę. Liderami są USA i Singapur, gdzie powołano narodowe centra badań biofotonicznych. Fotonika wydaje się być znakomitym rozwiązaniem do wczesnego wykrywania komórek rakowych. Badania oftalmologiczne starzejącego się społeczeństwa potrafią wcześniej wykrywać metodami optycznymi szereg chorób wieku podeszłego (m.in. Alzheimera). Biorąc pod uwagę trend zmian struktury wiekowej populacji chłonność rynku na urządzenia fotoniczne tego typu będzie systematycznie rosła.

W dziedzinie **oświetlenia i wyświetlaczy (displeje)** Europa zajmuje dominującą pozycję w świecie (rynek globalny ok. 60 mld euro w 2007 r.); energooszczędnym rozwiązaniem są diody LED oraz OLED, których udział w rynku będzie dynamicznie wzrastał. W dziedzinie płaskich wyświetlaczy (ok. 100 mld euro), głównie ciekłokrystalicznych LCD rynek i technologia zostały całkowicie zdominowane przez firmy azjatyckie; w Europie (głównie w Polsce) są wytwórcami – montowni płaskich telewizorów LCD na bazie importowanych z Azji paneli.

Rynek **fotonicznych systemów bezpieczeństwa i zabezpieczeń** wykazuje wielką dynamikę (22 mld euro; 15 proc. roczna stopa wzrostu). Są to systemy i układy czujników wielkości fizycznych, chemicznych, biologicznych, radiologicznych zapobiegające potencjalnym atakom terrorystycznym, kamery monitoringu, systemy biometryczne identyfikacji, czujniki fotoniczne oraz obrazowanie terahercowe, czujniki i systemy badania zanieczyszczeń i skażenia środowiska etc. Fotonika wkracza również w systemy czujnikowe i kontrolne nowoczesnych samochodów w formie np. wyświetlaczy przeziernych (*head-up displays*), wbudowanych alkomatów, czujników bezpieczeństwa kierowcy i pasażera, monitorów podczerwieni do nocnej jazdy i wielu innych elementów wyposażenia samochodu.

W zakresie **nowych materiałów** przewiduje się, że głównym obszarem badań w nadchodzących latach będą metamateriały (o ujemnym współczynniku załama-

nia, materiały fotoniczne na krzemie, germanie i cynie; nanorurki węglowe i grafen, materiały dla światłowodów UV i IR, polimery i pokrycia polimerowe szczególnie ważne w optofluidyce.

W dalszym ciągu będą prowadzone prace nad rozwojem nowych technologii fotonicznych: światłowodów mikro- i nano strukturalnych, w szczególności łączonych z ciekłymi kryształami, gazami, cieczami, metalami; układów fotonicznych typu MEMS i technologii mikrofluidycznych.

5.6.3. Stan obecny i perspektywy rozwoju fotoniki w Polsce. W ocenie ekspertów uczestniczących w realizacji projektu dotychczas tylko trzy polskie produkty fotoniczne osiągnęły poziom światowy i sukces komercyjny na rynku globalnym. Są to:

- fotodektory podczerwieni (WIGO S.A. z Ożarowa k/Warszawy, Wojskowa Akademia Techniczna),
- koherentny termograf optyczny dla diagnostyki okulistycznej (OPTOPOL z Zawiercia, Uniwersytet Mikołaja Kopernika),
- monokryształy azotku galu o najwyższej światowej jakości (AMMONO z Warszawy, Uniwersytet Warszawski, Politechnika Warszawska).

Każdy z tych produktów został wdrożony do produkcji na bazie osiągnięć naukowców z polskich uczelni wyższych i na ogół przy ich czynnym udziale – poczynając od badań podstawowych, poprzez wdrożenie i następnie osiągnięcie realnego międzynarodowego sukcesu marketingowego.

Prócz wymienionych wyżej komercyjnych osiągnięć w fotonice na skale światową, powstały w Polsce unikalne opracowania technologiczne, które z różnych względów nie zostały i nie są komercjalizowane. Należy tu wymienić przede wszystkim osiągnięcia w zakresie technologii ciekłych kryształów i światłowodów specjalnych.

Ciekłe kryształy odgrywają obecnie kluczową rolę w fotonice obrazowej. Ekrany i monitory znane na rynku jako LCD (*Liquid crystal display*) o coraz to większych przekątnych mają spory udział w światowym rynku fotoniki. Syntezą różnych rodzajów ciekłych kryształów zajmuje się od lat zespół profesora Romana Dąbrowskiego z Wojskowej Akademii Technicznej. Znaczna ilość patentów na opracowane pod jego kierunkiem technologie nie zaowocowała powstaniem w kraju firmy, która wdrożyłaby je i uzyskała produkty w pełni rynkowe. Nabywcami licencji na te patenty stały się przede wszystkim firmy z Japonii, Korei Południowej i Tajwanu, które wdrożyły je na skalę przemysłową i w postaci gotowych półproduktów trafiają do licznych montowni monitorów i telewizorów na świecie, w tym do Polski, gdzie znajduje się znaczna ich liczba. Warto dodać, że nie jest to tylko problem

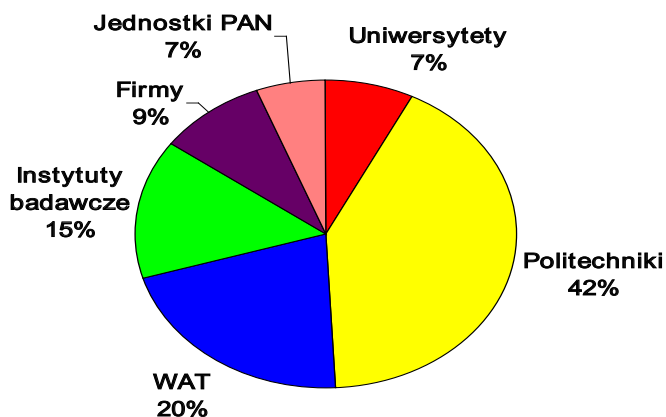
nasz polski. Ciekłe kryształy wynalezione i intensywnie badane od wielu przez zespoły europejskie (Niemcy, Francja, Wielka Brytania, Szwajcaria, Polska) zostały w dziedzinie zastosowań do wyświetlaczy LCD przechwycone przez koncerny technologiczne z Azji (Korea, Japonia, Tajwan), które zdominowały w tej dziedzinie rynek światowy. W tym przypadku wartość dodana wynikająca z opracowania unikalnych technologii przyniosła efekt dla polskiej gospodarki (i w ogólności dla europejskiej) znacznie mniejszy niż powinna.

Innym podobnym przykładem są prace prowadzone nad unikalną technologią światłowodów specjalnych przez grupę badaczy kierowanych przez nieżyjącego już dra Jana Wójcika z Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie i kontynuowane przez jego wychowanków pod kierunkiem dra Pawła Mergo. Łączność światłowodowa stanowi podstawę współczesnej telekomunikacji, ale istnieje też wiele działów fotoniki takich jak np. czujniki do zastosowań militarnych, medycznych, przemysłowych i w ochronie środowiska, które wymagają światłowodów specjalnych. Opracowane przez dra Jana Wójcika światłowody mikrostrukturalne, nazywane też w niektórych przypadkach światłowodami fonicznymi, są unikalne w skali światowej i stanowią przedmiot badań aplikacyjnych w laboratoriach fonicznych przede wszystkim Politechniki Warszawskiej i Wrocławskiej oraz Wojskowej Akademii Technicznej, ale także na zasadzie współpracy naukowej w laboratoriach Kanady, Belgii, Francji, Singapuru i Hongkongu. Próby wdrożenia i produkcji w Polsce na skalę komercyjną tego typu unikalnych światłowodów nie przyniosły jak dotąd sukcesu.

Warto zaznaczyć, że jedną z polskich specjalności zapoczątkowanych na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej stało się połączenie unikalnych właściwości ciekłych kryształów w mikrokanalikach światłowodów specjalnych dające istotny wkład w rozwój nowej dziedziny fotoniki czujnikowej, jaką jest optofluidyka pozwalająca mieć nadzieję na kompleksową mikroanalizę składu gazów i cieczy, niezbędną ze względów bezpieczeństwa, a przydatną też w medycynie i ochronie środowiska.

Przedstawione osiągnięcia badawcze nie są jedynymi, które odniosły sukces naukowy i w skali lokalnej komercyjny. Na podstawie opracowania „*Analiza stanu i kierunki rozwoju krajowych ośrodków naukowych i firm produkcyjnych w dziedzinie optoelektroniki i fotoniki*” przygotowanego dla Sekcji Optoelektroniki KEiT PAN w 2009 roku (autorzy: Andrzej W. Domański, Zdzisław Jankiewicz, Tomasz R. Woliński, Wiesław L. Woliński przy współpracy: Stanisław Kłosowicz, Tadeusz Pustelny, Ryszard Romaniuk) można prześledzić tematykę i osiągnięcia sześćdziesięciu siedmiu zespołów badawczych w zakresie fotoniki.

Stan i możliwości badawcze krajowych ośrodków naukowych i firm produkcyjnych w dziedzinie fotoniki wynikające z tego opracowania wyglądają ilościowo



Rys. 5.23. Lokalizacja polskich zespołów badawczych pracujących w zakresie fotoniki (A. W. Domański, Z. Jankiewicz, T. R. Woliński, W. L. Woliński, „Analiza stanu i kierunki rozwoju krajowych ośrodków naukowych i firm produkcyjnych w dziedzinie optoelektroniki i fotoniki” praca zbiorowa pod red. J. Modelskiego, KEiT PAN, Oficyna Wyd. PW 2010).

dość optymistycznie. Gorzej z współpracą międzynarodową zespołów (znikomy udział w grantach europejskich) i zaawansowaniem badań nie dających szans na szybkie wdrożenie wyników badań na skalę międzynarodową.

5.6.4. Konkurencyjne obszary technologiczne. Biorąc pod uwagę dotychczasowe osiągnięcia badawcze krajowych ośrodków naukowych oraz potencjał firm produkcyjnych, można założyć, że polski przemysł foniczny mógłby skutecznie konkurować na rynku światowym w następujących obszarach:

- technologia mikro- i nanostrukturalnych specjalnych światłowodów fonicznych oraz światłowodowych struktur kompozytowych,
- technologia kryształów stałych i ciekłych dla fotoniki,
- technologia superczułych fotodetektorów nowej generacji dla obszaru podczerwieni i częstotliwości terahercowych,
- technologia superczułych fotodetektorów nowej generacji dla obszaru podczerwieni i częstotliwości terahercowych

Technologia światłowodów fonicznych rozwija się od momentu wytworzenia pierwszego włókna tego typu w roku 1996 ze szkła kwarcowego. Później pojawiły się światłowody z innych rodzajów szkieł. Ze względu na najwyższą jakość tego typu włókien ze szkła kwarcowego, największe zaawansowanie technologii ich wytwarzania oraz kompatybilność z najlepszymi światłowodami o klasycznej konstrukcji, włókna te, choć produkowane na niewielką skalę znalazły już zastosowanie w wielu gałęziach gospodarki.

Włókna fotoniczne z innych materiałów nie są produkowane ze względu na ich rozliczne wady, chociaż właściwości nieliniowe czy spektralne zakresy transmisji światłowodów ze szkieł wieloskładnikowych mogą być lepsze a ich elastyczność i kompatybilność z tworzywami sztucznymi włókien plastikowych korzystniejsza niż włókien ze szkła kwarcowego.

Światłowody fotoniczne ze szkła kwarcowego i ze szkieł *high silica* wytwarzanych z lotnych substratów oprócz wielu bezspornych zalet w stosunku do włókien z innych materiałów mają jednak wady wynikające z właściwości materiałów konstrukcyjnych. Są to słabe właściwości nieliniowe i ograniczony zakres spektralny transmisji.

Światłowody zarówno klasyczne jak też fotoniczne są obecnie wytwarzane z czterech podstawowych grup szkieł, a mianowicie ze szkła kwarcowego a ściślej ze szkieł *high silica*, ze szkieł organicznych, krzemianowych szkieł wieloskładnikowych i grupy szkieł nietlenkowych oraz tlenkowych z pierwiastków ciężkich. Klasyczne włókna optyczne o najwyższej jakości stosowane do telekomunikacji są produkowane na skalę masową wyłącznie ze szkła kwarcowego a włókna nie-telekomunikacyjne z tego materiału ilościowo i jakościowo również dominują na rynku. Znaczenie gospodarcze światłowodów z innych materiałów jest mniejsze i maleje w kolejności tworzyw: szkła organiczne, szkła krzemianowe miękkie, szkła z pierwiastków ciężkich. Przyczyną tego stanu są wady tych światłowodów jak duża tłumienność, mniejsza wytrzymałość mechaniczna, gorsza odporność na czynniki środowiskowe, często wyższa lub znacznie wyższa cena. Jednak mają one zalety: niektóre światłowody pracują w szerszym zakresie spektralnym, mogą być domieszkowane pierwiastkami ziem rzadkich w większych stężeniach, istnieje większa możliwość modyfikacji ich składu chemicznego, można łatwo wytwarzać światłowody o dużym stosunku średnicy rdzenia do średnicy zewnętrznej, w niektórych rodzajach włókien bardzo łatwo wywoływać efekty nieliniowe przy użyciu o rząd lub nawet dwa rzędy wielkości mniejszych gęstości mocy pompy.

Obecnie jedynie światłowody fotoniczne ze szkła kwarcowego są produkowane na niewielką jeszcze skalę, a włókna fotoniczne z innych tworzyw konstrukcyjnych nie są produkowane, mimo że niektóre z nich charakteryzują się szczególnie korzystnymi właściwościami w porównaniu do włókien ze szkła kwarcowego.

Celem strategicznym jest połączenie korzystnych właściwości światłowodów ze szkła kwarcowego i włókien z innych szkieł dla opracowania technologii włókien fotonicznych charakteryzujących się parametrami użytkowymi lepszymi niż znane dotychczas.

W Polsce nie ma technologii wytwarzania klasycznych światłowodów plastikowych (*polymer optical fibers* – POF) a tym bardziej mikrostrukturalnych (czyli fotonicznych) światłowodów plastikowych (*microstructured polymer optical fibers*

– mPOF) Kolejnym celem strategicznym jest stworzenie infrastruktury i wypracowanie odpowiedniego *know-how* do rozwoju technologii produkcji światłowodów mikrostrukturalnych ze szkieł organicznych w Polsce oraz przetestowanie tej infrastruktury poprzez opracowanie technologii kilku nowych rodzajów mPOF.

Tabela 5.4. Mapa drogowa technologii specjalnych światłowodów fotonicznych

Produkt	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Specjalne światłowodów fotoniczne	[Barwny pasek: 2012-2013: ciemnoniebieski; 2014-2015: zielony; 2016-2017: żółty; 2018-2020: czerwony]								
Fotoniczne światłowodów polimerowe	[Barwny pasek: 2012-2013: ciemnoniebieski; 2014-2015: zielony; 2016-2017: żółty; 2018-2020: czerwony]								
Infiltrowane (LC) światłowodów fotoniczne	[Barwny pasek: 2012-2013: ciemnoniebieski; 2014-2015: zielony; 2016-2017: żółty; 2018-2020: czerwony]								
Polimerowe światłow. struktury fotoniczne	[Barwny pasek: 2012-2013: ciemnoniebieski; 2014-2015: zielony; 2016-2017: żółty; 2018-2020: czerwony]								

BADANIA PODSTAWOWE	ciemnoniebieski
BADANIA APLIKACYJNE	zielony
ZASTOSOWANIA	żółty
PRODUKCJA MASOWA	czerwony

Na bazie światłowodów fotonicznych powstanie technologia światłowodowych struktur kompozytowych, które stanowią nowoczesną klasę materiałów przyszłościowych oraz mikrolasery światłowodowe, źródła typu supercontinuum i układu optofluidyczne.

W zakresie **technologii krysztalów stałych i ciekłych dla fotoniki** w najbliższych latach przewiduje się bardzo duży i rosnący popyt dla azotków (GaN) dla zastosowań w źródłach światła oraz w półprzewodnikowych urządzeniach mocy, które służyć mają między innymi w transporcie energii na duże odległości i konwersji prądu stałego na zmienny w fotowoltaice. Przewiduje się, że ze względu na swoje właściwości fizyczne azotki wyprą krzem, gdyż dalsze próby poprawy krzemowych urządzeń mocy wymagają ich dodatkowej rozbudowy i zwiększania rozmiarów, co oznacza wzrost kosztów. Mamy więc w Polsce możliwość sprostania wyzwaniom dwudziestego pierwszego wieku. Azotki wykazują efekty kwantowe, obserwowane w niskowymiarowych strukturach, schładzanych do temperatur helowych, umieszczanych w silnych polach magnetycznych, czy poddawanych działa-

niu zewnętrznych pól elektrycznych. Sukces polskiej technologii „hodowli kryształów” otwiera możliwość uzyskania wysokiej jakości, jednorodnych, nienaprzężonych warstw GaN na kierunkach polarnych i niepolarnych, pozwala na wyhodowanie nowej jakości studni kwantowych, wielostudni i mikrownęk. Można racjonalnie założyć, że prace te doprowadzą do nowoczesnych urządzeń kwantowych: mikrownęk z kondensatem ekscytonów, konstrukcji źródeł światła spolaryzowanego, detektorów ze sterowanych obszarem czułości, czy sensorów biologicznych i chemicznych.

Ciekłe kryształy w okresie ostatnich 30 lat zyskały szerokie zastosowanie jako płaskie, niezawodne, elektrooptyczne urządzenia do wizualizacji informacji. Jako przykłady znanych produktów wymienić można: zegarki, zegary, kalkulatory, przenośne telefony, osobiste notatniki elektroniczne, ekrany komputerów przenośnych i stacjonarnych, odbiorniki telewizyjne, instrumenty pokładowe samochodów, samolotów itd.

Obok tej wielkogabarytowej produkcji zdominowanej przez Koreę Południową, Japonię, Tajwan i Chiny, istnieją jeszcze potencjalne obszary niezagospodarowanych niszowych zastosowań, szczególnie w zakresie wykorzystania ciekłych kryształów do konstrukcji różnego rodzaju czujników, przestrzennych modulatorów światła, szybkich zaworów optycznych i filtrów optycznych oraz wielu innych elementów niezbędnych do korekcji fazy i polaryzacji oraz przetwarzania i sterowania właściwościami fotonicznych światłowodów wykorzystywanych w telekomunikacji i miernictwie, które mogą doprowadzić do powstania nowych urządzeń.

Ciekłe kryształy są niezwykle plastycznym medium, które daje się kierować zarówno polami elektrycznym, magnetycznym, czynnikami mechanicznymi, termicznymi lub fotonicznymi, w których własności optyczne można łatwo zmieniać i modelować przez wprowadzenie różnych domieszek: nanocząsteczek, barwników, polimerów i związków chiralnych. Skutkuje to otrzymaniem ogromnej ilości nowych materiałów o niezwykle różnorodnym i szerokim zakresie właściwości fizycznych i optycznych. Głównym celem jest wytworzenie nowych materiałów ciekłokrystalicznych umożliwiających efektywne sterowanie i korygowanie parametrów wiązki światła, zwłaszcza tej prowadzonej w światłowodzie fotonicznym. Opracowane zostaną grupy materiałów:

- wykazujące zjawisko całkowitego wewnętrznego odbicia tj. o współczynniku załamania promienia zwyczajnego nie mniejszym od materiału światłowodu;
- propagujące światło wg mechanizmu przerwy wzbronionej (PBG);
- o zwiększonej transmisji (tj. o małej gęstości optycznej) promieniowania w zakresie 800–4000 nm dla podczerwieni;
- opracowanie materiałów dla układów terahercowych i optofluidycznych.

W ocenie ekspertów, rozwijając **technologię kryształów stałych i ciekłych dla fotoniki** firma VIGO System S.A. jest w stanie wyprodukować najczulsze na świecie detektory promieniowania podczerwonego na każdy zakres długości fal

od 1 do 15 μm , niewymagające kriogeniki, a także optymalizowane, niskoszumowe układy elektroniczne do tych detektorów, zarówno wzmacniacze sygnałów jak i sterowniki elementów Peltiera. Ponadto firma ma możliwości wykonywania elementów optycznych stosowanych w tym zakresie spektralnym.

Przedmiotem tego programu jest opracowanie technologii laserów *quantum cascade*, o zróżnicowanym zastosowaniu, w tym do budowy ultraczułych analizatorów gazów. Głównym wykonawcą zadania jest zespół z Instytutu Technologii Elektronowej.

Tabela 5.5. Mapa drogowa technologii kryształów stałych i ciekłych dla fotoniki

Produkt	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Kryształy GaN dla zielonych laserów	[Barwa zmienia się od niebieskiej w 2012 do czerwonej w 2020, z zieloną i żółtą w środku]								
Modyfikowane monokryształy GaN dla niebieskiej fotoniki	[Barwa zmienia się od niebieskiej w 2012 do czerwonej w 2020, z zieloną i żółtą w środku]								
(Polymer-dispersed) LC dla holografii i układów teraherzowych	[Barwa zmienia się od niebieskiej w 2012 do czerwonej w 2020, z zieloną i żółtą w środku]								
Nowe materiały LC dla optofluidyki i fotoniki światłowodowej	[Barwa zmienia się od niebieskiej w 2012 do czerwonej w 2020, z zieloną i żółtą w środku]								

BADANIA PODSTAWOWE	niebieski
BADANIA APLIKACYJNE	zielony
ZASTOSOWANIA	żółty
PRODUKCJA MASOWA	czerwony

Firma VIGO System S.A. jest konstruktorem i producentem unikalnych w skali światowej niechłodzonych półprzewodnikowych detektorów podczerwieni o subnanosekundowym czasie reakcji niezbędnych do budowy sensora w oparciu o lasery QCL. Wdrożenie nowej technologii do produkcji w firmie VIGO System, która może pochwalić się opracowaniem i wdrożeniem wielu urządzeń wyróżnionych i nagrodzonych na forum krajowym i międzynarodowym, gwarantuje sukces całego przedsięwzięcia.

Bezpośrednia zamiana energii słonecznej w energię elektryczną w ogniwach fotowoltaicznych jest jedną z najbardziej niezawodnych form pozyskiwania energii

odnawialnej. Ogromna dynamika wzrostu produkcji paneli słonecznych na świecie (40 – 60 proc. rocznie) i szybki spadek ich cen sprawia, że stają się one istotną alternatywą energii wiatrowej czy pozyskiwanej z biomasy. W Polsce posiadamy wszelkie warunki by uruchomić produkcję takich ogniw, a przede wszystkim kompetencję działających w tej dziedzinie i prowadzących aktywną współpracę zagraniczną grup badawczych. Możliwa jest zarówno produkcja klasycznych paneli z krzemu krystalicznego ale również ogniw cienkowarstwowych, które szybko zwiększają swój udział w globalnym rynku fotowoltaicznym. Zaletą technologii cienkowarstwowych jest to, że umożliwiają wytwarzanie ogniw słonecznych bezpośrednio na sztywnych podłożach o dużej powierzchni (powyżej 1 m²) lub giętkich foliach (o szerokości kilkudziesięciu centymetrów i długości kilkuset metrów), co bardzo upraszcza proces produkcji i zwiększa jego przepustowość. Czas zwrotu energii włożonej w produkcję modułów cienkowarstwowych wynosi obecnie w Europie średnio niewiele ponad 2 lata, a w przyszłości może się on zmniejszyć nawet do 6 miesięcy.

Szczególną pozycję wśród technologii cienkowarstwowych zajmują fotowoltaiczne struktury heterozłączone w których rolę absorbera pełni półprzewodnik z rodziny Cu(In,Ga)Se₂ (CIGSe). Wykazują one rekordową wydajność zarówno w skali laboratoryjnej (20.5 proc. – pojedyncze ogniwa), jak i dla modułów o dużej powierzchni (14 proc. – moduły prototypowe, 13 proc. – moduły produkowane na skalę przemysłową). Ich atrakcyjność związana jest także z dużą odpornością na działanie czynników atmosferycznych i promieniowanie kosmiczne. Ponadto cechą charakterystyczną ogniw opartych na CIGSe jest wzrost wydajności w warunkach pracy, wywołany długotrwałym oświetleniem. W chwili obecnej technologia ogniw CIGSe gwałtownie wkracza w fazę komercjalizacji: liczba zakładów przemysłowych na całym świecie wytwarzających moduły CIGSe bądź wdrażających je do produkcji masowej wzrosła w ostatnich latach do kilkudziesięciu. Produkcja przemysłowa na skalę masową wymaga stabilnych, w pełni kontrolowanych procesów produkcyjnych dających powtarzalne i niezawodne moduły fotowoltaiczne.

Biorąc pod uwagę stan i kierunki badań prowadzonych przez techniczne i medyczne zespoły naukowe oraz dotychczasowe osiągnięcia wdrożeniowe można przewidywać, że polskie firmy mogą skutecznie konkurować także w zakresie **nieinwazyjnych metod fotonicznej diagnostyki i terapii chorób cywilizacyjnych**.

Zrozumienie przyczyn powstawania chorób, ich diagnostyka, oraz możliwość śledzenia skutków zabiegów medycznych zależą od możliwości wszechstronnej analizy poszczególnych tkanek ciała człowieka. Ogromne znaczenie mają metody, których zadaniem jest obrazowanie trójwymiarowej budowy i funkcji poszczególnych tkanek i organów człowieka.

Tam gdzie jest to możliwe dąży się do eliminacji metod inwazyjnych i dotykowych i zastąpienia ich innymi, które dostarczają podobnej informacji bez nega-

tywnego wpływu na badany obiekt. Przykładem techniki inwazyjnej jest biopsja, w której pobiera się materiał biologiczny do dalszej oceny w histopatologicznym badaniu mikroskopowym. Zabieg biopsji jest na ogół operacją inwazyjną i bolesną. Ze względu na to, że próbki pobierane są z małego obszaru istnieje również prawdopodobieństwo, że pobrany fragment tkanki nie będzie zawierać komórek zmienionych chorobowo. Dlatego wydaje się być pożądanym opracowanie metod, które dostarczą informacji porównywalnej z tą otrzymaną w badaniu histopatologicznym, ale bez konieczności pobierania materiału biologicznego, czyli opracowanie nieinwazyjnej biopsji.

Tabela 5.6. Mapa drogowa technologii superczułych fotodetektorów i źródeł nowej generacji dla obszaru podczerwieni i częstotliwości terahercowych



BADANIA PODSTAWOWE	
BADANIA APLIKACYJNE	
ZASTOSOWANIA	
PRODUKCJA MASOWA	

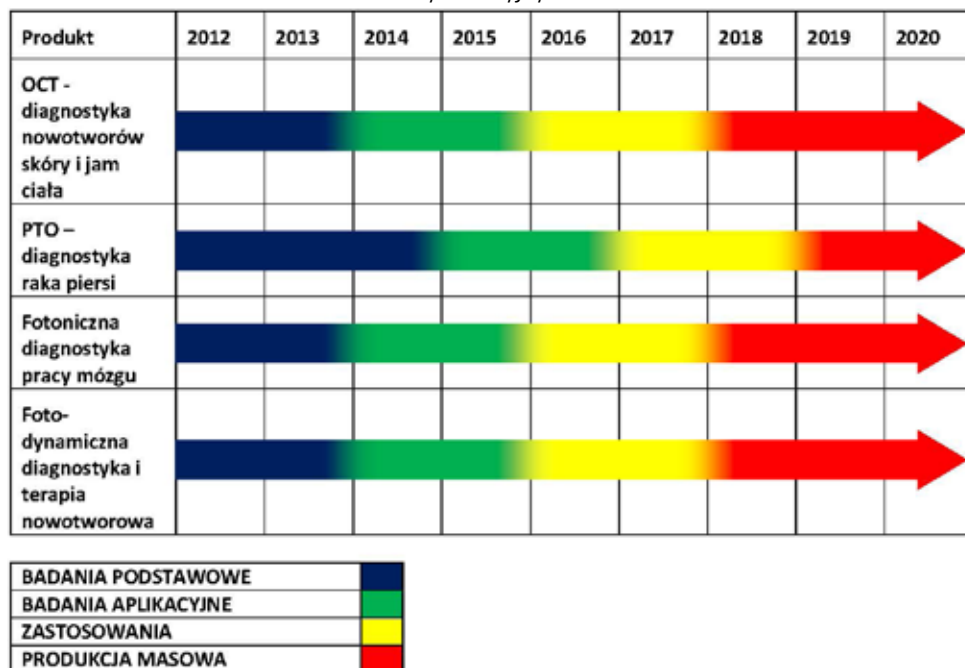
Znaczącą rolę wśród współczesnych technik obrazowania medycznego odgrywają metody optyczne, które wydają się być optymalnymi kandydatami do bezinwazyjnej biopsji. Wśród nich można wymienić między innymi: endoskopię, skaningową laserową mikroskopię, mikroskopię wielofotonową czy tomografię optyczną.

W ostatniej dekadzie pokazano możliwości trójwymiarowego obrazowania struktury tkanki z mikrometrową rozdzielczością bez naruszania jej struktury za pomocą tomografii optycznej OCT. Wyniki badań naukowych w tej dziedzinie zostały docenione przez środowisko okulistów. W odpowiedzi na zapotrzebowanie wychodzące z tego środowiska polska firma (OPTOPOL – Zawiercie) współpracując z naukowcami (UMK – Toruń) opracowała komercyjny tomograf SOCT Copernicus o stukrotnie większej szybkości obrazowania niż wcześniejsze rozwiązanie

firmy Zeiss-Meditec. Sukces komercyjny skłonił firmę Canon do wykupienia akcji OPTOPOL.

Potencjał tkwiący w metodach optycznych zbliżonych do tomografii OCT nadal nie jest do końca wykorzystany. W szczególności dotyczy to możliwości pozyskiwania dodatkowej informacji o czynności organizmu. Takie wielkości jak prędkości przepływów krwi czy skład chemiczny tkanki mierzony w funkcji głębokości mogą być w przyszłości mierzone w organizmach żywych całkowicie nieinwazyjnie za pomocą światła częściowo spójnego. Istotne jest przeniesienie metod OCT do obrazowania zmian struktury innych tkanek – najważniejszym wyzwaniem wydaje się obrazowanie tkanki mózgowej w trakcie udaru mózgowego. Podobnie ważną kwestią jest optyczne śledzenie rozchodzenia się impulsu nerwowego.

Tabela 5.7. Mapa drogowa nieinwazyjnych metod fotonicznej diagnostyki i terapii chorób cywilizacyjnych



Innym zagadnieniem jest opracowanie metod optycznych wczesnego i nieinwazyjnego obrazowania struktury tkanek sutka przy pomocy polarymetrycznego tomografu optycznego (PTO) oraz wykrywania raka sutka we wczesnym stadium rozwoju, jako uzupełnienie metody mammograficznej. Jest to o tyle istotne, że metoda mammografii rentgenowskiej naraża pacjentki na bolesne i częściowo niebezpieczne badania (promieniowanie jonizujące), które zarazem nie gwarantują

100 proc. niezawodności wykrywania nowotworów (30 proc. typów nowotworów nie podlega wykryciu tą metodą).

5.6.5. Wnioski i rekomendacje. Polska osiągnęła 60 proc. średniej unijnej dochodu na głowę mieszkańca. Wykorzystane zostały przy tym prawie wszystkie proste rezerwy związane ze zmianą ustroju. Dalsze podnoszenie dochodu musi odbywać się w dziedzinach niosących duży potencjał innowacyjny, a taką dziedziną jest fotonika. Nadszedł czas na strategiczne posunięcia rządu w tym kierunku. Warto przy tym zaznaczyć, że fotonika odznacza się bardzo wysoką stopą zwrotu wynikającą ze stosunkowo niskich nakładów inwestycyjnych na badania dając nadzieję na uzyskanie przez Polskę w wymienionych w podrozdziale 4.6.4 dziedzinach wiodącej roli w świecie, jako że ranga badań w tych dziedzinach prowadzonych przez dobrze zorganizowane krajowe środowisko naukowe jak również dynamika rozwoju polskich firm fotonicznych/optoelektronicznych uznawana jest przez środowiska naukowo-przemysłowe Europy.

W tym kontekście wydaje się wysoce pożądane opracowanie strategii rozwoju fotoniki w Polsce. Strategia ta przyczyniłaby się do integracji i koordynacji zarówno prac badawczo-rozwojowych jak i wdrożeniowych w wybranych obszarach fotoniki, w których polskie firmy typu MŚP mogłyby z powodzeniem konkurować na rynku globalnym.

Analiza prac badawczo-rozwojowych prowadzonych w zakresie fotoniki w Polsce pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- występuje olbrzymia koncentracja prowadzonych badań na uczelniach (ponad 70 proc. potencjału badawczego) przy niewielkiej ich ilości w firmach i instytutach badawczych; w Europie Zachodniej proporcje są odwrotne a w USA tylko 15 proc. badaczy pracuje na uczelniach;
- w pracach prowadzonych na uczelniach w dziedzinie fotoniki podejmowana jest przede wszystkim tematyka badawcza związana z pracami doktorskimi i habilitacyjnymi i dająca się zrealizować bez kosztownej bazy technologicznej, głównie w zakresie przyrządów fotonicznych i aparatury metrologicznej (włączając w to czujniki) a tylko wyjątkowo prac technologicznych (18 proc.);
- uzyskane wyniki badawcze i opracowania technologiczne są publikowane i to nie zawsze w najlepszych światowych czasopismach fotonicznych, natomiast są rzadko patentowane i jeszcze rzadziej wdrażane;
- uczelniana lokalizacja zespołów badawczych powoduje olbrzymie rozdrobnienie tematyki i niechęć do tworzenia konsorcjów uczelnia-przedsiębiorstwo dające olbrzymie korzyści, jak to widać na pozytywnym przykładzie WAT-VIGO S.A..

Nie oznacza to, że przy odpowiedniej organizacji finansowania badań fotonicznych nie będzie można wykorzystać potencjału tkwiącego w kilkudziesięciu

zespołach prowadzących w Polsce badaniach w zakresie fotoniki, bowiem, prócz jednostkowych osiągnięć omówionych w podrozdziale 4.6.3, kilkanaście zespołów jest rozpoznawalnych w świecie naukowym, ale jak na razie nie na tyle, aby być dostrzeżonym przez światowe koncerny fotoniczne, jak również przez recenzentów przyznających polskim badaczom tylko sporadycznie granty Unii Europejskiej.

Jednym z działań organów rządowych odpowiedzialnych za rozwój i innowacyjność przemysłu w Polsce, zmierzających do poprawy opisanej wyżej sytuacji, powinno być powołanie Narodowego Centrum Badań Fotonicznych (NCBF). Zadaniem NCBF w pierwszym etapie działania byłaby konsolidacja i koordynacja konsorcjów fotonicznych grup badawczych wokół tematów uznanych za strategiczne i omówionych w niniejszym opracowaniu. Na dalszym etapie badania należałoby dążyć do stworzenia własnych laboratoriów badawczych realizujących strategiczne – z punktu widzenia rozwoju gospodarki krajowej – tematy prac badawczych przy współpracy z rozproszonymi laboratoriami uczelnianymi, przemysłowymi i resortowymi, i innymi badawczymi, w tym Polskiej Akademii Nauk, a także przy udziale firm uczestniczących w badaniach i przygotowanych do wprowadzenia niszowych opracowań na rynek krajowy i światowy.

Roczny budżet NCBF mógłby być na początkowym etapie rządu 25–30 mln złotych, aby następnie rosnąć wraz ze zdobywaniem funduszy w postaci dużych strategicznych grantów krajowych i europejskich. Powstanie laboratoriów własnych Centrum mogłoby odbywać się stopniowo, ponieważ badania fotoniczne nie wymagają – jak dotąd – dużych nakładów na infrastrukturę lokalową i aparaturę.

Konieczność powstania NCBF wynika nie tylko z względnego opóźnienia rozwoju cywilizacyjnego Polski, zwłaszcza na styku nauka – firmy wdrożeniowe, ale również z faktu, iż fotonika w programach Unii Europejskiej jest jednym z 5 głównych kierunków priorytetowych, na którą w kolejnych programach ramowych będą przeznaczane coraz większe środki finansowe. Efektywne wykorzystanie tych środków będzie coraz bardziej utrudnione, jeśli nie niemożliwe zarówno przez rozproszone zespoły badawcze jak i bez utworzenia pod kierunkiem NCBF trwałych konsorcjów (uczelnie-firmy innowacyjne) skupionych wokół tematów ważnych nie tylko z punktu widzenia nauki ale przede wszystkim innowacyjnej gospodarki.

Inną barierą, która jest dostrzegana w krajach posiadających już rozwinięty przemysł fotoniczny, jest zauważalny brak dopływu wysokokwalifikowanych kadr mogących sprostać opracowywaniu i wdrażaniu szybko powstających innowacji. W Polsce dodatkowym problemem jest też fakt, że wykształceni fotonicy nie znajdują zatrudnienia w swojej dziedzinie, nawet w Warszawie i okolicy grupującej około połowy firm fotonicznych działających w Polsce (po wykluczeniu montowni ekranów telewizyjnych i monitorów). Jednocześnie są poszukiwanymi pracownikami w laboratoriach i firmach Europy Zachodniej, Stanów Zjednoczonych i Kanady.

Przewidując, że w dłuższym okresie czasu zapotrzebowanie na fotoników w Polsce znacznie wzrośnie, Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej, jako pierwszy w Polsce powołał kierunek studiów Fotonika. Kształcenie w zakresie fotoniki wymaga jednak wsparcia ze strony rządu, bowiem do tej pory kształcenie w zakresie fotoniki i optoelektroniki nie znalazło się na liście kierunków zamawianych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego mimo preferencji ze strony Unii Europejskiej dla tego działu nauki i gospodarki.

6. Scenariusze rozwoju technologicznego i konkurencyjne obszary technologiczne w polach badawczych przemysłu energetycznego

6.1. Czyste technologie węglowe

6.1.1. Znaczenie rozwoju czystych technologii węglowych dla polskiej gospodarki. Z uwagi na posiadanie przez Polskę, uważanych za bardzo bogate, zasobów węgla kamiennego i brunatnego oraz długie tradycje produkcji węgla, kontynuowane zwłaszcza na Górnym Śląsku, właśnie na węglu oparto bezpieczeństwo energetyczne kraju. Do końca lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku oddano do eksploatacji w polskiej elektroenergetyce turbozespoły o łącznej mocy około 24,5 GW (na około 31,1 GW eksploatowanych obecnie – rok 2008) oraz węglowe kotły energetyczne o wydajności około 88,3 tys. t/h (na około 106,4 tys. t/h eksploatowanych obecnie – rok 2008). Obecnie w Polsce aż 95 proc. energii elektrycznej pochodzi z tego surowca, co znacznie przewyższa średnią światową (w skali globalnej 25 proc.). Pod tym względem jesteśmy potentatem. Produkcja energii pochodzącej z elektrowni węglowych stała się solidną podstawą rozwoju polskiej gospodarki i awansu cywilizacyjnego społeczeństwa.

W nadchodzących dekadach węgiel będzie nadal w Polsce, jak i wielu innych krajach świata, szeroko stosowany, na co ma wpływ jego dostępność, rozwinięta infrastruktura oraz wzrost cen i popytu na energię. Jednak jak wskazują badania Międzyrządowego Panelu ONZ ds. Zmian Klimatu (IPCC), spalanie węgla jest najważniejszym czynnikiem powodującym globalne ocieplenie z wszystkimi negatywnymi skutkami. Stąd w krajach, w których węgiel stanowi ważny składnik bilansu energetycznego, podjęto intensywne prace nad rozwojem technologii mających na celu zmniejszenie szkodliwego wpływu produkcji energii z węgla na środowisko.

Proponowane przez ekologiczną Fundację Bellona rozwiązania prowadzące do ograniczenia emisji dwutlenku węgla obejmują technologie niskoemisyjne, zero emisyjne, a nawet technologie pochłaniające CO₂ z atmosfery (*carbon-negative energy*). Zaawansowane są prace nad technologią bloku gazowo-parowego ze zin-

tegowanym zgazowaniem paliwa (IGCC) czy technologii wychwytywania i składowania dwutlenku węgla (CCS). W tym ostatnim przypadku Polsce sprzyjają dobre warunki geologiczne. Zwiększa to szanse polskich projektów na dotacje Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Programu Flagowego na rzecz Technologii CCS i z puli Europejskiego Programu Energetycznego na rzecz Naprawy Gospodarczej (*European Energy Programme for Recovery, EEPR*).

Czyste Technologie Węglowe (CTW) to obszar tematyczny, który w zakresie rozwoju technologii obejmuje zarówno technologie konwersji energii chemicznej zawartej w węglu na inne formy energii, jak i technologie, które mają minimalizować zmiany w środowisku, będące skutkiem wydobycia i wykorzystania węgla, w tym – obok zmniejszenia emisji dwutlenku węgla – minimalizować ilość wydzielanych odpadów, a także pozwalać efektywniej użytkować zasoby węgla z uwzględnieniem zasad zrównoważonego ich wykorzystania. Rozwój CTW będzie prawdopodobnie w przyszłości warunkował dalsze wykorzystanie węgla w energetyce.

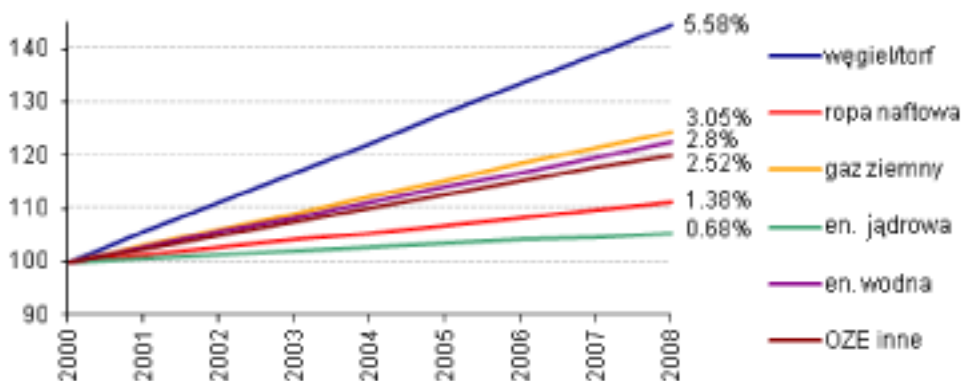
W trakcie prac prowadzonych w ramach realizowanego projektu, uwzględnieniem jego horyzont czasowy, za priorytetowe dla Polski technologie CTW uznano:

- technologię kotła pyłowego: podwyższone parametry nadkrytyczne, np. 250 bar 600/610°C,
- technologię kotła pyłowego: parametry ultranadkrytyczne, np. 350 bar 700/700°C,
- technologię kotła fluidalnego atmosferycznego podkrytycznego, np. 170 bar 570/570°C,
- technologię kotła fluidalnego ze złożem cyrkulacyjnym – CFB, np. 280 bar 600/600°C,
- technologię spalania w tlenie (oxy-combustion – retrofit),
- technologię spalania w tlenie CFB Oxy-combustion,
- technologię przeróbki węgla/technologie głębokiego wzbogacania węgla na potrzeby wytwarzania ciepła i energii elektrycznej,
- technologię zgazowania powietrznego (air-blown),
- technologię zgazowania tlenowego (oxygen-blown),
- wysokotemperaturowe reaktory gazowe, moduły 100–300 MW, także do użycia ciepła w technologiach upłynniania i gazyfikacji węgla,
- współspalanie pośrednie biomasy z wykorzystaniem reaktora zgazowania,
- współspalanie pośrednie z wykorzystaniem przedpaleniska
- współspalanie bezpośrednie biomasy z węglem,
- zgazowanie węgla z karbonatyzacją,
- koksowanie węgla,
- ogniwa paliwowe węglowe,
- technologie CCS.

6.1.2. Kierunki rozwoju czystych technologii węglowych w technice światowej.

W opisie kierunków rozwoju CTW należy wyróżnić dwa konteksty – światowy i unijny (czyli determinujący ich rozwój w Polsce). W pierwszym wypadku można mówić o rozwoju CTW, w całym ich obszarze tematycznym. W drugim – występuje wyraźne przesunięcie akcentu na CCS (Carbon Capture & Storage – Wychwytywanie i Składowanie CO₂) przy równoczesnym podkreślaniu celu, jakim ma być dekarbonizacja sektora wytwarzania energii i docelowo innych sektorów przemysłowych. Wynika to z realizacji przez Unię Europejską (UE) specyficznej, w porównaniu do reszty świata, polityki energetycznej. Jej priorytetem jest przeciwdziałanie zmianom klimatycznym, za których główną przyczynę uznaje się antropogeniczne emisje gazów cieplarnianych, zwłaszcza CO₂. Polityka ta została zapisana w dokumentach strategicznych i prawnych UE. Nieco odmienne znaczenie i rolę CTW w skali świata i w UE obrazują poniższe dane.

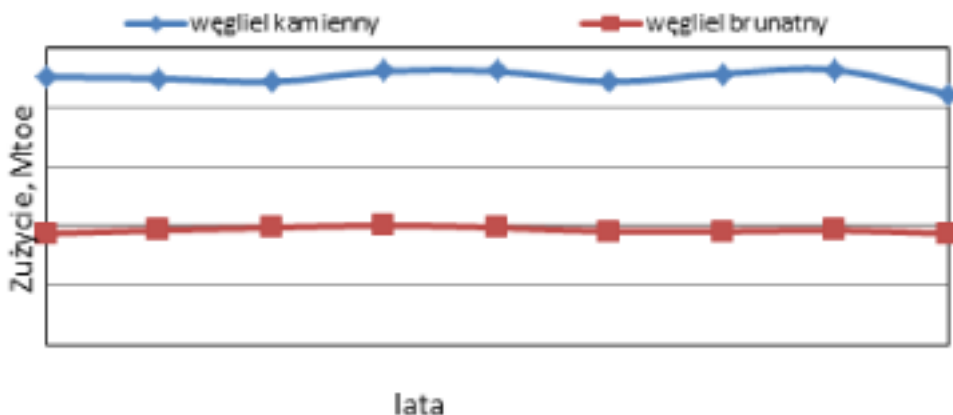
Na rysunku 6.1 zamieszczono informacje o rocznym przyroście zapotrzebowania na poszczególne nośniki energii w skali świata, które zanotowano między latami 2000 i 2008 [wg. OECD/IEA. *World Energy Outlook 2010*]. Jak widać najbardziej dynamiczny wzrost zapotrzebowania dotyczy węgla i torfu. W liczbach bezwzględnych, wg EURACOAL'u [raport: *Coal Industry across Europe 2011*], w latach 2000 – 2010 wzrost zapotrzebowania na węgiel w świecie wyniósł ponad 1,7 mld ton ekwiwalentu węgla, przy wzroście zapotrzebowania na inne, w tym odnawialne, nośniki energii wynoszącym w tym samym czasie 2,3 mld ton ekwiwalentu węgla – z tego wszystkie OZE 0,5 mld ton ekwiwalentu węgla. Głównymi „sprawcami” tak znaczącego wzrostu zużycia węgla w świecie są Chiny i Indie.



Rys. 6.1. Roczny przyrost zapotrzebowania na nośniki energii pierwotnej w skali świata w latach 2000–2008. Rok 2000=100 proc. [wg OECD/IEA WEO 2010]

W tym samym czasie w UE zużycie węgla utrzymywało się na prawie tym samym poziomie, bez widocznej tendencji wzrostu, jaki zaobserwowano w skali świata – patrz rysunek 6. 2.

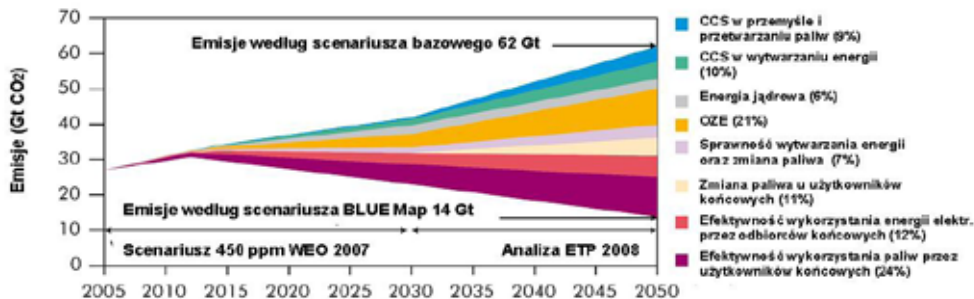
W UE o podejściu do zużycia węgla w energetyce i przemyśle decydują głównie przyjęte regulacje prawne (pakiet klimatyczny z Polityką 3*20) oraz promowanie polityki świadomie starającej się stawiać UE w pozycji światowego lidera rozwoju technologii prośrodowiskowych, w tym zmniejszających wpływ antropogenicznych emisji gazów cieplarnianych na zmiany klimatu.



Rys. 6.2. Kształtowanie się zużycia węgla kamiennego i brunatnego w UE-27 w latach 2000–2008 [Eurostat]

Według dokumentu *Roadmap 2050* przygotowanego przez European Climate Foundation, do 2050 r. w krajach Unii Europejskiej jest możliwe zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 80 proc. Ten i inne dokumenty [*Energy Technologies Perspectives 2010 – Scenarios & Strategies to 2050*, OECD/IEA 2010] pozwoliły postawić tezę o możliwości dekarbonizacji gospodarki UE w tym wieku. W ostatnim wymienionym dokumencie dokonano również kwantyfikacji udziału poszczególnych sposobów redukcji emisji CO₂ w szacowanym całkowitym globalnym potencjale redukcji emisji, ocenianym na około 48 Gt, dla roku 2050 (różnica emisji między prognozą bazową a scenariuszem Blue Map).

W odniesieniu do CTW ich łączny udział w redukcji emisji ma wynieść 36 proc., a ma się na to składać wdrożenie dwóch grup technologii: CCS w energetyce i przemyśle oraz poprawa sprawności wytwarzania energii wraz ze zmianą paliwa (*fuel switching*).



Rys. 6.3. Porównanie prognoz emisji CO₂ scenariusza bazowego z World Energy Outlook 2007 ze scenariuszem BLUE Map, 2005–2050 [12.5]

Kolejne Konferencje Stron Ramowej Konwencji w sprawie zmian klimatu (COP), jak na razie nie przynoszą rezultatu w postaci dokumentu kontynuującego postanowienia protokołu z Kyoto, będącego w chwili obecnej jedynym wiążącym globalnym aktem prawnym w sprawie redukcji emisji gazów cieplarnianych i wpływającym na rozwój CTW.

Kierunki rozwoju CTW wydają się nie do końca być spójne z politykami, czy to w skali europejskiej czy też światowej. Pomimo tego, że największy potencjał redukcji emisji CO₂ tkwi w technologii CCS, to mimo wszystko, należy w chwili obecnej mówić o pewnym wyhamowaniu działań wokół tej technologii. Mowa tu o opóźnianiu się, czy też rezygnacji z projektów demonstracyjnych CCS w dużej skali przemysłowej. Dotyczy to zarówno UE (RWE, elektrownia Longannet należąca do Scottish Power), jak i reszty świata.

Z drugiej strony obserwuje się wzmożone prace nad CTW, wynikające z wymogów ekonomicznych i ciągłego rozwoju technicznego, np. poprawa sprawności konwersji, co przekłada się oprócz zmniejszenia emisji również na zmniejszenie kosztów produkcji energii, a przy okazji wpisuje się w ideę zrównoważonego rozwoju – lepsze, sprawniejsze wykorzystanie zasobów. Tematowi poprawy sprawności służy również inicjatywa Międzynarodowej Agencji Energetycznej – IEA) opracowania nowej mapy drogowej dla węgla: *High Efficiency, Low Emissions Coal Technology Roadmap*. Ma ona określić i zidentyfikować:

- kolejne „kamienie milowe” rozwoju technologii węglowych dla wytwarzania energii do 2050 r.,
- techniczne, ekonomiczne, polityczne i inne wpływy ważne z punktu widzenia wytwarzania energii elektrycznej z węgla,
- regionalne uwarunkowania ścieżek rozwoju technologii węglowych, zwłaszcza dla krajów, największych użytkowników węgla.

W tej mapie drogowej zamierza się określić potencjał redukcji emisji gazów cieplarnianych i innych zanieczyszczeń, a także potencjał zmniejszenia zużycia węgla w wyniku wzrostu sprawności konwersji. Wizja opracowana dla CTW mapy drogowej mówi o następujących celach i etapach działań i wdrażania technologii:

■ Etap pierwszy (do 2030 r.)

1. wdrożenie technologii kotłów pracujących na parametry ultranadkrytyczne,
2. likwidacja starych bloków o niskiej sprawności,
3. zmiana paliwa z węglowego na gaz i odnawialne nośniki energii (*fuel switching*), w celu redukcji emisji CO₂ określonego na około 20 Gt do 2050 r.

Działania te mają zagwarantować osiągnięcie około 75 proc. wartości przyjętego celu.

■ Etap drugi (po 2030 r.)

1. po wykazaniu dojrzałości technicznej CCS i zmniejszeniu kosztów CCS rozpoczęcie wyposażania elektrowni w instalacje CCS; w pierwszej kolejności nowych instalacji, w dalszej kolejności starych),
2. w celu redukcji emisji CO₂ określonego na około 20 Gt do 2050 r., te działania mają zagwarantować osiągnięcie około 25 proc. wartości przyjętego celu.

Do najważniejszych kierunków rozwoju czystych technologii węglowych w świecie można zaliczyć:

- Rozwój technologii kotłów pyłowych w kierunku podwyższenia parametrów pary technologicznej,
- Rozwój technologii spalania w cyrkulacyjnym łożu fluidalnym
- Rozwój technologii zgazowania (tlenowego i powietrznego) węgla z kierunkiem wykorzystania dla potrzeb cyklu kombinowanego zintegrowanego ze zgazowaniem węgla (IGCC),
- Rozwój technologii ograniczanie emisji gazów cieplarnianych na drodze wychwytywania i składowania CO₂,
- Rozwój technologii współspalania biomasy,
- Poprawa jakości węgla przed spalaniem.

Szczegółowy opis tych technologii i stan prac badawczo-rozwojowych związanych z ich rozwojem został przedstawiony w raporcie z realizacji Projektu. Biorąc pod uwagę osiągnięte już w trakcie tych prac wyniki, najbardziej obiecujących rezultatów w przyjętym w projekcie horyzoncie czasowym (do 10 lat) można spodziewać się w zakresie:

- technologii kotłów pyłowych, pracujących na parametry nadkrytyczne, jako standard odbudowy mocy,
- technologii kotłów pyłowych na parametry ultra nadkrytyczne, jako standard budowy nowych mocy na węglu kamiennym,
- technologii poprawy jakości węgla kamiennego i brunatnego (zmniejszenie zawartości wilgoci),
- technologii kotłów fluidalnych cyrkulacyjnych, pracujących na parametry nadkrytyczne,
- technologii tlenowego zgazowania węgla (głównie pod kątem poligeneracji – IGCC),
- technologii spalania węgla w atmosferze wzbogaconej tlenem,
- technologii współspalania węgla z biomasą,
- prac geologicznych mających na celu rozpoznanie miejsc składowania CO₂, z uwzględnieniem monitoringu zeskładowanego gazu.

6.1.3. Stan obecny i perspektywy rozwoju czystych technologii węglowych w Polsce. Polska pomimo wyjątkowo dużego udziału węgla w bilansie energetycznym, zwłaszcza do produkcji energii elektrycznej, nie jest liderem rozwoju CTW. Można wskazać trzy zasadnicze przyczyny takiego stanu rzeczy:

- wpływ zmian gospodarczych w kraju – restrukturyzacja przemysłu, brak stymulatorów i mechanizmów wdrażania tego typu rozwiązań,
- mały udział wydatków na B+R w PKB (około 0,65 proc.),
- brak (do niedawna) ogólnokrajowego programu badań i wdrożeń CTW.

Prace B+R z zakresu CTW były rozproszone i polegały na realizacji projektów o różnym charakterze, w różnych ośrodkach, w ramach różnych mechanizmów finansowania badań (od krajowych po europejskie i inne). Pomimo tego Polska całkiem dobrze poradziła sobie z dostosowaniem energetyki i kilku innych sektorów przemysłowych do wymogów regulacji unijnych (technologie ograniczania emisji). Ważniejsze technologie, jak np. mokre odsiarczanie spalin były jednak technologiami z importu.

W chwili obecnej w wyniku wdrożenia programu strategicznego „Zaawansowane technologie pozyskania energii”, w ramach Krajowego Programu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych, prace badawczo – rozwojowe w kraju w zakresie CTW skoncentrowano na opracowaniu i rozwoju czterech technologii:

- technologii dla wysokosprawnych, „zero-emisyjnych” bloków węglowych zintegrowanych z wychwytem CO₂ ze spalin,
- technologii spalania tlenowego dla kotłów pyłowych i fluidalnych zintegrowanych z wychwytem CO₂,

- technologii zgazowania węgla dla wysokoefektywnej produkcji paliw i energii elektrycznej,
- zintegrowanych technologii wytwarzania paliw i energii z biomasy, odpadów rolniczych i innych.

6.1.4. Konkurencyjne obszary technologiczne. Za kluczowe, w perspektywie bieżącej i przyszłych dekad, i konkurencyjne w skali światowej eksperci biorący udział w ankiecie Delphi oraz w pracach warsztatowych zespołu eksperckiego uznali

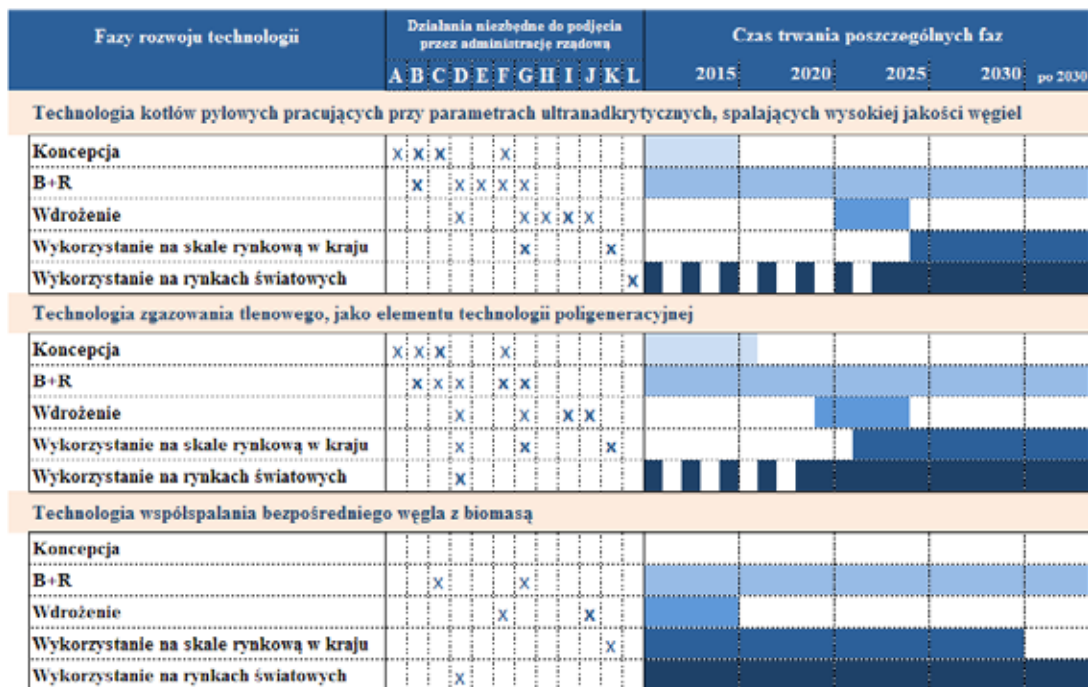
- **technologię kotła pyłowego pracującego przy parametrach ultranadkrytycznych, spalającego wysokiej jakości węgiel,**
- **technologię zgazowania tlenowego, jako elementu technologii poli-generacyjnej,**
- **technologię współspalania bezpośrednie biomasy z węglem.**

Na rysunku 6.3 przedstawiono zestawienie map drogowych CTW wraz ze wskazaniem niezbędnych działań w celu wsparcia ich rozwoju na poszczególnych fazach.

Koncepcja **technologii kotłów pyłowych pracujących przy parametrach nadkrytycznych** narodziła się już kilka dekad temu. Główne przyczyny jej opóźnionego rozwoju to problemy inżynierii materiałowej. W świecie eksploatowanych jest kilka instalacji – pełnią one wciąż w zasadzie rolę instalacji pilotowych. Prace badawcze trwają w tym temacie od wielu lat. W Polsce kamieniem milowym tych prac jest wymieniony w podrozdz. 6.1.4 program strategiczny. Wymagane jest utrzymanie ciągłości prac B+R nad tą technologią. Zakłada się, że skuteczne przełamanie barier materiałowych zajmie jeszcze przynajmniej dekadę. Wdrożenie tej technologii w Polsce jest spodziewane po 2020 r. Początkowo w małym stopniu – jedna, dwie instalacje. Dalsze wdrażanie technologii niepewne i silnie zależne od rozwoju polityki klimatycznej UE. Zachodzi tu silna synergia z technologią CCS.

Zdaniem ekspertów moc kotłów pyłowych pracujących przy parametrach nadkrytycznych, spalających węgiel wysokiej jakości będzie stale wzrastać i szacuje się, że w roku 2030 osiągnie ok. 3 GW (rysunek 6.4).

Technologia ta obecnie znajduje się w fazie koncepcji i zmierza do fazy badań i prac nad jej rozwojem. Głównymi działaniami ze strony administracji rządowej, które wspomogą te procesy jest tworzenie instrumentów finansowych przeznaczonych dla sektora badawczego i przedsiębiorstw na prowadzenie badań a także wspieranie sieci współpracy pomiędzy nauką i biznesem. Należy mieć jednak na uwadze, że perspektywa wdrożenia ww. technologii jest odległa i zdaniem ekspertów nastąpi to po 2020 roku. Działaniami, które wspomogą wdrażanie kotłów są projekty pilotażowe dofinansowane przez państwo. Dodatkowo stosowanie zachęt



Legenda:

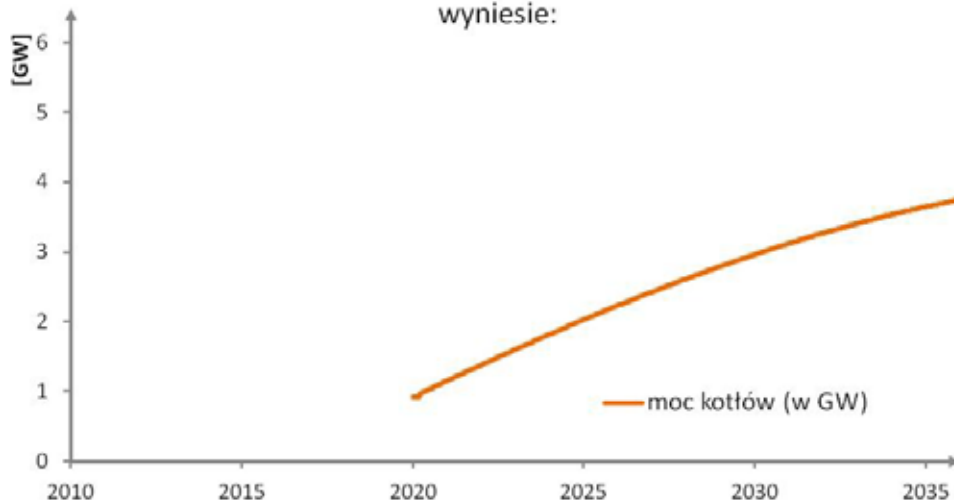
- A** Dofinansowanie infrastruktury badawczej
- B** Tworzenie instrumentów finansowych przeznaczonych dla sektora badawczego i przedsiębiorstw na prowadzenie badań
- C** Wpieranie sieci współpracy między nauką a biznesem
- D** Zapewnienie wsparcia pozafinansowego (np. tworzenie infrastruktury, sieci współpracy, promocja) na rozwój technologii
- E** Dostosowanie/zmiana/uśrednianie szkolnictwa zawodowego i wyższego
- F** Wsparcie poprzez przyjęcie programu lub polityki działań w zakresie rozwoju danej technologii
- G** Działania legislacyjne
- H** Tworzenie instrumentów finansowych przeznaczonych bezpośrednio dla sektora przedsiębiorstw na wdrażanie i komercjalizację technologii
- I** Wsparcie projektów pilotażowych w ramach kluczowych i niszowych technologii celem określenia ich wartości dodanej dla gospodarki i społeczeństwa
- J** Wprowadzenie odpowiednich instrumentów fiskalnych wsparcia wdrożenia komercyjnego (kredyty, podatki, dotacje)
- K** Stosowanie zachęt dla przedsiębiorców w celu wdrażania przez nich innowacyjnych rozwiązań
- L** Zastosowanie instrumentu zamówień publicznych oraz zamówień przedkomercyjnych na produkty i usługi - sektor publiczny jako główny klient

Rys. 6.3. Mapy drogowe technologii CTW wraz ze wskazanymi działaniami niezbędnymi do podjęcia przez administrację rządową w podziale na poszczególne fazy życia technologii

dla przedsiębiorców, podjęcie działań legislacyjnych oraz wsparcie pozafinansowe może przyczynić się do wykorzystania tej technologii na skalę rynkową w kraju jak i na świecie. Mapa drogowa wraz ze wskazaniem niezbędnych działań w celu wsparcia jej rozwoju w poszczególnych fazach została przedstawiona na rysunku 6.3.

Koncepcja **technologii zgazowania tlenowego** jest dobrze znana. Ograniczeniem jej stosowania są koszty technologii w porównaniu z kosztami technologii konkurencyjnych, w zależności od celów zgazowania: (syngaz) gazu ziemnego, (coal to liquid) ropy naftowej. Poligeneracja w oparciu o zgazowania węgla jest również zaawansowana pod względem koncepcyjnym – istnieje kilka instalacji pilotowych. Prace badawcze nad opracowaniem tej technologii trwają od wielu lat

Moc kotłów pyłowych pracujących przy parametrach ultranadkrytycznych, spalających wysokiej jakości węgiel wyniesie:



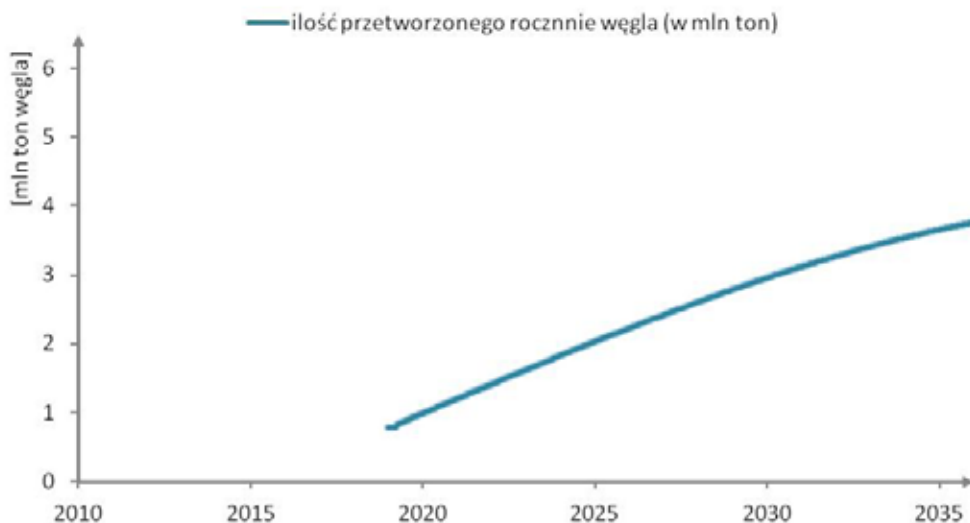
Rys. 6.4. Krzywa rozwoju technologii kotła pyłowego pracującego przy parametrach ultranadkrytycznych, spalającego wysokiej jakości węgiel

i wymagają kontynuacji. Jej wdrożenie jest spodziewane po 2020 r. Początkowo w małym stopniu – jedna, dwie instalacje.

Przewiduje się, że ilość przetwarzanego węgla w technologii zgazowania tlenowego do roku 2020 roku osiągnie poziom ok. 1 mln ton, po roku 2030 aż 4 mln ton, co sugeruje gwałtowny rozwój tej technologii (Rysunek 6.5). Zgodnie z opinią ekspertów, po roku 2020 technologia ta osiągnie fazę wykorzystywania na skalę rynkową w kraju i na świecie. Rekomendowanymi działaniami niezbędnymi do osiągnięcia tego stanu są:

- wspieranie sieci współpracy między nauką i biznesem,
- tworzenie instrumentów finansowych przeznaczonych dla sektora badawczego i przedsiębiorstw na prowadzenie badań,
- wsparcie poprzez przyjęcie programu lub polityki działań w zakresie rozwoju danej technologii,
- działania legislacyjne,
- wsparcie projektów pilotażowych,
- wprowadzenie odpowiednich instrumentów fiskalnych wsparcia wdrożenia komercyjnego (kredyty, podatki, dotacje),
- stosowanie zachęt dla przedsiębiorców w celu wdrażania przez nich innowacyjnych rozwiązań,
- zapewnienie wsparcia pozafinansowego.

W technologii zgazowania tlenowego, jako elementu technologii poligeneracyjnej, będzie rocznie przetwarzane:



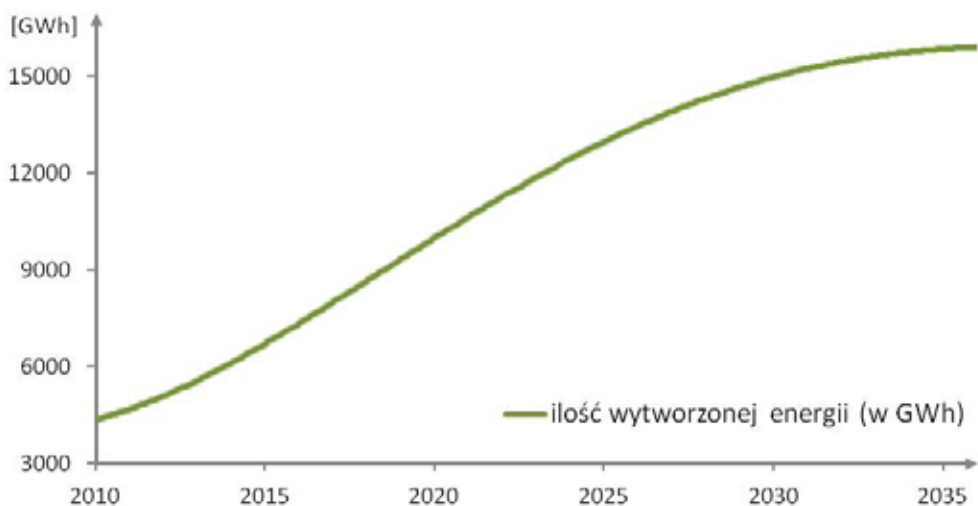
Rys. 6.5. Krzywa rozwoju technologii zgazowania tlenowego jako element technologii poligeneracyjnej

Mapa drogowa ww. technologii wraz ze wskazaniem niezbędnych działań w celu wsparcia jej rozwoju w poszczególnych fazach została przedstawiona na rysunku 6.3.

Technologia współspalania bezpośredniego węgla i różnego rodzaju biomasy jest już w Polsce realizowana na skalę przemysłową. Elektrownie i elektrociepłownie uzyskują z tego tytułu dodatkowe przychody związane z „zielonymi certyfikatami”. Ta technologia w związku z tym może już być zaliczona jako technologia wykorzystywana na skalę rynkową. Kierunki rozwoju – osiągnięcie wyższych udziałów biomasy w paliwie podawanym do kotła oraz poprawa „jakości” biomasy. Działanie towarzyszące, stworzenie spójnego, stabilnego systemu wspomagającego współspalanie biomasy z węglem (uprawa roślin, przygotowane biomasy, itp.).

Szacuje się, że w obecnie ilość wyprodukowanej energii przy użyciu technologii bezpośredniego spalania węgla z biomasą wynosi ponad 4000 GWh. Należy również zauważyć, iż ilość ta będzie systematycznie wzrastać, a w roku 2030 osiągnie poziom 15000 GWh. Rozwój tej technologii powinien zostać wsparty głównie poprzez wprowadzenie odpowiednich instrumentów fiskalnych mających na celu wdrożenie komercyjne (kredyty, podatki, dotacje). Mapa drogowa wraz ze wskazaniem niezbędnych działań w celu wsparcia jej rozwoju w poszczególnych fazach została przedstawiona na rysunku 6.3.

W procesach współspalania bezpośredniego biomasy z węglem, produkcja energii elektrycznej z biomasy wyniesie:



Rys. 6.6. Krzywa rozwoju technologii współspalania bezpośredniego biomasy z węglem

6.1.5. Wnioski i rekomendacje. W zarysowanym horyzoncie czasowym 3–10 najbliższych lat, można zidentyfikować wspólne szanse, bariery i zagrożenia rozwoju dla wszystkich „polskich technologii”, jak i specyficzne dla poszczególnych z nich. Przyjęty horyzont czasowy eliminuje jednak z analizy wiele szans, barier i zagrożeń dla rozwoju tych technologii w bardziej odległym okresie. Do nich należą: doprowadzenie do przemysłowej eksploatacji gazu ziemnego ze złóż niekonwencjonalnych (wskazuje się, że nastąpi to po 2020 roku), ograniczony (pod względem geologicznym oraz ekonomicznym) dostęp do krajowych zasobów węgla kamiennego, czy też wdrożenie technologii CCS ze składowaniem CO₂ na lądzie przy racjonalnie obniżonych kosztach tej technologii oraz zagwarantowaniu jej bezpieczeństwa dla środowiska, biosfery i zamieszkujących ją organizmów żywych.

Zestawienie głównych szans, zagrożeń i barier rozwoju CTW zostały zebrane w tabeli 6.1.

Charakterystyczne, że wśród zagrożeń większość ekspertów nie wskazała braku akceptacji społecznej (poniżej 20 proc. wskazań), co można rozumieć, jako generalny brak sprzeciwu wobec rozwoju CTW. Pewnym wyjątkiem jest współspalanie biomasy z węglem. Dotychczasowe wdrażanie tej technologii nie obeszło się bez zgrzytów, np. polegających na konkurencji między energetyką a przemysłem drzewnym oraz wstrzymaniem dopłat do upraw energetycznych. Oznacza to też

Tabela 6.1. Zestawienie szans, barier i zagrożeń dla CTW (ogólnie) oraz technologii kluczowych

Technologia	Szanse	Barieri	Zagrożenia
Czyste technologie węglowe – ogólnie	<ul style="list-style-type: none"> – kontynuacja polityki naukowej i zwiększanie udziału wydatków na sferę B+R w PKB kraju – przykład Programy strategiczne, – istniejący potencjał naukowy w zakresie CTW, – istniejący potencjał produkcyjny i projektowy w zakresie CTW, – istniejąca infrastruktura zaopatrzenia odbiorców krajowych w węgiel i know-how w zakresie wykorzystania węgla w energetyce i przemyśle, – znaczenie bezpieczeństwa energetycznego w polityce energetycznej UE, – nie malejąca rola węgla w gospodarce światowej 	<ul style="list-style-type: none"> – wieloletnie niedoinwestowanie sfery B+R w Polsce, – silna konkurencja światowa, – brak jednoznacznych regulacji prawnych – opóźniające się decyzje inwestycyjne – kryzys gospodarczy i zmniejszenie „zdolności” inwestycyjnych przemysłu, – konkurencja w dostępie do usług, surowców, materiałów koniecznych do wdrażania technologii, – wyzwania z zakresu inżynierii materiałowej, – dostępność wykwalifikowanych kadr 	<ul style="list-style-type: none"> – światowe porozumienie w kwestii polityki klimatycznej, – zaostrzone decyzje unijne dotyczące redukcji emisji gazów cieplarnianych, – przelom technologiczny w zakresie OZE, fuzji jądowej itp., – rosnąca konkurencja OZE, – silna konkurencja światowa w zakresie CTW, – silny rozwój technologii CTW w Chinach, – zaostrzone normy emisyjne dla energetyki i przemysłu w UE i regulacje dotyczące ochrony środowiska naturalnego
Technologia kotła pyłowego pracującego przy parametrach ultranadkrytycznych, spalającego wysokiej jakości węgiel	<ul style="list-style-type: none"> – doświadczenia krajowe z technologią pyłową, istniejący know-how 	<ul style="list-style-type: none"> – niski stopień wzbogacenia węgla energetycznego w Polsce 	<ul style="list-style-type: none"> – pogarszająca się jakość węgla surowego w krajowych kopalniach
Zgazowanie tlenowe, jako element technologii poligeneracyjnej		<ul style="list-style-type: none"> – koszt pozyskania tlenu, 	<ul style="list-style-type: none"> – Istniejące już w świecie instalacje pilotowe
Współspalanie bezpośrednie biomasy z węglem	<ul style="list-style-type: none"> – duży potencjał dostaw biomasy w Polsce 	<ul style="list-style-type: none"> – zbyt duża różnorodność biomasy, 	<ul style="list-style-type: none"> – konkurencja z innymi działami gospodarki, – nie do końca rozpoznany wpływ pozyskania niektórych rodzajów biomasy na cele energetyczne na biosferę.

dotąd, że potrzebne są odpowiednie spójne i trwałe działania legislacyjne normujące wyżej wymienione kwestie.

Reasumując można w wyniku przeprowadzonych badań i analiz można sformułować następujące rekomendacje, których spełnienie warunkuje tempo rozwoju CTW:

1. zwiększenie nakładów na badania naukowe,
2. wprowadzenie odpowiednich instrumentów fiskalnych,

3. wsparcie wdrożenia komercyjnego (kredyty, podatki, dotacje),
4. spójne i trwałe działania legislacyjne,
5. silne wsparcie przez władze krajowe i regionalne systemowej współpracy między sektorem B+R a przemysłem/przedsiębiorczością,
6. rozwijanie CTW w ramach regionalnej i krajowej specjalizacji technologicznej

6.2. Racjonalizacja gospodarowania energią

6.2.1. Racjonalizacja gospodarowania energią – kluczowe zadanie technologiczne współczesnej gospodarki. Racjonalizacja gospodarowania energią dotyczy użytkowania, magazynowania, przesyłu i dystrybucji energii oraz mediów w przemyśle, w sektorze gospodarstw domowych, usług i handlu. Energia zaoszczędzona jest najczystszy „źródłem” energii. Efektywność wykorzystania energii i zwrot w stronę odnawialnych źródeł uważa się za podstawę zrównoważonego rozwoju energetycznego. Efektywność energetyczna powinna być traktowana priorytetowo. Zwiększanie efektywności energetycznej pociąga za sobą powstawanie i wdrażanie w gospodarce rozwiązań innowacyjnych, co w konsekwencji powoduje szybszy rozwój gospodarczy, a w dłuższej perspektywie prowadzi do wzrostu konkurencyjności krajowej gospodarki i zwiększenia bezpieczeństwa energetycznego.

W oparciu o te przesłanki Unia Europejska kładzie duży nacisk na wdrażanie instrumentów wspierających poprawę efektywności energetycznej. Kolejne wymagania unijne, takie jak: pakiet 20/20/20, EBID2, EBID3 oraz intensywne prace nad nowymi regulacjami, np. 2011/0172 (COD)⁴, to olbrzymie wyzwania technologiczne dla krajów członkowskich, szczególnie nowo przyjętych. W celu sprostania tym wyzwaniom UE przeznacza znaczne środki na wdrażanie innowacyjnych rozwiązań, prowadzących do efektywnego wykorzystania i racjonalnego gospodarowania energią i surowcami.

Rozwój przemysłu w Unii Europejskiej wymaga przejścia do gospodarki niskoemisyjnej i efektywnej energetycznie a w konsekwencji do gospodarki minimalizującej zużycie paliw pierwotnych i surowców. Już od wielu lat w dokumentach unijnych podkreślana jest waga rozwoju i komercyjnego rozpowszechniania technologii, produktów oraz usług niskoemisyjnych i efektywnych pod względem zużycia zasobów naturalnych. Przejawia się to również poprzez kształtowanie polityki przemysłowej UE zgodnie z wymaganiem jej zrównoważenia. Szczególną uwagę Rada Europejska poświęciła energochłonnym sektorom przemysłu (*Komunikat KE: Przegląd śródkresowy polityki przemysłowej Wkład w strategię UE na rzecz wzrostu gospodarczego i zatrudnienia, COM (2007) 374*). Dobrym przykładem (nienaj-

lepszonych praktyk) są dyrektywy UE odnoszące się do standardu energetycznego budynków, konieczności sporządzania świadectw energetycznych, a także dotyczące efektywności wytwarzania i użytkowania paliw i energii.

Technologie racjonalnego gospodarowania energią są technologiami przyszłościowymi i należą do kluczowych czynników wspomagających politykę energetyczną UE. Szczególnie ważne są technologie związane z nowymi technikami wytwarzania energii, użytkowania paliw i energii w środkach transportu i gospodarstwach domowych oraz przechowywania rezerw paliw i nadwyżek energii (*Komunikat KE Przygotowanie się na przyszłość: opracowanie wspólnej strategii w dziedzinie kluczowych technologii wspomagających w UE – COM (2009) 512*).

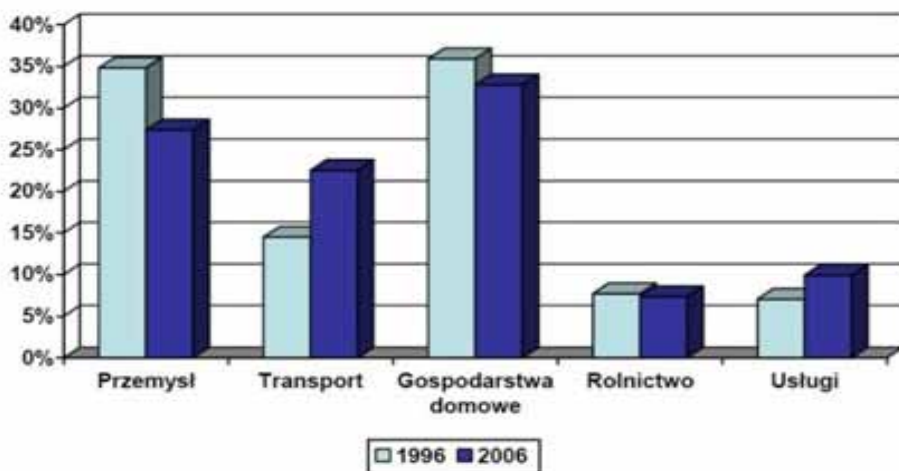
6.2.2. Kierunki rozwoju technologii w zakresie racjonalizacji gospodarowania energią. Prace badawczo-rozwojowe i wdrożenia innowacyjne w zakresie racjonalizacji gospodarowania w zostały w ostatnich latach ukierunkowane w wielu krajach świata na następujące obszary, uznane przez ekspertów uczestniczących w projekcie InSight 2030 za priorytetowe także dla polskiej gospodarki:

- energooszczędne oświetlenie domowe, zewnętrzne i oświetlenie ulic w tym systemy oświetleniowe wykorzystujące LED i OLED,
- rozwój systemów zarządzania energią w budynkach (BMS – Building Management Systems) – „inteligentny budynek”,
- budownictwo nowych budynków – pasywnych, zeroenergetycznych, energetycznych plus (zużycie energii < 15 kWh/m²*rok), w tym konstrukcje przegród budowlanych z wykorzystaniem materiałów izolacyjnych i elewacyjnych o wysokim oporze cieplnym,
- termomodernizacja budynków do poziomu zużycia energii budynków „niskoenergetycznych” i pasywnych,
- energooszczędne systemy grzewcze i przygotowania ciepłej wody użytkowej,
- słoneczne instalacje grzewcze i instalacje wytwarzania ciepłej wody użytkowej,
- energooszczędne AGD (np. lodówki z kamerą wewnętrzną, czytnikiem produktów, wykorzystanie funkcji grzania, itp.) oraz RTV, (CRT/PLAZMA/LCD), projektory,
- wdrożenie na skalę masową tzw. papieru elektronicznego,
- Smart Grid – inteligentne sieci dystrybucji energii elektrycznej,
- zmiany w stylu życia (praca zdalna, energooszczędne pranie, gotowanie, kąpiel, ograniczenie konsumpcji, telekonferencje, wyłączanie funkcji STANDBY oraz OFF-MODE, itp.),
- układy gazowo-parowe (CCGT),
- technologie wykorzystania energii odpadowej, w tym niskotemperaturowej energii odpadowej,
- technologie lekkich, przyjaznych środowisku, pojazdów,

- technologie zwiększające jakość i bezpieczeństwo dróg i zmniejszające opory ruchu,
- wykorzystanie biomasy do produkcji ciepła w małej i średniej skali (energetyczne wykorzystanie odpadów organicznych),
- elektroenergetyczne transformatory niskostratne,
- falownikowe układy do rozruchu i regulacji pracy silników elektrycznych,
- urządzenia elektrotermiczne o wysokiej sprawności (ujmuje urządzenia grzewcze stosowane w przemyśle),
- nowoczesne silniki ciepłne o wysokiej sprawności i niskiej emisji zanieczyszczeń,
- racjonalizacja przesyłu gazu przez zastosowanie nowego typu rurociągów oraz metod pomiaru szczelności.

Zdaniem ekspertów do działań priorytetowych powinno się zaliczyć wykorzystanie technologii budownictwa energooszczędnego (pasywne, plus energetyczne) w gospodarstwach domowych, które w wyniku zastosowania takiego nowoczesnego budownictwa zaobserwują zysk w postaci niższych kosztów ogrzewania i wytwarzania ciepłej wody a w powiązaniu z technologiami Smart Grid (inteligentnych sieci) niższych kosztów użytkowania energii elektrycznej.

6.2.3. Stan obecny i perspektywy rozwoju technologii racjonalizacji gospodarowania energią w Polsce. Najbardziej energochłonnymi sektorami polskiej gospodarki poza gospodarstwami domowymi i przemysłem są sektory budownictwa i transportu, dlatego też tak istotne jest podejmowanie działań w tych obszarach (rys. 6.7).



Rys. 6.7. Zużycie energii w poszczególnych sektorach gospodarki w Polsce (Źródło: GUS)

W Polsce aktualny stan rozwoju wybranych technologii racjonalizacji gospodarowania energią jest dość wysoki. Praktycznie możliwe jest:

- wybudowanie nowego lub termomodernizacja istniejącego obiektu budowlanego do poziomu budynku pasywnego a nawet plus-energetycznego,
- konstrukcja samochodu zużywającego znacznie mniej materiałów (surowców) niż samochody współczesne; budowa energooszczędnych środków komunikacji,
- produkcja energooszczędnych urządzeń AGD, RTV i oszczędne w zużyciu wody i energii zachowania większości społeczeństwa.

Istotnym czynnikiem ograniczającym wykorzystanie tych technologii są koszty inwestycyjne.

Nadanie technologiom kluczowym wysokiej rangi poprzez regulacje prawne, mechanizmy wsparcia finansowego i zwiększanie świadomości społecznej powinno w interakcji rozwinąć popyt a w następnej kolejności rozwój i podaż technologii racjonalizujących użytkowanie paliw i energii. Zwiększenie podaży przez przedsiębiorstwa dysponujące technologiami (materiały, urządzenia, itp.) umożliwiającymi racjonalizowanie użytkowania paliw i energii oraz zwiększenie liczby tych technologii powinno spowodować obniżenie kosztów budowy nowych domów „energooszczędnych” (pasywnych, plus-energetycznych) lub głęboką termomodernizacji istniejących budynków oraz obniżenie cen energooszczędnych pojazdów i energooszczędnych urządzeń AGD i RTV.

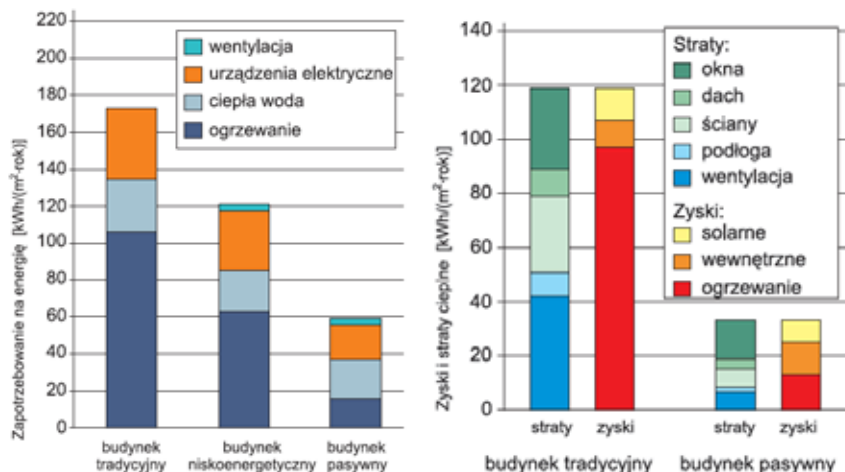
Rozwiązania technologiczne mające na celu racjonalizację gospodarowania energią stworzą dużą szansę na zapewnienie zrównoważonego rozwoju polskiej gospodarki.

6.2.4. Obszary konkurencyjne. Badania przeprowadzone w ramach projektu InSight 2030 wskazują, że konkurencyjnymi obszarami technologicznymi w zakresie ograniczania zużycia surowców, paliw i energii są:

- budownictwo pasywne, zeroenergetyczne, energetyczne plus oraz termomodernizacja budynków do poziomu zużycia energii budynków „niskoenergetycznych” i pasywnych,
- energooszczędne AGD (np. lodówki z kamerą wewnętrzną, czytnikiem produktów, wykorzystanie funkcji grzania, itp.) oraz RTV, (CRT/PLAZMA/LCD), projektory,
- technologie lekkich, przyjaznych środowisku pojazdów.

W obszarze **budownictwa pasywnego, zeroenergetycznego, energetycznego plus i termomodernizacji** budynków do poziomu zużycia budynków „niskoenergetycznych” i pasywnych zawierają się kompleksowe rozwiązania kon-

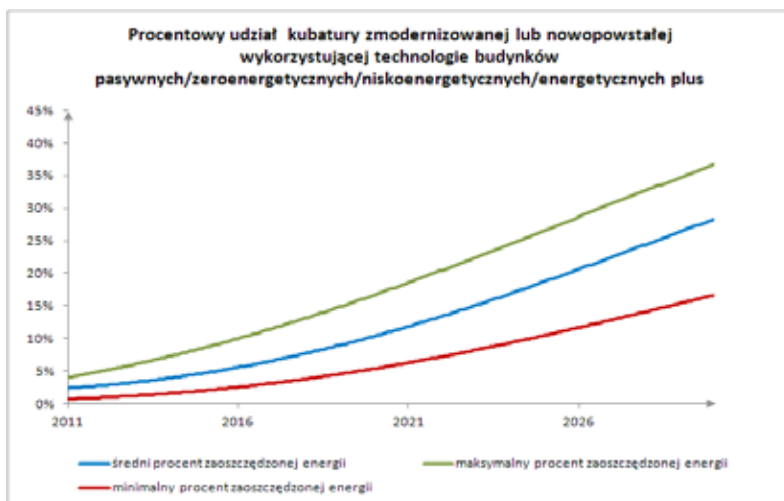
cepcyjne i technologiczne dla budynków o zapotrzebowaniu na energię do ogrzewania $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ – budynków pasywnych, w tym technologie tworzenia przegród budowlanych z wykorzystaniem nowych materiałów w celu uzyskania jak najniższych współczynników przewodzenia ciepła (np. przegrody z barierą cieplną, fasady słoneczne wentylowane, itp.) oraz systemów odzysku ciepła ze zużytego powietrza wentylacyjnego. Energochłonność różnych typów budynków w podziale na energię do poszczególnych celów (rysunek po lewej) oraz bilans strat i zysków ciepła w budynku tradycyjnym i pasywnym przedstawiono na rysunku 6.8.



Rys. 6.8. Porównanie zużycia energii w budynkach pasywnych, energooszczędnych i tradycyjnych

Technologie energooszczędnego budownictwa będą rozwijane w długim horyzoncie czasowym. Ich rozwój będzie dynamiczny a w perspektywie coraz szybszy. W 2030 roku nowe technologie obejmą około 25 proc. budynków, włącznie z budynkami nowymi oraz termomodernizowanymi (rys. 6.9).

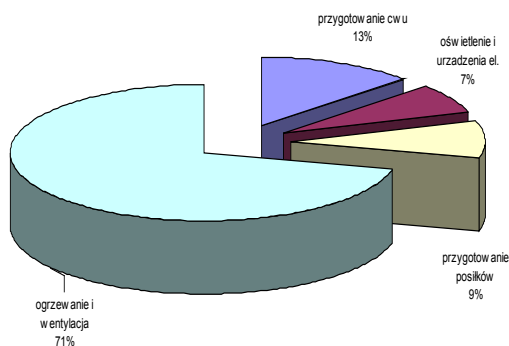
Mając na względzie wielki potencjał oszczędności energii w wyniku budowy niskoenergetycznych, pasywnych oraz plus-energetycznych budynków lub termomodernizacji budynków istniejących w Polsce oraz pozostałych krajach wymagających ogrzewania budynków, rozwój ten jest już zdeterminowany. Wypracowane lub przygotowywane dyrektywy UE dotyczące certyfikacji energetycznej budynków oraz efektywności energetycznej należy w najbliższym czasie implementować do prawodawstwa krajowego. Należy przy tym na tyle zwiększyć wymagania techniczne, aby niejako „wymusić” opracowanie spójnej koncepcji wykonywania B+R oraz wdrażania innowacyjnych rozwiązań, które w efekcie spowodują znaczącą poprawę energochłonności w budownictwie. Zaprezentowana wcześniej mapa drogowa rozwoju technologii wskazuje na konieczność pilnego podjęcia ww. działań, aby te technologie stały się polską specjalnością (rys. 6.16).



Rys. 6.9. Krzywa rozwoju technologii budownictwa pasywnego, zeroenergetycznego, energetycznego plus oraz termomodernizacji budynków do poziomu zużycia energii budynków „niskoenergetycznych”, pasywnych, plus energetycznych

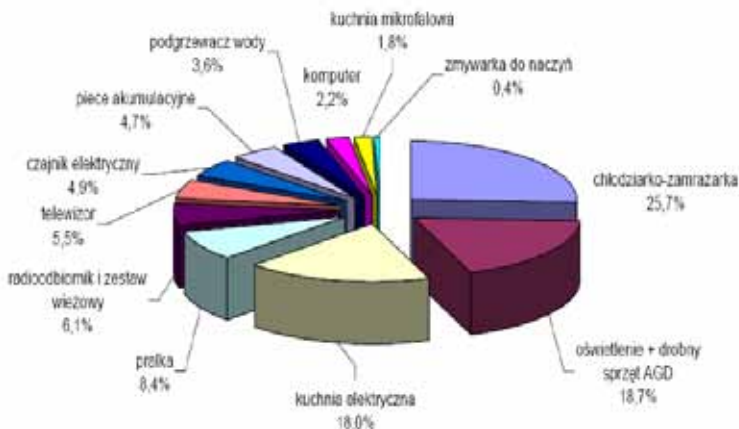
Energoozczędne AGD (np. lodówki z kamerą wewnętrzną, czytnikiem produktów, wykorzystanie funkcji grzania, itp.), urządzenia RTV, (CRT/PLAZMA/LCD) i projektory.

Gospodarstwa domowe są „sektorem” o największym udziale w polskim bilansie energetycznym (rys. 6.5). Polskim gospodarstwie domowym średnio 77 proc. całej energii zużywa się na ogrzewanie pomieszczeń mieszkalnych. Jest to ciepło, które musi być dostarczone na pokrycie strat budynku przez przegrody zewnętrzne oraz podgrzanie powietrza wentylacyjnego. Przygotowanie posiłków, oświetlenie, korzystanie z urządzeń elektrycznych i przygotowanie ciepłej wody użytkowej ma znacznie mniejszy udział w całkowitym zużyciu energii (rys. 6.10).



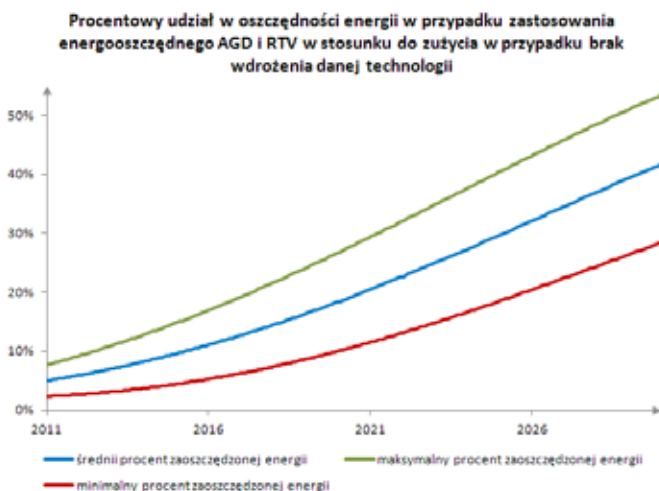
Rys. 6.10. Struktura zużycia energii w przeciętnym mieszkaniu

Jednakże i tutaj warto szukać oszczędności. Na rysunku 6.11 przedstawiono zużycie energii elektrycznej dla przeciętnego mieszkania z uwzględnieniem ogrzewania i podgrzewania wody użytkowej.



Rys. 6.11. Zużycie energii elektrycznej dla uśrednionego modelu mieszkania z uwzględnieniem ogrzewania i podgrzewania wody użytkowej

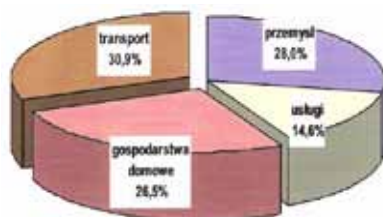
Powszechność stosowania urządzeń opisanych wyżej urządzeń w pełni uzasadnia przyjęcie **technologii energooszczędnych AGD** (np. lodówki z kamerą wewnętrzną, czytnikiem produktów, wykorzystaniem funkcji grzania itp.) i **RTV** za priorytetowe. Zastosowanie tych technologii do 2030 roku może przynieść aż do 50 proc. oszczędności energii (rys. 6.12).



Rys. 6.12. Krzywa rozwoju technologii energooszczędnego AGD i RTV

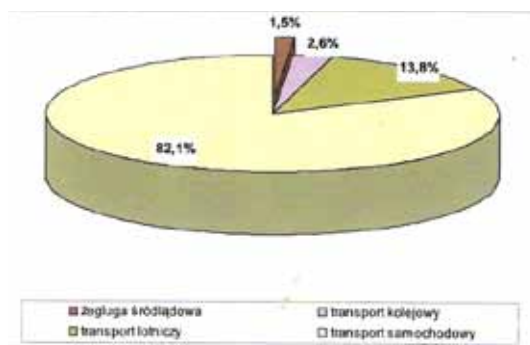
Przewiduje się, że rozwój tych technologii będzie przebiegał według mapy drogowej przedstawionej na rys. 6.16. W perspektywie najbliższych lat prognozowane jest przyspieszenie tego rozwoju, przy czym jest to dziedzina generująca innowacyjność. Decydującym warunkiem rozwoju technologii powinny być wprowadzone uregulowania prawne zwiększające popyt na urządzenia (technologie) energooszczędne. Niezbędne działania wyszczególniono na rys. 6.16.

Transport jest i nadal pozostanie jednym z najbardziej energochłonnych konsumentów energii (rys. 6.13). Ograniczenie energochłonności, w warunkach powszechnej deficytowości dóbr, stanowi jeden z kluczowych celów w zakresie gospodarowania zasobami. Udział poszczególnych gałęzi transportu w ogólnej konsumpcji energii przedstawia rysunek 6.14.



Rys. 6.13. Zużycie energii według sektorów gospodarki w krajach UE-27 w 2005 r.

Konieczność rozwoju **technologii lekkich, przyjaznych środowisku pojazdów** wynika także z dyrektywa parlamentu Europejskiego i Rady nakłada na instytucje publiczne oraz inne podmioty stosujące przepisy o zamówieniach publicznych obowiązek uwzględniania przy zakupie pojazdów transportu drogowego kryteriów związanych z czynnikiem energetycznym i oddziaływaniem na środowisko podczas całego cyklu użytkowania pojazdu, w tym dotyczących zużycia energii oraz emisji CO₂ i niektórych zanieczyszczeń (*Dyrektywa 2009/33/WE w sprawie promowania ekologicznie czystych i energooszczędnych pojazdów transportu drogowego*).

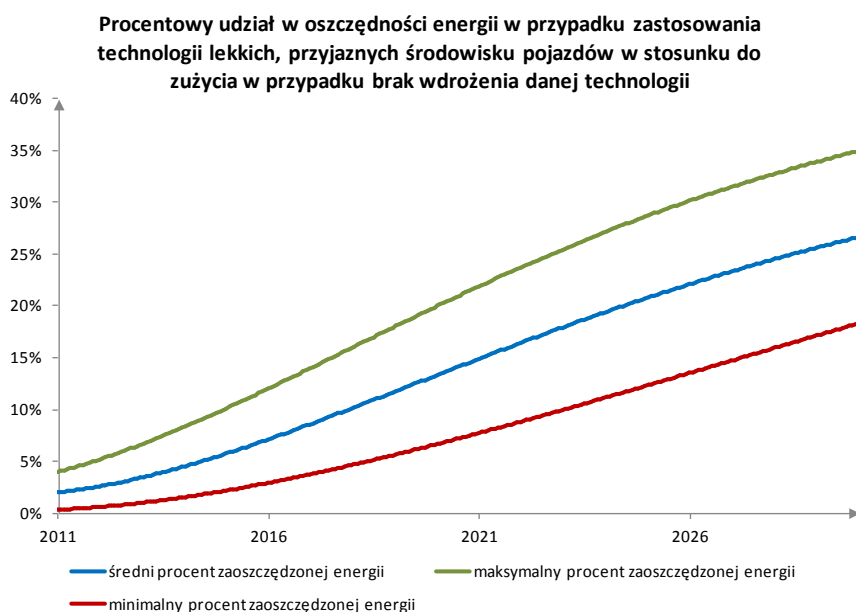


Rys. 6.14. Energochłonność w różnych gałęziach transportu w UE w 2005 r.

W analizie eksperckiej przyjęto założenie, że nowe technologie przyczynią się do powstania nowych środków transportu, które spowodują oszczędności w zużyciu energii do ich napędu oraz mniejszą emisję zanieczyszczeń do atmosfery. Niezależnie od powstania nowych środków transportu muszą powstać nowoczesne systemy organizacyjne, które zwiększają popyt na transport publiczny (kołowy, szynowy), zmniejszając zapotrzebowanie na transport indywidualny.

Przestawienie polskich systemów transportowych na tory innowacyjnego zrównoważonego rozwoju wymaga stworzenia systemu zmuszającego do solidarnego działania władze publiczne, przedsiębiorców transportowych, przemysł środków transportu, władze samorządowe, środowiska naukowo-badawcze i przedstawicieli użytkowników transportu.

Rozwój technologii lekkich, przyjaznych środowisku pojazdów powinien w analizowanym okresie zrationalizować zużycie energii w transporcie o około 25–30 proc. (rys. 6.15).



Rys. 6.15. Krzywa rozwoju technologii lekkich, przyjaznych środowisku pojazdów

Niezadawalający w ocenie ekspertów stan infrastruktury transportowej oraz jedynie elementarny udział polskich technologii uzyskującej światowy poziom – specjalistyczny transport morski i wodny – gazowce, łodzie żaglowe stanowią wyzwanie techniczne i organizacyjne. Włączenie się w rozwój tych technologii (pojazdy drogowe, szynowe, lotnictwo) jest z punktu widzenia możliwości zrationalizowania użytkowania paliw i energii (samochód elektryczny) stanowi wyzwanie

techniczne i organizacyjne. Na początku na podstawie licencji na nowoczesne, tak potrzebne w kraju, środki transportu a następnie należy rozpocząć prace nad doskonaleniem zakupionych rozwiązań. Polityka zrównoważonego rozwoju powinna redukować udział samochodów osobowych w podróżach realizowanych łącznie tymi pojazdami i transportem zbiorowym do mniej niż 50 proc.

Polska w dużej mierze w następnych latach będzie raczej konsumentem (licencjobiorcą) cudzej myśli technicznej w zakresie nowych środków transportu.

Wprowadzanie nowych systemów organizacyjnych w transporcie będzie w Polsce następowało relatywnie szybko, ze względu na fakt, że staliśmy się jednym spójnym organizmem gospodarczym z Unią Europejską i światem, w którym drożność i wydajność transportu posiada kapitalne znaczenie.

6.2.5. Wnioski i rekomendacje. Racjonalizacja gospodarowania energią dotyczy użytkowania, magazynowania, przesyłu i dystrybucji energii oraz mediów w przemyśle, w sektorze gospodarstw domowych, usług i handlu. Energia zaoszczędzona jest najczystszy „źródłem” energii. Efektywność wykorzystania energii i zwrot w stronę odnawialnych źródeł energii uważa się za podstawę osiągnięcia zrównoważonego rozwoju energetycznego.

Technologie racjonalnego gospodarowania energią są technologiami przyszłościowymi i należą do kluczowych czynników wspomagających politykę energetyczną UE. Szczególnie ważne są technologie związane z nowymi technikami wytwarzania energii, użytkowania paliw i energii w środkach transportu i gospodarstwach domowych oraz przechowywania rezerw paliw i nadwyżek energii. Przewidywane drogi rozwoju tych technologii i rekomendacje działań niezbędnych do realizacji ich rozwoju ujęto na rys. 6.16.

Cechą charakterystyczną wskazanych technologii jest fakt, że w kraju prowadzone są w tym zakresie wdrożenia i obserwowane są ich pierwsze rezultaty. Zdaniem ekspertów dalsze wdrażanie i rozwijanie technologii do roku 2030 pozwoli na uzyskanie wymiernych efektów, a technologie mogą mieć znaczenie strategiczne dla polskiego przemysłu. Istotnym jest również silne powiązanie wskazanych technologii z innymi obszarami technologicznymi, szczególnie z zaawansowanymi systemami wytwarzania.

Fazy rozwoju technologii	Działania niezbędne do podjęcia przez administrację rządową											Czas trwania poszczególnych faz					
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	2015	2020	2025	2030	po 2030
Budownictwo pasywne, zeroenergetyczne, energetyczne plus oraz termomodernizacja budynków do poziomu zużycia energii																	
Koncepcja	X	X	X														
B+R		X				X	X										
Wdrożenie							X	X									
Wykorzystanie na skale rynkowej w kraju						X				X							
Wykorzystanie na rynkach światowych		X															
Energooszczędne AGD (np. lodówki z kamerą wewnętrzną, czytnikiem produktów, wykorzystanie funkcji grzania, itp.) oraz RTV, (CRT/PLAZMA/LCD), projektory																	
Koncepcja	X	X															
B+R		X	X			X											
Wdrożenie		X							X								
Wykorzystanie na skale rynkowej w kraju									X	X							
Wykorzystanie na rynkach światowych			X														
Technologie lekkich, przyjaznych środowisku pojazdów																	
Koncepcja	X	X	X														
B+R						X	X										
Wdrożenie									X	X							
Wykorzystanie na skale rynkowej w kraju						X				X							
Wykorzystanie na rynkach światowych			X														

Legenda:

- A** Dofinansowanie infrastruktury badawczej
- B** Tworzenie instrumentów finansowych przeznaczonych dla sektora badawczego i przedsiębiorstw na prowadzenie badań
- C** Wspieranie sieci współpracy między nauką a biznesem
- D** Zapewnienie wsparcia pozafinansowego (np. tworzenie infrastruktury, sieci współpracy, promocja) na rozwój technologii
- E** Dostosowanie/zmiana/ukierunkowanie szkolnictwa zawodowego i wyższego
- F** Wsparcie poprzez przyjęcie programu lub polityki działań w zakresie rozwoju danej technologii
- G** Działania legislacyjne
- H** Tworzenie instrumentów finansowych przeznaczonych bezpośrednio dla sektora przedsiębiorstw na wdrażanie i komercjalizację technologii
- I** Wsparcie projektów pilotażowych w ramach kluczowych i niszy technologii celem określenia ich wartości dodanej dla gospodarki i społeczeństwa
- J** Wprowadzenie odpowiednich instrumentów fiskalnych wsparcia wdrożenia komercyjnego (kredyty, podatki, dotacje)
- K** Stosowanie zachęt dla przedsiębiorców w celu wdrażania przez nich innowacyjnych rozwiązań
- L** Zastosowanie instrumentu zamówień publicznych oraz zamówień przedkomercyjnych na produkty i usługi - sektor publiczny jako główny klient

Rys. 6.16. Mapa drogowa kluczowych technologii racjonalizacji gospodarowania energią wraz z działaniami niezbędnymi do podjęcia przez administrację rządową w podziale na poszczególne fazy życia technologii

7. Scenariusze rozwoju technologicznego i obszary konkurencyjne w polach badawczych przemysłu wydobywczego

Przemysł wydobywczy, w tym górnictwo węgla kamiennego, stanowi bardzo ważne ogniwo w gospodarce surowcowej i energetycznej kraju. W warunkach polskiej gospodarki priorytetem zapewniającym bezpieczeństwo energetyczne jest wydobycie węgla kamiennego będącego źródłem produkcji energii elektrycznej na poziomie 96 proc. Szczególnego znaczenia nabiera zatem gwarancja bezpieczeństwa energetycznego definiowanego jako stan gospodarki umożliwiający pokrywanie bieżącego i perspektywicznego zapotrzebowania odbiorców na paliwa i energię, w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony, przy minimalizacji negatywnego oddziaływania sektora na środowisko i warunki życia społeczeństwa.

Definicja powyższa oraz fakt, że polska gospodarka energetyczna od wielu dekad jest oparta na paliwie węglowym zarówno kamiennym jak i brunatnym, narzuca konieczność poszukiwania i rozwijania kluczowych technologii dla przyszłości polskiego górnictwa, nie tylko węglowego. W rozdziale przedstawiono zwięzłe streszczenie wyników analiz i badań w tym zakresie przeprowadzonych w ramach projektu InSight 2030.

7.1. Nowoczesne urządzenia dla przemysłu wydobywczego

7.1.1. Znaczenie rozwoju technologii i funkcjonalności urządzeń dla przemysłu wydobywczego. Doskonalenie technologii procesów wydobywczych i realizujących je maszyn i urządzeń jest jednym z najważniejszych czynników warunkujących wydajność, bezpieczeństwo pracy górników oraz poziom ochrony środowiska wynikający z działalności górniczej. Postępy w tym zakresie będą decydować o konkurencyjności tej dziedziny przemysłu na rynku globalnym, w szczególności w stosunku

do krajów z rozwiniętym przemysłem wydobywczym o znacznie tańszej sile roboczej.

Priorytety inteligentnego i zrównoważonego rozwoju Europy do 2020 roku obejmują wspieranie gospodarki efektywniej korzystającej z zasobów, bardziej przyjaznej środowisku i bardziej konkurencyjnej, co jest związane z rozwojem nowoczesnych urządzeń przemysłu wydobywczego. Realizując to założenie, rozwój technologii w obrębie nowoczesnych urządzeń przemysłu wydobywczego będzie miał charakter perspektywiczny o dużym potencjale innowacyjnym.

Rozwojowi urządzeń dla przemysłu wydobywczego został nadany wysoki priorytet również w inicjatywach horyzontalnych przemysłu europejskiego, w tym w „inicjatywie dostępu do zasobów naturalnych i surowców”, zgodnie z którą „*należy opracować środki zapewniające trwały i bezpieczny dostęp, m.in. poprzez poprawę efektywności wykorzystania zasobów i dostępu do krajowych surowców [...] wspieranie rozwoju technologii poszukiwawczych i zapewnienie dostępności wykwalifikowanych pracowników*” (Komunikat Komisji Europejskiej: Przegląd śródkresowy polityki przemysłowej. Wkład w strategię UE na rzecz wzrostu gospodarczego i zatrudnienia, COM (2007) 374).

7.1.2. Kierunki rozwoju urządzeń dla przemysłu wydobywczego w technice światowej. Rozwój w zakresie urządzeń technicznych dla przemysłu wydobywczego na świecie oparty jest na wieloletnich doświadczeniach producentów i instytutów badawczych krajów wiodących w tej dziedzinie. W zakresie technologii uważanych za kluczowe z punktu widzenia polskiego przemysłu wydobywczego największy potencjał mają Niemcy, Wielka Brytania i Polska. Kraje te posiadają zbliżone, trudne warunki zalegania złóż węgla kamiennego. Należy podkreślić, że zwłaszcza Niemcy, dysponujące najbardziej zaawansowanymi technologiami zaplecza górniczego, drastycznie redukują rodzimy przemysł górnictwa węgla kamiennego, przewidując w 2018 roku likwidację ostatniej kopalni na terenie swego kraju. Jednocześnie kładą nacisk na eksport myśli technicznej i technologii, stając się w ten sposób głównym konkurentem na rynkach światowych.

Polski przemysł maszyn i urządzeń górniczych, który w ostatnich latach przeżył znaczące zmiany organizacyjne i osiągnął światowy poziom techniczny i technologiczny w dziedzinie maszyn górniczych, ma szansę zdobycia znaczącego udziału na rynkach światowych. Wiodącym, lecz coraz bardziej wymagającym rynkiem maszyn i urządzeń górniczych stały się w ostatnich latach Chiny, a perspektywicznymi i wymagającymi zintensyfikowania działań promocyjnych są także rozwijające się rynki takie jak Wietnam, Kazachstan czy Mongolia. W tych okolicznościach Polska, bazując na ciągle wzbogacanych doświadczeniach rodzimego przemysłu górnictwa węgla kamiennego może skutecznie wypromować określone techniki i technologie specyficzne dla trudnych warunków górniczych.

7.1.3. Stan obecny i perspektywy rozwoju urządzeń technicznych dla przemysłu wydobywczego w Polsce. Występowanie zagrożeń naturalnych jest związane z działalnością górnictwem, która wpływa na skalę danego zagrożenia. Potrzeba zwalczania zagrożeń naturalnych powoduje, że rozważa się osobno dla każdego rodzaju zagrożenia metody ograniczające skalę tych zjawisk. W związku z tym, iż zwalczanie jednego rodzaju zagrożeń może spowodować potęgowanie skali innego zagrożenia rozpatruje się wzajemne zależności między stosowanymi profilaktykami ograniczającymi zagrożenia.

Polski przemysł wydobywczy dysponuje na ogół nowoczesnym, zautomatyzowanym parkiem maszynowym oraz centralami zbierającymi informacje o zagrożeniach naturalnych. Poprzez wprowadzenie tych urządzeń uzyskano nowe możliwości sterowania, kontroli pracy i bezpieczeństwa. Dostępne na rynku centrale metanometryczne, sejsmiczne oraz systemy dyspozytorskie energomechanicznych umożliwiają dysponowanie wszystkimi informacjami niezbędnymi do bezpiecznego prowadzenia ruchu zakładu górnictwa. Jednakże większość systemów oferowanych przez różnych producentów posiada różne protokoły transmisji. Użytkownik końcowy (dyspozytor) nie ma możliwości dowolnej koncentracji oraz przedstawienia danych z rozdzielni pochodzących od różnych producentów. Taka operacja wiąże się z koniecznością stosowania dodatkowych urządzeń konwertujących, co powoduje znaczny wzrost kosztów końcowych operacji. Dalszy **rozwój zintegrowanych systemów dyspozytorskich** powinien zapewnić:

- transmisję wszystkich informacji jednym zbiorczym kanałem łączności,
- wyodrębnienie w prosty sposób pojedynczej informacji dotyczącej stanu pracy lub sterowania,
- zebranie wybranych informacji dotyczących różnych systemów w postaci jednej przejrzystej tablicy informacyjnej.

Najważniejszym aspektem rozwoju systemów poprawiających bezpieczeństwo pracy są magistrale telekomunikacyjne wraz z infrastrukturą do efektywnego pozyskania danych i bezpiecznego ich przesyłania. Magistrala telekomunikacyjna musi posiadać cechy systemu otwartego na wprowadzanie nowych technologii transmisji, a co za tym idzie musi umożliwiać zwiększenie jej funkcjonalności w przyszłości.

Optymalizacja procesów technologicznych rozdziału węgla surowego na koncentraty, półprodukty i odpady oraz jakość i ilość tych produktów w decydujący sposób wpływają na efektywność ekonomiczną produkcji górnictwa. Polskie zakłady przeróbki mechanicznej węgla charakteryzuje zróżnicowany poziom rozwoju technologicznego. Obok nowoczesnych zakładów, jak np. w KWK Piast czy KWK Bolesław Śmiały, funkcjonują zakłady, które wymagają wdrożenia wskaza-

nych technologii polegających na wzbogacaniu węgla energetycznego i koksowego w pełnym zakresie uziarnienia oraz kompleksowym sterowaniu procesami technologicznymi przeróbki, co znacząco zwiększy konkurencyjność sektora górnictwa węgla kamiennego w Polsce.

Technologie produkcji węgla kamiennego nie mogą być rozpatrywane jako samodzielne technologicznie ogniwa produkcji w nowoczesnej kopalni węgla kamiennego. Procesom produkcji węgla – od robót udostępniających, przygotowawczych i eksploatacyjno-wydobywczych do załadunku produktów finalnych w zakładzie przeróbczym – zawsze towarzyszą określone systemy technologii związane z eksploatacją, mechanizacją i automatyzacją. Rozwój innowacyjnych technologii mechanizacyjnych będzie wymagał:

- doskonalenia systemu zabezpieczenia sekcji obudowy zmechanizowanej przed dynamicznym oddziaływaniem górotworu,
- zwiększenia efektywności systemów drążenia wyrobisk korytarzowych przez stosowanie kompleksowych systemów mechanizacyjnych z rozdzielaniem procesu drążenia i stawiania obudowy,
- doskonalenia konstrukcji ścianowej obudowy zmechanizowanej z uwzględnieniem minimalizacji masy i doboru podporności oraz obudowy skrzyżowania ściana-chodnik,
- opracowania systemu automatycznego sterowania kompleksem ścianowym, systemu monitorowania środowiska górniczego w przodku i systemu transmisji teleinformatycznej,
- doskonalenia systemów ciągnięcia, hamowania, sterowania i kontroli maszyny wyciągowej, związane ze zwiększającą się głębokością eksploatacji,
- opracowania innowacyjnych technologii wiertniczych,
- stosowania technologii kotwowej w zmieniających się warunkach geomechanicznych.

Kierując się powyższym eksperci uczestniczący w realizacji projektu InSight 2030 za kluczowe obszary technologiczne dla rozwoju techniki przemysłu wydobywczego uznali:

- systemy poprawiające bezpieczeństwo pracy w warunkach zagrożeń naturalnych,
- nowoczesne technologie wzbogacania i przeróbki węgla,
- innowacyjne rozwiązania techniczne eksploatacji górniczej.

7.1.4. Konkurencyjne obszary technologiczne. Przemysł wydobywczy odgrywa, i przewiduje się, że w dalszym ciągu będzie odgrywał, ważną rolę w polskim przemyśle. W związku z tym rozwój wysokowydajnych urządzeń do zastosowania pod-

czas procesu wydobywania surowców mineralnych może stać się pożądaną polską specjalnością, zgodną ze światowymi trendami rozwoju obszarów technologicznych.

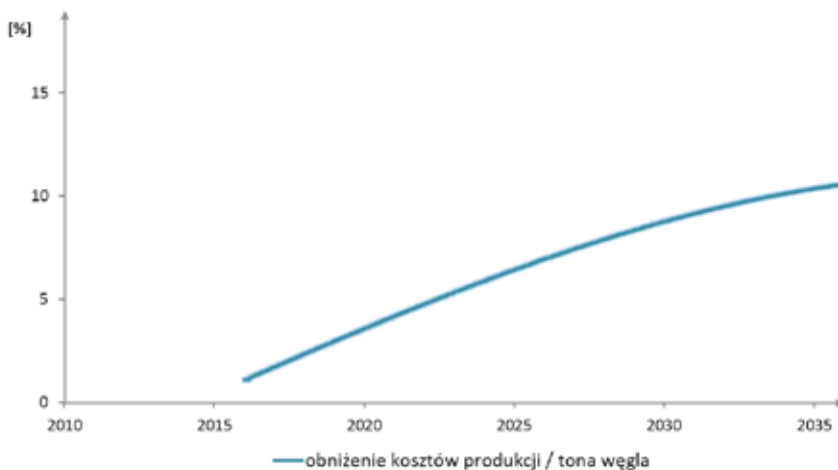
Do technologii w obszarze nowoczesnych urządzeń dla przemysłu wydobywczego, w których polski przemysł w perspektywie najbliższych dekad mógłby z powodzeniem konkurować na rynku globalnym należą:

- nowoczesne systemy dyspozytorskie oparte na technikach cyfrowych w zakresie procesów produkcji dla podziemnych zakładów górniczych, z wykorzystaniem zintegrowanych systemów bezpieczeństwa oraz telewizji przemysłowej,
- wzbogacanie w pełnym zakresie uziarnienia zarówno węgla energetycznych jak i koksowych,
- obudowa zmechanizowana o regulowanej podporności wstępnej on-line, zmniejszająca energochłonność procesu skrawania i wypad grubych sortymentów.

Nowoczesne systemy dyspozytorskie oparte na technikach cyfrowych w zakresie procesów produkcji dla podziemnych zakładów górniczych, z wykorzystaniem zintegrowanych systemów bezpieczeństwa oraz telewizji przemysłowej są technologiami, które w sposób zasadniczy wpływają na stan bezpieczeństwa pracy w warunkach zagrożeń naturalnych. W technologiach w zakresie wsparcia procesów produkcji i bezpieczeństwa pracy to technologie Polska posiada znaczny potencjał. Stale są prowadzone prace badawcze nad poprawą systemowego monitorowania zagrożeń, w szczególności poprzez uzupełnieniu struktury systemu o pośredni poziom. Do niego przeniesiona zostanie i znacznie wzbogacona przeważająca część funkcji systemowych, dotyczących wydzielonych rejonów kopalni.

Technologie w zakresie wsparcia procesów produkcji i bezpieczeństwa pracy to technologie, w których Polska posiada znaczny potencjał. Dodatkowo poziom zaawansowania rozwoju tych technologii jest tyle wysoki, że mogą one stanowić ofertę dla globalnego górnictwa już przed rokiem 2020. Istotny wpływ na rozwój tych technologii będą miały uwarunkowania polityki krajowej i unijnej, związane z wymogami dotyczącymi bezpieczeństwa w miejscu pracy. Wykorzystanie technologii na skalę rynkową w kraju przewiduje się po 2015 roku.

Wpływ zastosowania nowoczesnych systemów dyspozytorskich opartych na technikach cyfrowych w zakresie procesów produkcji dla podziemnych zakładów górniczych na obniżenie kosztów produkcji



Rys. 7.1. Krzywa życia rozwoju nowoczesnych systemów dyspozytorskich opartych na technikach cyfrowych w zakresie procesów produkcji dla podziemnych zakładów górniczych, z wykorzystaniem zintegrowanych systemów bezpieczeństwa oraz telewizji przemysłowej

Wzbogacanie w pełnym zakresie uziarnienia węgla energetycznych i koksowych jest technologią z obszaru wzbogacania i przeróbki węgla. Rekomendując tę technologię jako technologię konkurencyjną eksperci zauważają, że:

- w powszechnie znanych i stosowanych technologiach przygotowania nadawy do wzbogacania brakuje węzła odkamieniania na dole kopalni, który zmniejszyłby ilość transportowanych odpadów na górę,
- w technologiach wzbogacania węgla surowych brakuje instalacji do produkcji kruszyw budowlanych ze skały płonnej.

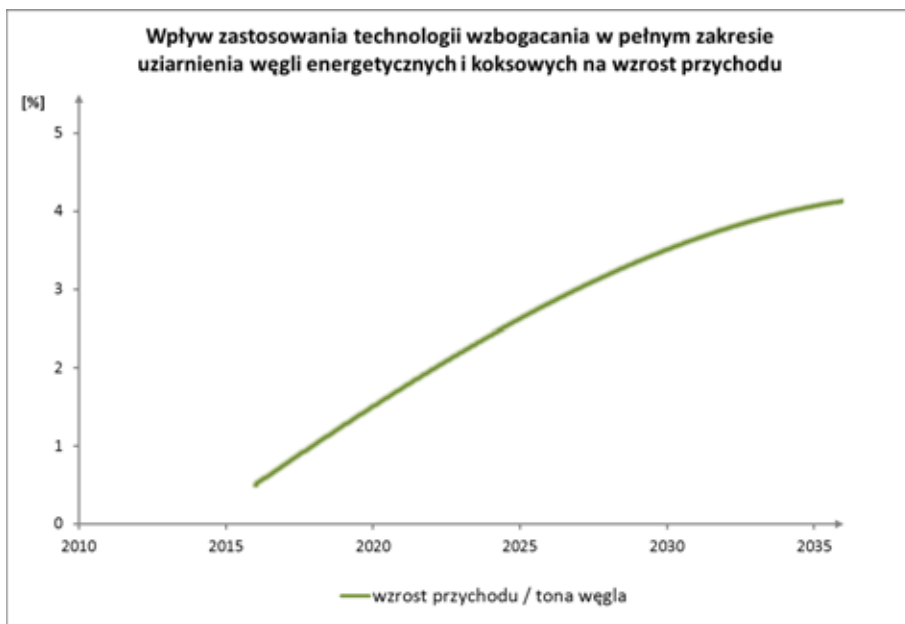
Prace badawczo-rozwojowe gwarantujące rozwój technologii powinny iść w kierunku opracowania metod wzbogacania węgla ultradrobnych, analiz możliwości zastosowania wzbogacalników Larcodems, odsiarczania węgla i usuwania niepożądanych komponentów z popiołów przy wykorzystaniu konwencjonalnych metod separacji oraz niekonwencjonalnych (np. ługowanie bakteryjne) wraz z poszukiwaniem odczynników pozwalających obniżyć koszty i podwyższyć efektywność flotacji.

W tym zakresie należy zwrócić uwagę na opracowanie efektywnej technologii klarowania z flokulacją i odwadniania mechanicznego z pominięciem osadników

zewnątrznych oraz regeneracji całości wód technologicznych z ponownym ich użyciem do procesu produkcji. Niezbędne jest ponadto poszukiwanie nowych metod, procesów i środków chemicznych dla intensyfikacji odwadniania węgli drobnych i najdrobniejszych, jak również odczynników dla głębokiej flotacji mułów celem uzyskania koncentratów flotacyjnych o wysokiej koncentracji części stałych.

Najprawdopodobniej nowoczesne technologie wzbogacania i przeróbki węgla do powszechnego użytku wejdą w latach 2020–2030. Na ich rozwój największy wpływ będą miały uwarunkowania polityki krajowej a w mniejszym stopniu także unijnej.

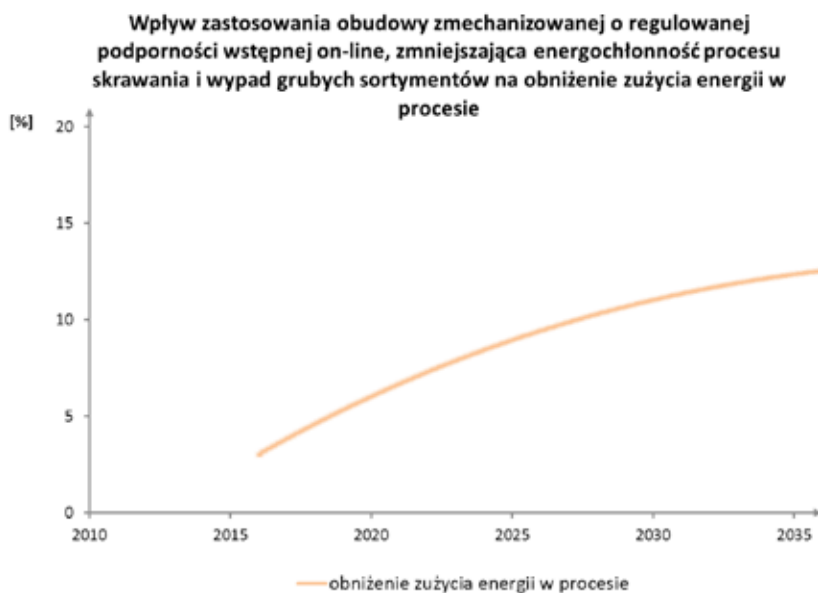
Technologia wzbogacania w pełnym zakresie uziarnienia węgli energetycznych i koksowniczych jest na etapie opracowywania koncepcji, jednakże szacuje się, że w najbliższych latach rozpoczną się prace badawczo-rozwojowe nad jej rozwojem, a w dalszej kolejności wdrożenie i wykorzystanie na skalę rynkową. Zdaniem ekspertów dzięki wdrożeniu ww. technologii możliwy będzie wzrost przychodów z produkcji. Szacuje się, że w roku 2030 wzrost przychodu w przeliczeniu na tonę produkowanego węgla będzie wynosił ok. 4 proc. w stosunku do aktualnie realizowanych procesów wzbogacania węgla (rys. 7.2).



Rys. 7.2. Krzywa życia technologii wzbogacania w pełnym zakresie uziarnienia węgli energetycznych i koksowniczych

Obudowa zmechanizowana o regulowanej podporności wstępnej on-line jest technologią z obszaru innowacyjnych rozwiązań technicznych eksploatacji górniczej należących do grupy mechanizacyjnej, decydującej o bezpieczeństwie pracujących w ścianie ludzi, a także zapewniającej ciągłość i efektywność pracy pozostałych maszyn.

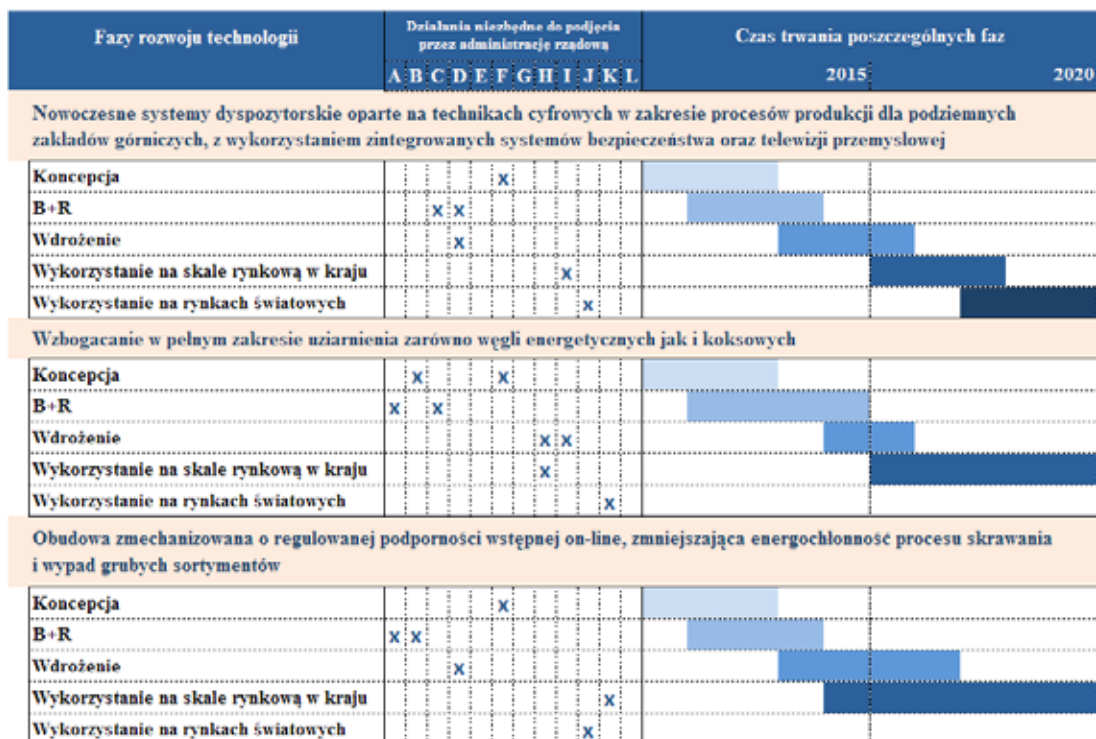
Technologia obudowy zmechanizowanej o regulowanej podporności wstępnej on-line, podobnie jak wcześniej opisane technologie, znajduje się w fazie koncepcji. Wdrożenie technologii i wykorzystanie jej na skalę rynkową w kraju przewiduje się w ciągu najbliższych 5 lat (rys. 7.4).



Rys. 7.3. Krzywa życia technologii obudowy zmechanizowanej o regulowanej podporności wstępnej on-line.

7.1.5. Wnioski i rekomendacje. Przemysł wydobywczy odgrywa, i przewiduje się, że w dalszym ciągu będzie odgrywał ważną rolę w polskim przemyśle. Rozwój technologii w obrębie nowoczesnych urządzeń dla przemysłu wydobywczego surowców mineralnych, ze względu na obecne uwarunkowania i perspektywy polskiego przemysłu (energetycznego, chemicznego, budowlanego i przetwórstwa materiałowego oraz innych), będzie związany z dynamicznym rozwojem zaplecza badawczo-przemysłowego Polski.

Poprzez rozwój nowoczesnych urządzeń technicznych dla przemysłu wydobywczego możliwe jest zwiększenie rentowności wydobycia, pozyskanie nowych rynków zbytu, usprawnienie kierowania procesami technologicznymi i wzrost bezpie-



Legenda:

- A Dofinansowanie infrastruktury badawczej
- B Tworzenie instrumentów finansowych przeznaczonych dla sektora badawczego i przedsiębiorstw na prowadzenie badań
- C Wpieranie sieci współpracy między nauką a biznesem
- D Zapewnienie wsparcia pozafinansowego (np. tworzenie infrastruktury, sieci współpracy, promocja) na rozwój technologii
- E Dostosowanie/zmiana/uścislenie szkolnictwa zawodowego i wyższego
- F Wsparcie poprzez przyjęcie programu lub polityki działań w zakresie rozwoju danej technologii
- G Działania legislacyjne
- H Tworzenie instrumentów finansowych przeznaczonych bezpośrednio dla sektora przedsiębiorstw na wdrażanie i komercjalizację technologii
- I Wsparcie projektów pilotażowych w ramach kluczowych i niszowych technologii celem określenia ich wartości dodanej dla gospodarki i społeczeństwa
- J Wprowadzenie odpowiednich instrumentów fiskalnych wsparcia wdrożenia komercyjnego (kredyty, podatki, dotacje)
- K Stosowanie zachęt dla przedsiębiorców w celu wdrażania przez nich innowacyjnych rozwiązań
- L Zastosowanie instrumentu zamówień publicznych oraz zamówień przedkomercyjnych na produkty i usługi - sektor publiczny jako główny klient

Rys. 7.4. Mapy drogowe technologii w obszarze nowoczesnych urządzeń dla przemysłu wydobywczego wraz ze wskazanymi działaniami niezbędnymi do podjęcia przez administrację rządową w podziale na poszczególne fazy życia technologii

czeństwa w zakładach górniczych oraz bardziej efektywne wykorzystanie urobku węglowego. Jednakże obecnie istnieje szereg barier, które umożliwiają wdrożenie ww. technologii. Głównymi barierami są ograniczenia techniczno-technologiczne, w tym trudności w transmisji danych z dołu kopalni w postaci cyfrowej, niemożność zintegrowania obecnie stosowanych systemów dyspozytorskich, oraz ograniczenia środowiskowe. Problematycznym zagadnieniem jest również wciąż nieza-

dawalająca współpraca przedsiębiorców z naukowcami, jak również wysokie koszty wdrożenia technologii i trudne warunki górniczo-geologiczne.

Struktura gospodarcza naszego kraju oraz wprawdzie rosnący, ale wciąż niewielki udział innych niż kopalne źródła surowcowych, daje dobre perspektywy funkcjonowania zakładów górniczych. Także w wielu krajach poza Europą obserwuje się rozwój przemysłu wydobywczego gwarantującego samowystarczalność surowcową i gwarancję bezpieczeństwa energetycznego, co może stanowić szansę rozwojową dla wdrażania nowoczesnych rozwiązań przemysłu wydobywczego przy jednoczesnym rozwijaniu krajowego sektora badawczego w tym obszarze. By działalność tego sektora była efektywna, konieczna jest ścisła współpraca z przedsiębiorstwami. Wysoce kosztochłonne badania realizowane w przemyśle wydobywczym wymagają tworzenia szerokiej palety instrumentów finansowych przeznaczonych dla sektora badawczego i przedsiębiorstw.

Szczegółowe rekomendacje dla realizacji programu rozwoju technologii konkurencyjnych zostały przedstawione na rys. 7.4.

Analizując mapy drogowe przedstawione na rys. 7.4 należy mieć na uwadze identyfikowany i potwierdzony pracami eksperckimi potencjał rozwojowy tych technologii wynikający z ich aplikacyjności i możliwości realizacji interdyscyplinarnych prac w układach przemysłowo-badawczych. Stąd też wskazuje się, jako warunkujące wykorzystanie tych technologii na skale rynkową, wspieranie projektów pilotażowych, a także zapewnienie wsparcia pozafinansowego tego typu działań poprzez rozwijanie sieci współpracy i realizację szerokiego spektrum działań promocyjnych ze szczególnym uwzględnieniem rynków perspektywicznych.

7.2. Innowacyjne technologie pozyskiwania surowców mineralnych

7.2.1. Znaczenie rozwoju technologii pozyskiwania surowców mineralnych. Pozyskiwanie posiadanych surowców mineralnych jest jednym z podstawowych warunków bezpieczeństwa energetycznego Europy. Stąd jednym z priorytetów Unii Europejskiej jest zrównoważony rozwój przemysłu wydobywczego przy minimalizacji negatywnego oddziaływania na środowiska i warunki życia społeczeństwa. Realizacja tego celu wymaga stałego doskonalenia metod i technik rozpoznawania zasobów i ich dynamicznej oceny oraz technologii pozyskiwania surowców mineralnych oraz technologii ich pozyskiwania.

Rozwój technologii pozyskiwania surowców mineralnych należy do działań priorytetowych UE w perspektywie najbliższych dziesięcioleci. Trwały i bezpieczny dostęp do zasobów naturalnych i surowców mineralnych ma zostać zrealizowany poprzez „poprawę efektywności wykorzystania zasobów i dostępu do krajowych surowców,

otwarcie rynku UE dla surowców odnawialnych, wspieranie rozwoju technologii poszukiwawczych i zapewnienie dostępności wykwalifikowanych pracowników" (Komunikat Komisji Europejskiej: Przegląd śródkresowy polityki przemysłowej. Wkład w strategię UE na rzecz wzrostu gospodarczego i zatrudnienia, COM (2007) 374).

7.2.2. Kierunki rozwoju technologii pozyskiwania surowców mineralnych w technice światowej. Światowe górnictwo pozyskania surowców mineralnych cechuje co prawda dynamiczny rozwój ilościowy, lecz istotnym czynnikiem towarzyszącym są pogarszające się warunki eksploatacji. Jednocześnie oczekuje się ciągłej poprawy efektywności wydobywania surowców dla poprawy konkurencyjności na rynkach światowych. Stąd podstawowymi kierunkami rozwoju technologii górniczych jest uzyskanie coraz większej wydajności drogą zautomatyzowania procesów technologicznych oraz zminimalizowania negatywnego wpływu uwarunkowań naturalnych.

Oczekiwania te dotyczą w szczególności głębinowego górnictwa węgla kamiennego oraz rud miedzi. Firmy wiodące w świecie skupiły się na wykorzystaniu nowoczesnych technologii w budowaniu systemów zdalnego monitorowania i sterowania procesów technologicznych celem wyeliminowania obecności człowieka w strefach bezpośredniego zagrożenia. Prowadzone są intensywne prace nad wykorzystaniem do tych celów systemów łączności bezprzewodowej oraz inteligentnych układów sterowania.

W dziedzinie rozwiązań alternatywnych, przyszłościowe jest pozyskanie gazów łupkowych. W tym zakresie zdania są jednakże podzielone i niektóre kraje wykluczają tę technologię. Ostateczna opinia zależy, więc od podjęcia szczegółowych badań nie tylko w kierunku określenia optymalnych technologii ich pozyskania, ale również celowości ze względu na uwarunkowania środowiskowe i ekonomiczne.

Obecnie głównymi kierunkami prac badawczo-rozwojowych są prace nad innowacyjnymi technologiami pozyskiwania surowców mineralnych są prace w zakresie:

- doskonalenia metod i technik rozpoznawania zasobów i ich dynamicznej oceny,
- technologii podziemnego zgazowania węgla,
- technologii wykorzystania produktów odpadowych i kopalin towarzyszących,
- technologii zapewniających bezpieczeństwo procesów pozyskiwania surowców mineralnych.

Kluczowymi dla dalszego rozwoju przemysłu wydobywczego surowców mineralnych w horyzoncie czasowym przyjętym dla projektu InSight 2030 będą technologie w zakresie:

- pozyskiwania węglowodorów do produkcji paliw,
- zastosowania wysokowydajnych, zautomatyzowanych technik urabiania złóż,
- systemów eksploatacji złóż rud miedzi w warunkach zagrożeń skojarzonych,
- zastosowania zintegrowanych bloków wydobywczych (układy KTZ).

7.2.3. Perspektywy rozwoju technologii pozyskiwania surowców mineralnych w Polsce i obszary konkurencyjne. Efektywne pozyskiwanie i wykorzystanie surowców mineralnych jest bardzo ważnym aspektem polskiej gospodarki. Rozwój technologii pozyskiwania surowców mineralnych wpłynie na zwiększenie wydajności procesów technologicznych, a przez to konkurencyjności polskiego przemysłu, a także na poprawę technicznych warunków pracy i stanu ochrony środowiska.

Zapewnienie bezpieczeństwa surowcowego Polski poprzez rozwój technologii pozyskiwania surowców mineralnych wymaga uwzględnienia w ich bilansie złóż trudnodostępnych lub niedostępnych, których eksploatacja metodami tradycyjnymi aktualnie jest nieuzasadniona ekonomicznie.

Cechą charakterystyczną sektora paliwowo-energetycznego w Polsce jest dominacja węgla jako źródła energii pierwotnej i brak do tej pory możliwości znaczącej dywersyfikacji pozyskiwania energii z innych własnych źródeł. Spowodowane to jest warunkami naturalnymi (zasobami) i warunkami geograficznymi oraz klimatycznymi. Dzięki rozwojowi metod badawczych poszukiwania węglowodorów płynnych w ostatnim okresie potwierdziły się prognozy szacujące zasoby gazu łupkowego w Polsce na około 5 bln metrów sześciennych.

Do technologii w obszarze pozyskiwania surowców mineralnych, w których polski przemysł w perspektywie mógłby z powodzeniem konkurować na rynku globalnym należą:

- eksploatacja złóż gazu łupkowego,
- system ścianowy z urabianiem kombajnem o wydajności powyżej 6000 t/dobę,
- system eksploatacji złóż rud miedzi w warunkach zagrożeń skojarzonych na dużych głębokościach poniżej 1200 m.

Eksploatacja złóż gazu łupkowego jest technologią z obszaru pozyskiwania węglowodorów do produkcji paliw. Analizując jej perspektywy jest to technologią najbardziej rozwojowa. Jednakże niepewność co do faktycznego stanu zasobów oraz aktualny stan wiedzy technologicznej powodują, że w najbliższym czasie nie należy spodziewać się wdrożenia tego systemu na skalę przemysłową. Określenie uwarunkowań stosowania podziemnego zgazowania węgla kamiennego w Polsce oraz opracowanie właściwej dla nich technologii jest przedmiotem prac badawczo-rozwojowych prowadzonych przez GIG.

Rozwój technologii pozyskiwania węglowodorów do produkcji paliw w znacznym stopniu uzależniony jest od polityki krajowej i unijnej. W zależności od rodzaju technologii i ich zaawansowania można przewidywać, że znacząca poprawa bezpieczeństwa energetycznego Polski powinna nastąpić w latach 2020–2030.

Przedmiotowa technologia obecnie znajduje się w fazie koncepcji. Jeśli badania przyniosą pozytywny skutek, będzie można myśleć komercyjnie o gazie łup-

kowym. Należy jednak podkreślić, że perspektywa wdrożenia ww. technologii jest odległa i zdaniem ekspertów nastąpi najwcześniej po 2020 roku. Mapa drogowa ww. technologii wraz ze wskazaniem niezbędnych działań w celu wsparcia jej rozwoju w poszczególnych fazach została przedstawiona na rysunku 7.6.

Ze względu na uwarunkowania prawne, geologiczno-środowiskowe oraz społeczne wdrażania i wykorzystania rynkowego technologii eksploatacji gazu łupkowego istnieją trudności w wykreśleniu krzywej życia technologii.

System ścianowy z urabianiem kombajnem o wydajności powyżej 6000 ton na dobę należy do grupy wysokowydajnych, zautomatyzowanych technik urabiania złóż. System ścianowy podłużny z zawałem stropu będzie w przyszłości podstawowym sposobem eksploatacji z powodu dopracowania bezpiecznej i skutecznej mechanizacji procesów technologicznych w przodku. Dalszy rozwój systemu polegać będzie głównie na doskonaleniu mechanizacji oraz wprowadzaniu większej automatyzacji i zdalnego sterowania urządzeniami.

Rozwój technologii zarówno kombajnowej jak i strugowej będzie zmierzał w kierunku:

- zwiększenia potencjału technicznego wyposażenia,
- maksymalizacji stopnia jego wykorzystania.

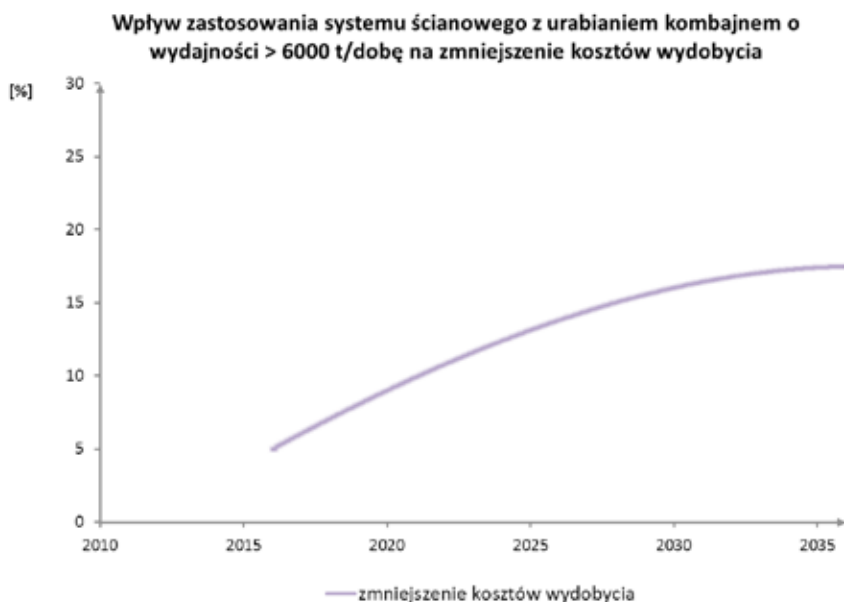
Zwiększenie potencjału technicznego można osiągnąć poprzez dalsze zwiększanie wydajności maszyny urabiającej i dostosowanie do niej wydajności przenośnika ścianowego i podścianowego oraz prędkości zabudowy stropu. Prace nad zwiększeniem wydajności kombajnu będą zmierzały do zwiększenia jego prędkości posuwu i zwiększenia mocy silników napędzających jego zespoły. Należy przypuszczać, że prędkość kombajnu osiągnie 45 m/min, a jego sumaryczna moc przekroczy 3 000 kW. Pozwoli to na zwiększenie szerokości zabioru do 1 m.

Pełne wykorzystanie potencjału technicznego kombajnu będzie uwarunkowane dostosowaniem wydajności systemu odstawy ze ściany. Będzie to możliwe dzięki zwiększonej prędkości łańcucha zgrzebłowego do 2 m/s i zwiększeniu szerokości rynien. Biorąc pod uwagę przedstawione powyżej uwarunkowania należy oczekiwać wzrostu mocy jednostek napędowych do 1200 kW. W tej sytuacji nieodzowne będzie zastosowanie zaawansowanych rozwiązań układu napędowego zabezpieczających ten układ przed nadmiernym obciążeniem statycznym i dynamicznym. Celem dostosowania szybkości zabudowy stropu konieczne jest zintensyfikowanie prac nad systemem sterowania elektrohydraulicznego.

Technologie związane z wysokowydajnymi i zautomatyzowanymi technikami urabiania złóż będą miały zastosowanie dopiero w latach 2020–2030. Ich rozwój w dużej mierze zależy od uwarunkowań krajowych, a w mniejszym stopniu od sytuacji na rynkach światowych i uwarunkowań polityki UE.

Technologia systemu ścianowego z urabianiem kombajnem o wydajności powyżej 6000 t/dobę obecnie znajduje się jeszcze w fazie koncepcji. Zdaniem ekspertów wdrożenie tej technologii jest możliwe w niedalekiej przyszłości tj. po 2015 roku. Niezbędne będzie wtedy stosowanie zachęt dla przedsiębiorców w celu wdrażania przez nich innowacyjnych rozwiązań m.in. tworzenie instrumentów finansowych na wdrażanie i komercjalizację technologii. Przy takim scenariuszu wykorzystanie tej technologii na skale rynkową w kraju będzie możliwe po 2015 roku. Mapa drogowa ww. technologii wraz ze wskazaniem niezbędnych działań w celu wsparcia jej rozwoju w poszczególnych fazach została przedstawiona na rysunku 7.6.

Zdaniem ekspertów wpływ zastosowania systemów ścianowych z urabianiem kombajnem o wydajności powyżej 6000 t/dobę na zmniejszenie kosztów wydobycia będzie stale wzrastać i szacuje się, że w roku 2030 koszty wydobycia będą zmniejszone o ok. 16 proc. (rys. 7.5).



Rys. 7.5. Krzywa rozwoju technologii systemu ścianowego z urabianiem kombajnem o wydajności > 6000 t/dobę

Maksymalizacja stopnia wykorzystania potencjału technicznego wyposażenia może być osiągnięta poprzez:

- zastosowanie zintegrowanego sterowania ścianowym systemem mechanicznym,
- wprowadzenie zaawansowanego technologicznie systemu informatycznego dla celów diagnostyki technicznej wyposażenia.

Technologia systemu eksploatacji złóż rud miedzi w warunkach zagrożeń skojarzonych na dużych głębokościach poniżej 1200 m obecnie znajduje się w fazie koncepcji.

Podziemna eksploatacja polskich złóż miedzi odbywa się w bardzo skomplikowanych warunkach górniczo-geologicznych. Złożoność warunków zależy przede wszystkim od wielkości występujących zagrożeń naturalnych. W górnictwie rud miedzi całość wydobycia pochodzi ze złóż zagrożonych tąpnięciami, zaś biorąc pod uwagę sukcesywny wzrost głębokości oraz skrupowane warunki prowadzenia eksploatacji należy się w przyszłości liczyć z dalszym wzrostem tego zagrożenia. Potwierdzeniem tej tezy jest stałe zwiększanie się ilości rejestrowanych wstrząsów wysokoenergetycznych generowanych podczas prowadzenia eksploatacji.

Na wielkość zagrożenia wstrząsowego składają się dwa niezależne od siebie zespoły czynników:

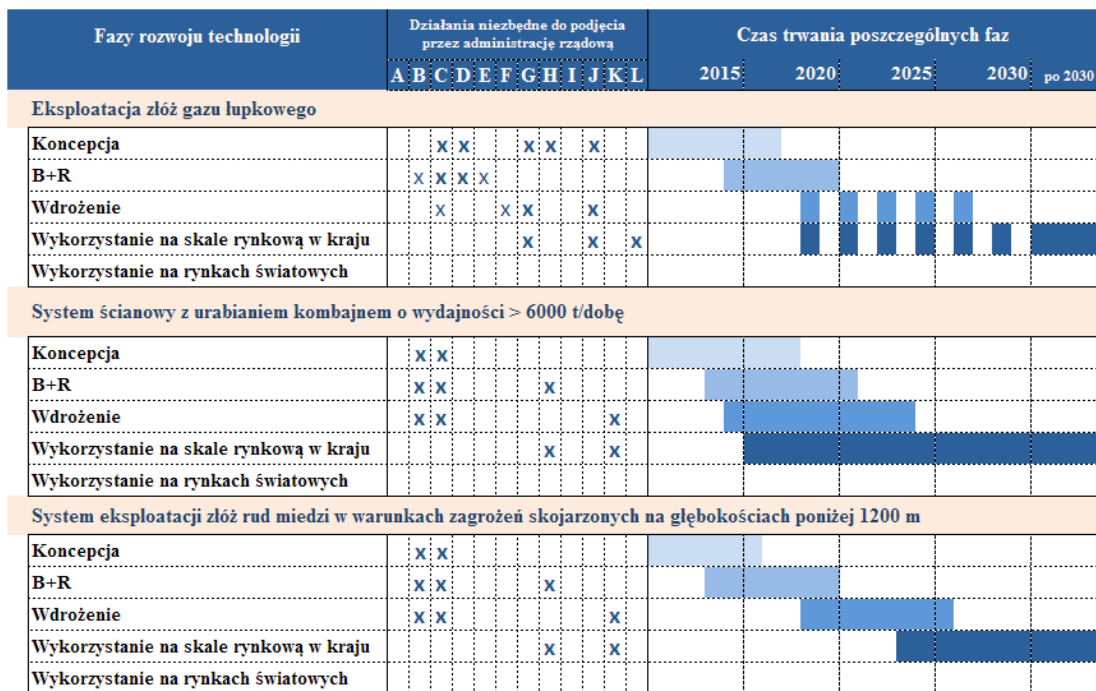
- naturalne, związane z budową geologiczną eksploatowanego złoża i własnościami geomechanicznymi skał to złoża tworzących oraz je otaczających,
- techniczno-organizacyjne, wynikające ze stosowanego systemu eksploatacji oraz technicznego wykonawstwa robót górniczych.

O ile pierwszy zespół czynników pozostaje poza możliwością modyfikacji, to zarówno system eksploatacji oraz technikę urabiania złoża można modyfikować. Uprawia to tezę, że badania nad nowymi systemami eksploatacji złóż miedzi na głębokości poniżej 1200 m mogą przynieść pozytywne skutki.

Rzeczony rozwój technologii związanych z eksploatacją rud miedzi na dużych głębokościach może nastąpić już przed rokiem 2020. Jest on uzależniony przede wszystkim od uwarunkowań polityki krajowej a w mniejszym stopniu polityki UE. Niezbędne będzie wtedy stosowanie zachęt dla przedsiębiorców w celu wdrażania przez nich innowacyjnych rozwiązań m.in. tworzenie instrumentów finansowych na wdrażanie i komercjalizację technologii. Przy takim scenariuszu wykorzystanie opisywanej technologii na skale rynkowej będzie możliwe około 2025 roku. Mapa drogowa ww. technologii wraz ze wskazaniem niezbędnych działań w celu wsparcia jej rozwoju w poszczególnych fazach została przedstawiona na rysunku 7.6.

Ze względu na to, iż technologia ta jest technologią alternatywną obecnie stosowanych technologii i zostanie wdrożona w przypadku wyczerpania zasobów rud miedzi na głębokościach powyżej 1200 m wyznaczenie krzywej życia technologii byłoby obarczone dużym błędem.

7.2.4. Wnioski i rekomendacje. Aktualnie obserwujemy na świecie rosnące zapotrzebowanie na surowce mineralne, przy jednoczesnym wyczerpywaniu się złóż



Legenda:

- A** Dofinansowanie infrastruktury badawczej
- B** Tworzenie instrumentów finansowych przeznaczonych dla sektora badawczego i przedsiębiorstw na prowadzenie badań
- C** Wspieranie sieci współpracy między nauką a biznesem
- D** Zapewnienie wsparcia pozafinansowego (np. tworzenie infrastruktury, sieci współpracy, promocja) na rozwój technologii
- E** Dostosowanie/zmiana/ukierunkowanie szkolnictwa zawodowego i wyższego
- F** Wsparcie poprzez przyjęcie programu lub polityki działań w zakresie rozwoju danej technologii
- G** Działania legislacyjne
- H** Tworzenie instrumentów finansowych przeznaczonych bezpośrednio dla sektora przedsiębiorstw na wdrażanie i komercjalizację technologii
- I** Wsparcie projektów pilotażowych w ramach kluczowych i niszowych technologii celem określenia ich wartości dodanej dla gospodarki i społeczeństwa
- J** Wprowadzenie odpowiednich instrumentów fiskalnych wsparcia wdrożenia komercyjnego (kredyty, podatki, dotacje)
- K** Stosowanie zachęt dla przedsiębiorców w celu wdrażania przez nich innowacyjnych rozwiązań
- L** Zastosowanie instrumentu zamówień publicznych oraz zamówień przedkomercyjnych na produkty i usługi - sektor publiczny jako główny klient

Rys. 7.6. Mapy drogowe technologii w obszarze technologii pozyskiwania surowców mineralnych wraz ze wskazanymi działaniami niezbędnymi do podjęcia przez administrację rządową w podziale na poszczególne fazy życia technologii

surowców mineralnych. W związku z tym rozwój technologii pozyskiwania surowców mineralnych należy do działań priorytetowych Unii Europejskiej. Rozwój tych technologii w Polsce wpłynie na zwiększenie innowacyjności i wydajności, a przez to konkurencyjności polskiego przemysłu oraz bezpieczeństwa surowcowego Polski. Pozwoli ponadto na uwzględnienie w bilansie surowcowym złóż trudnodostępnych lub niedostępnych, których eksploatacja metodami tradycyjnymi aktualnie jest nieuzasadniona ekonomicznie.

Obecnie wśród źródeł energii pierwotnej mamy w Polsce dominację węgla. Problemem jest brak możliwości znaczącej dywersyfikacji pozyskiwania energii z innych własnych źródeł. Niezbędnym jest uzyskanie dostępu do nowych surowców lub też nowych złóż surowców mineralnych do tej pory nieeksploatowanych. Szansą dostępu od nowych surowców może być gaz łupkowy, zaś badania nad nowymi systemami eksploatacji złóż miedzi mogą przynieść pozytywne skutki i otworzyć dostęp do zasobów na głębokości poniżej 1200 m.

Zagrożeniem dla eksploatacji gazu łupkowego mogą być nietrafne prognozy geologiczne oraz regulacje legislacyjne UE. Silną barierą jest groźba dewastacji środowiska naturalnego na obszarach eksploatacji. Natomiast barierą eksploatacji złóż miedzi na głębokości poniżej 1200 m mogą okazać się wysokie koszty wydobycia, które doprowadza do braku rentowności.

Krajowa polityka rozwojowa powinna uwzględniać światowy trend rosnącego zapotrzebowania na surowce mineralne oraz konieczność zapewnienia trwałych podstaw rozwoju polskiej gospodarki w oparciu o rodzime źródła surowców.

Szczegółowe rekomendacje dla technologii uznanych przez ekspertów realizujących projekt InSight 2030 jako obszary konkurencyjne w analizowanym polu badawczym przedstawiono na rysunku 7.6.

8. Wnioski i rekomendacje

Przeprowadzone w ramach projektu analizy, dyskusje panelowe, studia i eksperyty oraz opinie przekazywane przez wielu interesariuszy ze środowisk naukowych i przemysłowych pozwoliły sformułować szereg wniosków i rekomendacji. Te wnioski i rekomendacje, które dotyczyły specyficznej problematyki konkretnych technologii, zostały przedstawione w poświęconych im podrozdziałach „Analizy końcowej”. Poniżej ujęto wnioski dotyczące problemów ogólnych, odnoszących się do praktycznie do wszystkich pól badawczych, w szczególności w zakresie przemysłu przetwórczego.

1. Polski przemysł w ostatnich latach przeszedł głęboką modernizację. Został znacznie odnowiony park technologiczny, w dużej mierze dzięki programom operacyjnym dofinansowywanym ze środków europejskich. Wiele polskich przedsiębiorstw dysponuje dziś maszynami i urządzeniami technologicznymi o najwyższych parametrach. Rozwinęła się działalność innowacyjna przemysłu, o czym świadczy między innymi bardzo wysoki stan wykorzystania środków pomocowych. W dziedzinach o najwyższym poziomie technicznym, jak technologia ICT, fotonika czy biotechnologie, powstały nowe polskie przedsiębiorstwa, które zaczęły odgrywać znaczącą rolę na rynkach międzynarodowych.
2. Istotne zmiany nastąpiły także w polskiej nauce. Został zainicjowany szeroko zakrojony program budowy centrów badawczych zlokalizowanych przy najlepszych polskich uczelniach i ośrodkach naukowych. Wiele laboratoriów zostało wyposażonych w nowoczesną aparaturę i urządzenia doświadczalne umożliwiające prowadzenie badań na światowym poziomie. Wprowadzona ostatnio reforma systemu nauki wniosła szereg nowych instrumentów stymulujących współpracę nauki i biznesu oraz przedsiębiorczość akademicką. Wzmocniona została rola Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Utworzono Narodowe Centrum Nauki.
3. Nastąpił bardzo dynamiczny rozwój szkolnictwa wyższego, na skalę dotąd niespotykaną. Otwarte zostały możliwości kształcenia się i rozwijania kompetencji naukowych w najlepszych zagranicznych uczelniach i instytutach badawczych.

Polska staje się krajem ludzi wykształconych, przygotowanych do podjęcia wyzwań przyszłości.

Powyższe przesłanki pozwalają z dużym przekonaniem założyć, iż istnieją realne szanse realizacji celów rozwojowych określonych w projekcie InSight 2030. By te szanse i stworzony potencjał możliwie najlepiej wykorzystać, przedkłada się następujące rekomendacje wynikające ze zgłoszonych opinii i przeprowadzanych w ramach realizacji projektu InSight 2030 dyskusji (w nawiasach podano organ administracji rządowej lub samorządowej, do którego jest kierowany dany wniosek lub rekomendacja).

4. Prace naukowe i badawczo-rozwojowe prowadzone w Polsce cechuje duże rozproszenie tematyczne. W wielu przypadkach brak strategicznych, scentralizowanych programów badawczych, brak priorytyzacji tematyki i koncentracji środków finansowych na wybranych kierunkach i tematach, brak jednostek wiodących i koordynujących działalność naukową, badawczo-rozwojową i wdrożeniową w poszczególnych obszarach. Efektem jest niska synergia, długie terminy realizacji prac i stosunkowo nikłe efekty wdrożeniowe. Wnioskuje opracowanie dla każdego z sześciu obszarów technologicznych uznanych za kluczowe dla przemysłu przetwórczego programów strategicznych oraz powołanie jednostek wiodących – programujących i koordynujących te programy – nadzorowanych przez rady naukowe z udziałem przedstawicieli agend rządowych, w tym Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, oraz środowisk naukowych i przemysłowych. Rolę jednostki wiodącej można powierzyć państwowej jednostce naukowej lub biuru badawczo-rozwojowemu przemysłu (Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Minister Gospodarki).
5. Analiza tematyki prowadzonych prac rozwojowych i wdrożeniowych pozwala wnioskować, że nie ma korelacji między projektami badawczo-rozwojowymi finansowanymi przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz projektami prac badawczych i wdrożeń dofinansowywanymi przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości. Zagadnienie to powinno być przedmiotem pilnych analiz i decyzji, w szczególności wobec zbliżającego się nowego horyzontu finansowego dla funduszy strukturalnych i potrzeby przygotowania rozporządzeń regulujących kierunki i zasady finansowania przedsięwzięć podejmowanych po roku 2013 (Minister Rozwoju Regionalnego, Minister Gospodarki, Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego, prezes Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości, dyrektor Narodowego Centrum Badań i Rozwoju).
6. Jedną z przyczyn wyżej opisanego stanu rzeczy może być brak jednoznacznej odpowiedzialności organów rządowych za rozwój technologiczny Polski. Kompetencje w tym zakresie są rozłożone między ministra nauki i szkolnictwa wyższego i ministra gospodarki. Rozwiązaniem mogłoby być powołanie, wzorem

wielu krajów, ministerstwa innowacji i technologii lub rozszerzenie kompetencji ministra gospodarki i przekształcenie ministerstwa gospodarki w ministerstwo gospodarki i technologii, wzorem Republiki Federalnej Niemiec. Wprowadzenie do nazwy właściwego ministerstwa słowa „technologia” ma także znaczenie psychologiczne dla środowiska inżynierskiego. Nie wydaje się, by ogromne tempo rozwoju szkolnictwa wyższego w Polsce i towarzyszące mu problemy pozwoliły ministrowi nauki i szkolnictwa wyższego na szersze zajęcie się problematyką technologiczną (Prezes Rady Ministrów, Rada Ministrów).

4. Jedną z najbardziej newralgicznych faz procesu innowacyjnego jest etap (nazywany w wielu analizach doliną śmierci) zamiany nowej idei technologicznej w dostosowane do wymagań przemysłu i komercjalizacji rozwiązanie. Wnioskuje się, by – wzorem szeregu krajów – opracować program budowy nowoczesnych (*state-of-the-art.*) pilotowych linii testujących i demonstracyjnych. Linie te służyłyby przedsiębiorstwom do prowadzenia prac doświadczalnych oraz opracowywania prototypów. Inwestycje związane z tworzeniem linii pilotowych powinny być finansowane ze środków publicznych, państwowych lub europejskich, i lokalizowane w parkach naukowo-technologicznych. Korzystanie z nich przez przedsiębiorstwa powinno być częściowo odpłatne (Minister Gospodarki, Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego).
5. Ważnym zagadnieniem jest udoskonalenia funkcjonowania parków naukowo-technologicznych w Polsce. W wielu przypadkach ograniczają się one do wynajmu pomieszczeń i administrowania terenem. Rozwój w parkach funkcji wsparcia technologicznego jest zagadnieniem ważnym i pilnym. Wydaje się także celowe tworzenie parków wyspecjalizowanych w poszczególnych technologiach wzorem Doliny Krzemowej i innych parków tego typu w świecie (samorządy, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości).
6. Istotnym problemem jest uregulowanie statusu niepaństwowych jednostek badawczo-rozwojowych, zarówno od strony ich miejsca w systemie polskiej nauki, jak i zasad finansowania ich działalności oraz stosowanej wobec nich polityki podatkowej. Dotychczasowe uregulowania w tym zakresie, zawarte w ustawie o niektórych formach wspierania działalności innowacyjnej, są wyraźnie niezadawalające i wymagają pilnych zmian. Nadawanie tym jednostkom statusu jednostki naukowej na okres zaledwie roku koliduje z wieloletnim planowaniem działalności badawczej. Nie ma także w Polsce warunków prawnych do tworzenia państwowo-prywatnych instytutów badawczych. Ustawa o instytutach badawczych wyraźnie zastrzega nadawanie statusu instytutu badawczego wyłącznie państwowej jednostce organizacyjnej (Minister Gospodarki, Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego).

7. Nikły udział środowisk przemysłowych w ustalaniu i ocenie tematyki prac naukowych i badawczo-rozwojowych finansowanych ze środków budżetowych i europejskich, realizowanych przez państwowe jednostki naukowe. W doborze tej tematyki na ogół nie bierze się pod uwagę aspektów biznesowych, nie przeprowadza się analiz rynkowych. Regulacje prawne wprowadzające do oceny projektów badawczych kryteria oceny ich potencjału rynkowego i komercyjnej wartości oraz kryteria doboru składu zespołów oceniających z udziałem specjalistów z obszaru przemysłu i biznesu powinny istotnie wpłynąć na umocnienie więzi nauki i biznesu (Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego).
8. Wyniki badań w pełni potwierdzają powszechną opinię, iż najsłabszym ogniwem systemu sterowania rozwojem polskiej nauki i techniki jest faza wdrażania do praktyki gospodarczej wyników prac badawczo-rozwojowych i ich komercjalizacja. Wśród wielu czynników składających się na powyższy stan rzeczy jednym z najważniejszych jest luka kapitałowa w dostępie do t.zw. kapitału ryzyka (*risk capital*).

Luka kapitałowa, szczególnie dotyka najbardziej nowatorskie rozwiązania, z natury rzeczy charakteryzujące się wysokim ryzykiem oraz małe i średnie przedsiębiorstwa, w tym przedsiębiorstwa typu *spin-off* i *spin-out*, którym w świecie nadaje się duże znaczenie we wdrażaniu do praktyki gospodarczej nowych idei technologicznych. Zazwyczaj niewielkie zasoby finansowe twórców i słabość bazy kapitałowej polskiego przemysłu uniemożliwia finansowanie takich przedsięwzięć wyłącznie ze środków własnych. Żaden bank nie udzieli kredytu inwestycyjnego firmie bez wystarczająco długiej historii gospodarczej lub na przedsięwzięcie obciążone dużym ryzykiem, czym zawsze charakteryzuje się wdrożenie nowej idei technologicznej.

Fundusze inwestycyjne i inwestorzy kapitałowi typu PE/VC nie są zainteresowani wejściem kapitałowym w firmy *spin-off* i *spin-out*, będące z reguły małymi przedsiębiorstwami. Polskie fundusze załączkowe (*seed funds, business angels*), bardzo nieliczne i o stosunkowo niewielkich kapitałach, są bardziej z nazwy niż z faktycznej działalności funduszami podwyższonego ryzyka i raczej unikają finansowania wdrożeń nowych idei technologicznych. Wskazują na to ich dotychczasowe transakcje kapitałowe. Jak dotąd nie działają także – nie tylko w Polsce – załączkowe fundusze transgraniczne, o charakterze ogólnoeuropejskim.

Praktycznie jedynym dostępnym obecnie sposobem wsparcia kapitałowego dla wdrażania nowatorskich idei jest dofinansowanie ze środków pomocowych, co jednak w dłuższym horyzoncie czasowym nie może być traktowane jako normalne rozwiązanie systemowe. Stworzenie instrumentów ułatwiających pozyskiwanie kapitału niezbędnego do sfinansowania wdrożenia nowej

idei technologicznych jest podstawową kwestią warunkującą rozwój priorytetowych technologii.

Istotną zmianą byłoby utworzenie na polskim rynku kapitałowym państwowego lub państwowo-prywatnego Funduszu Wspomagania Wdrożeń, działającego na zasadach funduszu załączkowego (*seed fund*) o znacznym kapitale, z zakresem działania ograniczonym statutowo do wspomagania wdrożeń wyników prac badawczo-rozwojowych.

Wdrożenia nowych idei technologicznych z jednej strony mogą przynieść zyski o ponadprzeciętnej, niekiedy bardzo wysokiej rentowności. Z drugiej – jako obciążone podwyższonym ryzykiem – często kończą się fiaskiem komercyjnym. Stąd istotnym warunkiem skutecznego funkcjonowania Funduszu Wspomagania Wdrożeń jest dysponowanie odpowiednio dużym kapitałem, pozwalającym na jednoczesne finansowanie wielu przedsięwzięć. Tylko wówczas można racjonalnie przewidywać, że co najmniej jedno z nich przyniesie zyski, które z nadwyżką pokryją straty na nietrafionych wdrożeniach. Brak odpowiedniego kapitału u działających dziś na polskim rynku „aniołów biznesu” powoduje ich superostrożną politykę i finansowanie wyłącznie przedsięwzięć sprawdzonych, które co prawda nie przynoszą na ogół ponadprzeciętnych zysków, lecz za to rzadko kończą się całkowitym niepowodzeniem finansowym (Minister Gospodarki, Minister Finansów).

9. Nie stosuje się w Polsce do wspierania wdrożeń nowych idei technologicznych mechanizmu zamówień rządowych, bardzo skutecznie stosowanego w szeregu krajów instrumentu wprowadzania na rynek nowych idei technologicznych. Zazwyczaj upływa dość długi czas, by nieznaną dotąd wyrób zdobył masowego nabywcę. Wstrzymuje to przedsiębiorców przed podejmowaniem ryzyka. W krajach stosujących ten instrument rząd zamawia serię prototypową lub informacyjną nowego wyrobu, ponosząc część kosztów promocji lub ryzyka ewentualnego fiaska komercyjnego (Minister Gospodarki).
10. Bardzo słabo w Polsce funkcjonuje system transferu technologii ze sfery nauki do biznesu. Składa się na to szereg na ogół znanych czynników. Jedną z barier, którą jest stosunkowo łatwo usunąć są słabe centra transferu technologii działające przy uczelniach wyższych. Niektóre z nich zajmują się praktycznie tylko szkoleniem lub opracowywaniem wniosków o dofinansowywanie projektów. Brak jest jednostek wyspecjalizowanych w konkretnych obszarach technologicznych czy sektorach przemysłowych.

W krajach wysoko rozwiniętych technologicznie do kierowania jednostkami transferu technologii działającymi przy czołowych uczelniach pozyskiwani są menedżerowie z wieloletnim doświadczeniem, często nabytym w wielkich koncernach globalnych, doskonale rozeznanych w problemach rynkowych

i przemysłowych oraz posiadający duże kontakty osobiste w świecie biznesu i finansów. Wchodzą oni w skład gremiów kierowniczych uczelni, prowadząc badania rynku z punktu widzenia zapotrzebowania na nowe technologie i współuczestnicząc w opracowywaniu planów prac badawczo-rozwojowych uczelni z uwzględnieniem szans ich komercjalizacji.

Rekomenduje się podnieść status uczelnianych centrów transferu technologii poprzez odpowiednie regulacje prawne określające ich kompetencje i obowiązki oraz umożliwiające wprowadzenie w nich systemu płac właściwego dla działalności biznesowej. Wydaje się także celowe tworzenie międzyuczelnianych centrów transferu technologii, wyspecjalizowanych w poszczególnych obszarach technologii i zdolnych do działania na międzynarodowych rynkach obrotu własnością intelektualną (Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego).

11. Jedną z przyczyn niskiej efektywności wdrożeniowej i komercyjnej prowadzonych w Polsce w obszarach technologicznych prac naukowych i badawczo-rozwojowych jest przyjęty system kariery naukowej. Należy przyznać, że w ostatnim czasie próbuje się odejść od tradycyjnej drogi tej kariery, opartej głównie na publikacjach, wprowadzając do ocen dorobku np. liczbę posiadanych patentów, nie mniej są to działania niewystarczające. Liczba patentów nie odzwierciedla ani znaczenia przemysłowego, ani tym bardziej komercyjnego, nowych idei technologicznych czy pomysłów konstrukcyjnych. Coraz częściej w świecie ocenia się dorobek naukowca-technologa wartością rynkową jego opracowań. Jest to bardzo istotne w kraju takim jak Polska, dysponującym stosunkowo niewielkimi środkami na finansowanie działalności naukowej i pilnie potrzebującym dalszej modernizacji swego przemysłu (Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego).



Foresight Technologiczny Przemysłu InSight 2030 jest pierwszym w Polsce projektem foresight dotyczącym wszystkich sektorów przemysłowych. Cechą charakterystyczną tego projektu, odróżniająca go od dotychczas zrealizowanych w Polsce, jest podejście horyzontalne. Został on skoncentrowany na identyfikacji obszarów technologicznych, które warunkują rozwój wszystkich sektorów przemysłowych i stwarzają szanse na istotne zwiększenie ich konkurencyjności.

Prace ekspertów prowadzone były przy założeniu, że ich wskazania powinny prowadzić do budowania gospodarki opartej na wiedzy i innowacji oraz zrównoważonego rozwoju technologicznego kraju. Dla każdego z zidentyfikowanych jako kluczowe dla konkurencyjności całego przemysłu obszarów przeprowadzono szczegółowe analizy aktualnego ich stanu na świecie i w Polsce, szans jakie może przynieść ich rozwój dla polskiej gospodarki oraz istniejących barier i zagrożeń.

Tak szerokiego spektrum analiz nie przeprowadzono jeszcze w żadnym ze zrealizowanych w Polsce dotąd projektów foresight. Większość z nich dotyczyła bowiem

jednego lub kilku wybranych sektorów przemysłowych (foresight sektorowy) lub wybranego obszaru geograficznego (foresight regionalny). Do prac analitycznych pozyskano ekspertów reprezentujących najwyższy poziom wiedzy w swoich dziedzinach. Materiał zgromadzony w wyniku tych analiz oraz badań ankietowych jest bardzo bogaty i może być wykorzystany do wielu innych celów.

Dla osiągnięcia sukcesu w zakresie wdrażania wyników projektu Foresight Technologiczny Przemysłu InSight 2030 niezbędne jest monitorowanie działań i procesów określonych w projekcie oraz ciągła ich aktualizacja. Ponadto wnioskuje się:

- Utworzenie w Ministerstwie Gospodarki zespołu lub stanowiska ds. foresightu, które nadzorowałyby wdrażanie wyników projektu Foresight Technologiczny Przemysłu InSight 2030. Powinno ono także na bieżąco zamawiać i/lub formułować prognozy krótkoterminowe (1–3 lata) oraz długoterminowe (10–15 lat);
- Cykliczne prowadzenie studiów foresightowych w obszarach decydujących o konkurencyjności polskiego przemysłu. W krajach rozwiniętych nie traktuje się projektów foresight jako jednorazowych akcji, ale jako stały instrument analiz i działań o charakterze strategicznym.

Jacek Kucinski
29-11-2011

Lista technologii kluczowych i priorytetowych

1. Technologie kluczowe

1.1 Technologie kluczowe i priorytetowe w polu badawczym „Biotechnologie przemysłowe”. W wyniku przeprowadzonych przez panele tematyczne analiz w obszarze „Biotechnologie przemysłowe” **technologiami kluczowymi** dla polskiego przemysłu i związanych z nim usług, mającymi istotny wpływ na rozwój gospodarczo-społeczny kraju, zostały uznane następujące technologie:

1. Biosyntetyczne leki biopodobne
2. Biomonitoring i bioremediacja środowiska
3. Biopaliwa nowej generacji z odnawialnych surowców, w tym z odpadów
4. Wykorzystanie mikroalg do sekwestracji dwutlenku węgla ze źródeł przemysłowych
5. Nanobiotechnologie w otrzymywaniu nośników składników żywności
6. Biotechnologie utylizacji produktów ubocznych i odpadów przemysłu rolnospożywczego
7. Molekularna inżynieria katalizatorów przemysłowych
8. Bioaugmentacja, biosorpcja i bioługowanie
9. Pokrycia fotokatalityczne samooczyszczające
10. Biotechnologie w produkcji detergentów
11. Biodegradowalne tworzywa sztuczne
12. Technologie produkcji biosensorów

Spośród wymienionych technologii kluczowych, uwzględniając czynniki popytowe (stan prac badawczo-rozwojowych i uwarunkowania wdrożeniowe) oraz popytowe (zapotrzebowanie społeczne, chłonność rynków wiodących i niszowych, możliwość uzyskania przewagi konkurencyjnej w handlu międzynarodowym) za **technologie priorytetowe**, stanowiące potencjalne konkurencyjne specjalności przemysłowe, uznano następujące technologie:

1. Molekularna inżynieria katalizatorów przemysłowych

2. Biopaliwa nowej generacji z odnawialnych surowców, w tym z odpadów
3. Biosyntetyczne leki biopodobne

1.2 Technologie kluczowe i priorytetowe w polu badawczym „Nanotechnologie”. W wyniku przeprowadzonych przez panele tematyczne analiz w obszarze „Biotechnologie przemysłowe” **technologiami kluczowymi** dla polskiego przemysłu i związanych z nim usług, mającymi istotny wpływ na rozwój gospodarczo-społeczny kraju, zostały uznane następujące technologie:

1. Nanokataliza, w tym dla oczyszczania środowiska i produkcji energii
2. Nanomateriały konstrukcyjne i barierowe
3. Nanokompozyty polimerowe
4. Technologie nanomedycyny
5. Nanobiotechnologie
6. Nanometale
7. Technologie wytwarzania półprzewodników azotowych
8. Nanostruktury azotkowe
9. Nanostruktury węglowe (grafen, nanorurki)
10. Technologie uzyskiwania fulerenów na skalę przemysłową
11. Nanotechnologia przezroczystych tlenków przewodzących

Spośród wymienionych technologii kluczowych, uwzględniając czynniki popytowe (stan prac badawczo-rozwojowych i uwarunkowania wdrożeniowe) oraz popytowe (zapotrzebowanie społeczne, chłonność rynków wiodących i niszowych, możliwość uzyskania przewagi konkurencyjnej w handlu międzynarodowym), za **technologie priorytetowe**, stanowiące potencjalne konkurencyjne specjalności przemysłowe, uznano następujące technologie:

1. Nanokataliza, w tym dla oczyszczania środowiska i produkcji energii
2. Nanokompozyty polimerowe
3. Nanometale

1.3 Technologie kluczowe i priorytetowe w polu badawczym „Zaawansowane systemy wytwarzania”. W wyniku przeprowadzonych przez panele tematyczne analiz w obszarze „Zaawansowane systemy wytwarzania” **technologiami kluczowymi** dla polskiego przemysłu i związanych z nim usług, mającymi istotny wpływ na rozwój gospodarczo-społeczny kraju, zostały uznane następujące technologie:

1. Mechatronika robotów i maszyn
2. Technologie wytwarzania z zastosowaniem robotów, w szczególności robotyzacja stanowisk montażowo-wytwórczych w przemyśle maszynowym

3. Inteligentne systemy diagnostyki i wspomagania sterowania procesów technologicznych
4. Technologie przetwarzania obrazów wizyjnych w robotyce
5. Automatyczna akwizycja i analiza danych
6. Interferometryczne systemy pomiarowe
7. Technologie sterowania procesami i współbieżnymi
8. Systemy wytwarzania uwzględniające zużycie energii i wykorzystanie jej źródeł odnawialnych
9. Elastyczna automatyzacja i robotyzacja centów obróbczych
10. Sterowanie procesami z wykorzystaniem analizy obrazu
11. Modelowanie i algorytmizacja procesów technologicznych
12. Technologie prognozowania dynamiki procesów ewolucyjnych

Spośród wymienionych technologii kluczowych, uwzględniając czynniki popytowe (stan prac badawczo-rozwojowych i uwarunkowania wdrożeniowe) oraz popytowe (zapotrzebowanie społeczne, chłonność rynków wiodących i niszowych, możliwość uzyskania przewagi konkurencyjnej w handlu międzynarodowym), za **technologie priorytetowe**, stanowiące potencjalne konkurencyjne specjalności przemysłowe, uznano następujące technologie:

1. Elastyczna automatyzacja i robotyzacja centów obróbczych
2. Robotyzacja stanowisk montażowo-wytwórczych w przemyśle maszynowym
3. Systemy wytwarzania uwzględniające zużycie energii i wykorzystanie jej źródeł odnawialnych
4. Systemy wytwarzania uwzględniające zużycie energii i wykorzystanie jej źródeł odnawialnych

1.4. Technologie kluczowe i priorytetowe w polu badawczym „Technologie informacyjne i telekomunikacyjne”. W wyniku przeprowadzonych przez panele tematyczne analiz w obszarze „Technologie informacyjne i telekomunikacyjne” **technologiami kluczowymi** dla polskiego przemysłu i związanych z nim usług, mającymi istotny wpływ na rozwój gospodarczo-społeczny kraju, zostały uznane następujące technologie:

1. Infrastruktura i technologie systemów rozproszonych dla e-biznesu
2. Zaawansowane modelowanie złożonych struktur
3. Systemy wsparcia logistycznego i zarządzania łańcuchem dostaw
4. Telemedycyna, medycyna spersonalizowana
5. Inteligentne systemy sterowania ruchem drogowym
6. Technologie RFID (Radiowy System Identyfikacji)
7. Inteligentne sieci sensorów

8. Bezpieczeństwo informacji
9. Narzędzia i metody rozwoju systemów informacyjnych, w szczególności komponenty oprogramowania
10. Semantyczne technologie sieciowe
11. Technologie sztucznej inteligencji dla systemów wytwarzania
12. Systemy nawigacji satelitarnej dla sterowania ruchem pojazdów
13. Komputerowe technologie rozpoznawania i monitorowania obrazów

Spośród wymienionych technologii kluczowych, uwzględniając czynniki popytowe (stan prac badawczo-rozwojowych i uwarunkowania wdrożeniowe) oraz popytowe (zapotrzebowanie społeczne, chłonność rynków wiodących i niszowych, możliwość uzyskania przewagi konkurencyjnej w handlu międzynarodowym), za **technologie priorytetowe** uznano następujące technologie:

1. Inteligentne sieci sensorów
2. Kryptografia klasyczna i kwantowa
3. Technologie biometryczne
4. Telemedycyna
5. Medycyna personalizowana

1.5. Technologie kluczowe i priorytetowe w polu badawczym „Technologie mikroelektroniczne”. W wyniku przeprowadzonych przez panele tematyczne analiz w obszarze „Technologie mikroelektroniczne” **technologiami kluczowymi** dla polskiego przemysłu i związanych z nim usług, mającymi istotny wpływ na rozwój gospodarczo-społeczny kraju, zostały uznane następujące technologie:

1. Technologie otrzymywania grafenu
2. Technologie specjalizowanych mikrosystemów
3. Technologie oparte na wykorzystaniu węgla krzemu
4. Technologie wykorzystujące azotki
5. Technologie wytwarzania specjalizowanych układów scalonych analogowych i *mixed signal* o bardzo niskim poziomie mocy realizowane w technice FD-SOI oraz VESTIC
6. Technologie układów logicznych CMOS
7. Technologie litografii
8. Technologie wytwarzania detektorów promieniowania
9. Systemy RF (Radio Frequency)
10. Sensory i aktuatory
11. Biochipy
12. Tranzystory nanorunkowe
13. Pamięci molekularne

14. Technologie otrzymywania materiałów nadprzewodzących w temperaturze pokojowej

Spośród wymienionych technologii kluczowych, uwzględniając czynniki popytowe (stan prac badawczo-rozwojowych i uwarunkowania wdrożeniowe) oraz popytowe (zapotrzebowanie społeczne, chłonność rynków wiodących i niszowych, możliwość uzyskania przewagi konkurencyjnej w handlu międzynarodowym), za **technologie priorytetowe**, stanowiące potencjalne konkurencyjne specjalności przemysłowe, uznano następujące technologie:

1. Technologie specjalizowanych mikrosystemów
2. Technologie wytwarzania specjalizowanych układów scalonych analogowych i *mixed signal* o bardzo niskim poziomie mocy realizowane w technice FD-SOI oraz VESTIC
3. Technologie wytwarzania detektorów promieniowania

1.6. Technologie kluczowe i priorytetowe w polu badawczym „Technologie fotoniczne”. W wyniku przeprowadzonych przez panele tematyczne analiz w obszarze „Fotoniki” **technologiami kluczowymi** dla polskiego przemysłu i związanych z nim usług, mającymi istotny wpływ na rozwój gospodarczo-społeczny kraju, zostały uznane następujące technologie:

1. Technologie wytwarzania detektorów promieniowania
2. Technologie otrzymywania i zastosowań laserów półprzewodnikowych
3. Sensory fotoniczne sprzężone z technologią MEMS
4. Podzespoły pasywne wykonane w oparciu o światłowody plastikowe
5. Technologie mikro- i nanostrukturalnych specjalnych światłowodów fotonicznych oraz struktur kompozytowych
6. Polimerowe ogniwa słoneczne
7. Technologie kryształów stałych i ciekłych dla zastosowań fotonicznych
8. Technologie holograficzne i plazmoneczne
9. Technologie superczułych fotodetektorów nowej generacji dla obszarów podczerwieni i częstotliwości terahercowych
10. Technologie wykorzystujące organiczne diody elektroluminescencyjne (OLED)
11. Techniki obrazowania wielospektralnego i wielowymiarowego
12. Nieinwazyjne metody fotonicznej diagnostyki i terapii chorób cywilizacyjnych

Spośród wymienionych technologii kluczowych, uwzględniając czynniki popytowe (stan prac badawczo-rozwojowych i uwarunkowania wdrożeniowe) oraz popytowe (zapotrzebowanie społeczne, chłonność rynków wiodących i niszowych, możliwość uzyskania przewagi konkurencyjnej w handlu międzynarodowym), za

technologie priorytetowe, stanowiące potencjalne konkurencyjne specjalności przemysłowe, uznano następujące technologie:

1. Technologie specjalizowanych mikrosystemów
2. Technologie wytwarzania specjalizowanych układów scalonych analogowych i *mixed signal* o bardzo niskim poziomie mocy realizowane w technice FD-SOI oraz VESTIC
3. Technologie wytwarzania detektorów promieniowania

1.7 Technologie kluczowe i priorytetowe w polu badawczym „Czyste technologie węglowe”. W wyniku przeprowadzonych przez panele tematyczne analiz w obszarze „Czyste technologie węglowe” **technologiami kluczowymi** dla polskiego przemysłu i związanych z nim usług, mającymi istotny wpływ na rozwój gospodarczo-społeczny kraju, zostały uznane następujące technologie:

1. Technologia kotła pyłowego: podwyższone parametry nadkrytyczne, np. 250 bar 600/610°C
2. Technologia kotła pyłowego: parametry ultranadkrytyczne, np. 350 bar 700/700°C
3. Technologia kotła fluidalnego atmosferycznego podkrytycznego, np. 170 bar 570/570°C
4. Technologia kotła fluidalnego ze złożem cyrkulacyjnym – CFB, np. 280 bar 600/600°C
5. Technologia spalania w tlenie (oxy-combustion – retrofit)
6. Technologia spalania w tlenie CFB Oxy-combustion
7. Technologie przeróbki węgla/technologie głębokiego wzbogacania węgla na potrzeby wytwarzania ciepła i energii elektrycznej
8. Technologia zgazowania powietrznego (air-blown)
9. Technologia zgazowania tlenowego (oxygen-blown)
10. Wysokotemperaturowe reaktory gazowe, moduły 100–300 MW, także do użycia ciepła w technologiach upłynniania i gazyfikacji węgla
11. Współspalanie pośrednie biomasy z wykorzystaniem reaktora zgazowania
12. Współspalanie pośrednie z wykorzystaniem przedpaleniska
13. Współspalanie bezpośrednie biomasy z węglem
14. Zgazowanie węgla z karbonatyzacją
15. Koksowanie węgla
16. Ogniwa paliwowe węglowe
17. Technologie CCS

Spśród wymienionych technologii kluczowych, uwzględniając czynniki popytowe (stan prac badawczo-rozwojowych i uwarunkowania wdrożeniowe) oraz

popytowe (zapotrzebowanie społeczne, chłonność rynków wiodących i niszowych, możliwość uzyskania przewagi konkurencyjnej w handlu międzynarodowym), za **technologie priorytetowe**, stanowiące potencjalne konkurencyjne specjalności przemysłowe, uznano następujące technologie:

1. Technologia kotłów pyłowych pracujących przy parametrach ultranadkrytycznych, spalających węgiel wysokiej jakości,
2. Technologia zgazowania tlenowego, jako elementu technologii poligeneracyjnej,
3. Technologia współspalania bezpośredniego węgla z biomasą

1.8 Technologie kluczowe i priorytetowe w polu badawczym „Technologie racjonalizacji gospodarowania energią”. W wyniku przeprowadzonych przez panele tematyczne analiz w obszarze „Technologie racjonalizacji gospodarowania energią” **technologiami kluczowymi** dla polskiego przemysłu i związanych z nim usług, mającymi istotny wpływ na rozwój gospodarczo-społeczny kraju, zostały uznane następujące technologie:

1. Energooszczędne oświetlenie domowe, zewnętrzne i oświetlenie ulic w tym systemy oświetleniowe wykorzystujące LED i OLED
2. Rozwój systemów zarządzania energią w budynkach (BMS – Building Management Systems) – „inteligentny budynek”
3. Budownictwo nowych budynków – pasywnych, zeroenergetycznych, energetycznych plus (zużycie energii $< 15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$), w tym konstrukcje przegród budowlanych z wykorzystaniem materiałów izolacyjnych i elewacyjnych o wysokim oporze cieplnym
4. Termomodernizacja budynków do poziomu zużycia energii budynków „niskoenergetycznych” i pasywnych
5. Energooszczędne systemy grzewcze i przygotowania ciepłej wody użytkowej
6. Słoneczne instalacje grzewcze i instalacje wytwarzania ciepłej wody użytkowej
7. Energooszczędne AGD (np. lodówki z kamerą wewnętrzną, czytnikiem produktów wykorzystanie Funkcji grzania, itp.) oraz RTV, (CRT/PLAZMA/LCD), projektory
8. Wdrożenie na skalę masową tzw. papieru elektronicznego
9. Smart Grid – inteligentne sieci dystrybucji energii elektrycznej
10. Zmiany w stylu życia (praca zdalna, energooszczędne pranie, gotowanie, kąpiel, ograniczenie konsumpcji, telekonferencje, wyłączenie funkcji STANDBY oraz OFF-MODE, itp.)
11. Układy gazowo-parowe (CCGT)
12. Technologie wykorzystania energii odpadowej, w tym niskotemperaturowej energii odpadowej

13. Technologie lekkich, przyjaznych środowisku, pojazdów
14. Technologie zwiększające jakość i bezpieczeństwo dróg. Technologie zmniejszające opory ruchu
15. Wykorzystanie biomasy do produkcji ciepła w małej i średniej skali. Energetyczne wykorzystanie odpadów organicznych
16. Elektroenergetyczne transformatory niskostratne
17. Falownikowe układy do rozruchu i regulacji pracy silników elektrycznych
18. Urządzenia elektrotermiczne o wysokiej sprawności (ujmuje urządzenia grzewcze stosowane w przemyśle)
19. Nowoczesne silniki cieplne o wysokiej sprawności i niskiej emisji zanieczyszczeń
20. Racjonalizacja przesyłu gazu przez zastosowanie nowego typu rurowciągów oraz metod pomiaru szczelności/Zaawansowane technologie przesyłu gazu

Spośród wymienionych technologii kluczowych, uwzględniając czynniki popytowe (stan prac badawczo-rozwojowych i uwarunkowania wdrożeniowe) oraz popytowe (zapotrzebowanie społeczne, chłonność rynków wiodących i niszowych, możliwość uzyskania przewagi konkurencyjnej w handlu międzynarodowym), za **technologie priorytetowe**, stanowiące potencjalne konkurencyjne specjalności przemysłowe, uznano następujące technologie:

1. Budownictwo pasywne, zeroenergetyczne, energetyczne plus oraz termomodernizacja budynków do poziomu zużycia energii budynków „niskoenergetycznych” i pasywnych
2. Energooszczędne AGD (np. lodówki z kamerą wewnętrzną, czytnikiem produktów, wykorzystanie funkcji grzania, itp.) oraz RTV, (CRT/PLAZMA/LCD), projektory
3. Technologie lekkich, przyjaznych środowisku pojazdów

1.9 Technologie kluczowe i priorytetowe w polu badawczym „Nowoczesne urządzenia dla przemysłu wydobywczego”. W wyniku przeprowadzonych przez panele tematyczne analiz w obszarze „Nowoczesne urządzenia dla przemysłu wydobywczego” **technologiami kluczowymi** dla polskiego przemysłu i związanych z nim usług, mającymi istotny wpływ na rozwój gospodarczo-społeczny kraju, zostały uznane następujące technologie:

1. System zabezpieczenia sekcji obudowy zmechanizowanej przed dynamicznym oddziaływaniem górotworu
2. Technologie zwiększenia efektywności systemów drażenia wyrobisk korytarzowych przez stosowanie kompleksowych systemów mechanizacyjnych z rozdzielaniem procesu drażenia i stawiania obudowy

3. Nowoczesne systemy dyspozytorskie oparte na technikach cyfrowych w zakresie procesów produkcji dla podziemnych zakładów górniczych, z wykorzystaniem zintegrowanych systemów bezpieczeństwa oraz telewizji przemysłowej
4. Technologia wzbogacania w pełnym zakresie uziarnienia zarówno węgla energetycznych jak i koksowych
5. Technologie wytwarzania ścianowej obudowy zmechanizowanej z uwzględnieniem minimalizacji masy i doboru podporności oraz obudowy skrzyżowania ściana-chodnik
6. System automatycznego sterowania kompleksem ścianowym, systemu monitorowania środowiska górniczego w przodku i systemu transmisji teleinformatycznej
7. Obudowa zmechanizowana o regulowanej podporności wstępnej on-line, zmniejszająca energochłonność procesu skrawania i wypad grubych sortymentów
8. Doskonalenie systemów ciągnięcia, hamowania, sterowania i kontroli maszyny wyciągowej związane ze zwiększającą się głębokością eksploatacji
9. Innowacyjne technologie wiertnicze
10. Technologia kotwowa w zmieniających się warunkach geomechanicznych

Spośród wymienionych technologii kluczowych, uwzględniając czynniki popytowe (stan prac badawczo-rozwojowych i uwarunkowania wdrożeniowe) oraz popytowe (zapotrzebowanie społeczne, chłonność rynków wiodących i niszowych, możliwość uzyskania przewagi konkurencyjnej w handlu międzynarodowym) za **technologie priorytetowe**, stanowiące potencjalne konkurencyjne specjalności przemysłowe, uznano następujące technologie:

1. Nowoczesne systemy dyspozytorskie oparte na technikach cyfrowych w zakresie procesów produkcji dla podziemnych zakładów górniczych, z wykorzystaniem zintegrowanych systemów bezpieczeństwa oraz telewizji przemysłowej
2. Wzbogacanie w pełnym zakresie uziarnienia zarówno węgla energetycznych jak i koksowych
3. Obudowa zmechanizowana o regulowanej podporności wstępnej on-line, zmniejszająca energochłonność procesu skrawania i wypad grubych sortymentów

1.10 Technologie kluczowe i priorytetowe w polu badawczym „Technologie pozyskiwania surowców naturalnych”. W wyniku przeprowadzonych przez panele tematyczne analiz w obszarze „Nowoczesne urządzenia dla przemysłu wydobywczego” **technologiami kluczowymi** dla polskiego przemysłu i związanych z nim usług, mającymi istotny wpływ na rozwój gospodarczo-społeczny kraju, zostały uznane następujące technologie:

1. Technologie pozyskiwania węglowodorów do produkcji paliw
2. Technologie eksploatacji złóż gazu łupkowego
3. Wysokowydajne, zautomatyzowane techniki urabiania złóż
4. System eksploatacji złóż rud miedzi w warunkach zagrożeń skojarzonych
5. System ścianowy z urabianiem kombajnem o wydajności powyżej 6000 t/dobę
6. Zastosowanie zintegrowanych bloków wydobywczych (układy KTZ)

Spośród wymienionych technologii kluczowych, uwzględniając czynniki podażowe (stan prac badawczo-rozwojowych i uwarunkowania wdrożeniowe) oraz popytowe (zapotrzebowanie społeczne, chłonność rynków wiodących i niszowych, możliwość uzyskania przewagi konkurencyjnej w handlu międzynarodowym), za **technologie priorytetowe**, stanowiące potencjalne konkurencyjne specjalności przemysłowe, uznano następujące technologie:

1. Technologie eksploatacji złóż gazu łupkowego
2. System ścianowy z urabianiem kombajnem o wydajności powyżej 6000 t/dobę
3. System eksploatacji złóż rud miedzi w warunkach zagrożeń skojarzonych na dużych głębokościach poniżej 1200 m

2. Lista technologii priorytetowych stanowiących potencjalne specjalności konkurencyjne

Wdrażając do wszystkich sektorów przemysłu i związanych z nim usług technologie kluczowe, Polska powinna szeroko korzystać z dorobku światowej myśli technicznej oraz uczestniczyć w realizacji europejskich i międzynarodowych programów badawczych, a jednocześnie rozwijać własne specjalizacje naukowe i przemysłowe, które mogą odnieść sukces na rynku globalnym. Przyjmując powyższe założenia spośród wymienionych w rozdziale 3 technologie kluczowych wyłoniono 34 technologie priorytetowe – stanowiące potencjalne konkurencyjne obszary przemysłowe – na których, zdaniem ekspertów, powinno być skoncentrowane wsparcie systemowe i finansowe. Przy wyborze tych technologii kierowano się następującymi kryteriami podażowymi i popytowymi:

- wpływ danej technologii na rozwój społeczno-gospodarczy kraju, w tym w szczególności na poziom technologiczny polskiego przemysłu,
- spójność z kierunkami prac badawczo-rozwojowych w świecie, w szczególności w UE, i trendami rozwojowymi techniki światowej,
- potencjał badawczo-rozwojowy i przemysłowy Polski w obszarze danej technologii,
- dotychczasowe wyniki prac badawczo-rozwojowych prowadzonych w Polsce,

- wielkość nakładów finansowych niezbędnych do wdrożenia wyników prac badawczo-rozwojowych i wejścia na rynek globalny, z uwzględnieniem możliwości finansowania ze środków wsparcia,
- zapotrzebowanie rynku krajowego,
- strukturę rynku światowego, w tym europejskiego, w zakresie wyrobów i usług, które w przyszłości będą korzystać z analizowanej innowacyjnej technologii, w tym istnienie nisz rynkowych.

Mając na uwadze powyższe kryteria jako **priorytetowe technologie, stanowiące potencjalne konkurencyjne obszary przemysłowe**, zidentyfikowano następujące technologie:

1. Molekularna inżynieria katalizatorów przemysłowych
2. Biopaliwa nowej generacji z odnawialnych surowców w tym z odpadów
3. Biosyntetyczne leki biopodobne
4. Pokrycia fotokatalityczne samooczyszczające
5. Nanokataliza dla oczyszczania środowiska i produkcji energii
6. Nanokompozyty polimerowe
7. Nanometale
8. Elastyczna automatyzacja i robotyzacja centrów obróbczych
9. Robotyzacja stanowisk montażowo-wytwórczych w przemyśle maszynowym
10. Systemy wytwarzania uwzględniające optymalizację zużycia energii i wykorzystanie odnawialnych źródeł energii
11. Sterowanie procesami z wykorzystaniem metod analizy obrazu
12. Inteligentne sieci sensorów
13. Kryptografia klasyczna
14. Kryptografia kwantowa
15. Telemedycyna
16. Medycyna personalizowana
17. Technologie specjalizowanych mikrosystemów
18. Technologie wytwarzania specjalizowanych układów scalonych analogowych i mixed signal o bardzo niskim poborze mocy realizowane w technice FD-SOI oraz VESTIC
19. Technologie wytwarzania detektorów promieniowania
20. Technologie mikro- i nanostrukturalnych specjalnych światłowodów fotonicznych oraz struktur kompozytowych
21. Technologie kryształów stałych i ciekłych dla zastosowań fotonicznych
22. Technologie superczułych fotodetektorów nowej generacji dla obszarów podczerwieni i częstotliwości terahercowych

23. Technologia kotłów pyłowych pracujących przy parametrach ultranadkrytycznych, spalających wysokiej jakości węgiel
24. Technologia zgazowania tlenowego, jako elementu technologii poligeneracyjnej
25. Technologia współspalania bezpośredniego węgla z biomasą
26. Budownictwo pasywne, zeroenergetyczne, energetyczne plus oraz termomodernizacja budynków
27. Energooszczędne AGD i RTV
28. Technologie lekkich, przyjaznych środowisku pojazdów
29. Nowoczesne systemy dyspozytorskie oparte na technikach cyfrowych w zakresie procesów produkcji dla podziemnych zakładów górniczych, z wykorzystaniem zintegrowanych systemów bezpieczeństwa oraz telewizji przemysłowej
30. Wzbogacanie w pełnym zakresie uziarnienia zarówno węgla energetycznych jak i koksowych
31. Obudowa zmechanizowana o regulowanej podporności wstępnej on-line, zmniejszająca energochłonność procesu skrawania i wypad grubych sortymentów,
32. Eksploatacja złóż gazu łupkowego
33. System ścianowy z urabianiem kombajnem o wydajności powyżej 6000 t/dobę
34. System eksploatacji złóż rud miedzi w warunkach zagrożeń skojarzonych na głębokościach poniżej 1200 m

Szczegółowy opis technologii priorytetowych, ich znaczenie przemysłowe i komercyjne oraz przewidywane trendy rozwoju przedstawiono w tomie IV „Studia foresight w zakresie pól badawczych”.