

1. Wprowadzenie

Jednym z zadań wynikających z wytycznych polityki naukowej, naukowo-technicznej i innowacyjnej państwa do 2020 roku jest **gospodarka oparta na wiedzy (GOW)**, która zasa-
dza się na tworzeniu traktowanym jako produkcja oraz na dystrybucji i praktycznym wykorzy-
staniu wiedzy i informacji. Podstawą rozwoju gospodarczego są zatem produkcja, dystrybucja
i wdrożenie, a wiedza będąca produktem stanowi główny przyczynek do zrównoważonego
rozwoju. Wśród podstawowych programów i inicjatyw Unii Europejskiej realizowanych
w ramach współpracy międzynarodowej dla osiągnięcia wymienionego stanu jest **7. Program
Ramowy Wspólnoty Europejskiej na lata 2007-2013** (7. PR) w zakresie badań, rozwoju
technologicznego i wdrożeń. Wzmacnianie potencjału badawczego Europy, tworzenie regio-
nów wiedzy, budowanie infrastruktury badawczej, a także spójny rozwój polityk badawczych
oraz działania w zakresie współpracy międzynarodowej wyznaczają zakres programu szcze-
gółowego **CAPACITIES** (Możliwości) 7. PR o zasadniczym znaczeniu dla konkurencyjności
i utrzymania potencjału wytwórczego Unii Europejskiej, niezbędnego wzmocnienia badań
przemysłowych, oraz wprowadzania nowych rozwiązań dla doskonaleniu istniejącego
potencjału wytwórczego. Program szczegółowy **IDEAS** (Pomysły) 7. PR zakłada wspieranie
najbardziej twórczych, interdyscyplinarnych badań naukowych na granicy wiedzy (ang.:
frontier research). Do sił napędowych (ang.: *drivers*) rozwoju nowych technologii, określo-
nych przez Komisję Europejską należy presja na rozwój nowych technologii, intensyfikacja
popytu na nowe materiały i procesy produkcyjne oraz spełnianie zasad zrównoważonego
rozwoju. Szanse sukcesu mają głównie zespoły i laboratoria interdyscyplinarne, w skład
których wchodzi specjaliści wielu dziedzin. Efekty innowacyjne i związana z tym konkuren-
cyjność wytwórców produktów na rynkach międzynarodowych zależne są oczywiście od przy-
jętej strategii rozwojowej technologii. Brak możliwości konkurowania przez Unię Europejską
z krajami rozwijającymi się o relatywnie taniej sile roboczej, wymusza wybór strategii
integracji różnych zaawansowanych dziedzin nauki i technologii oraz osiągania efektów
synergicznych w opracowywaniu nowych technologii, w tym materiałowych i dotyczących
kształtowania struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich, czego skutkiem

z pewnością będzie generowanie nowych miejsc pracy dla wysoko wykwalifikowanych kadr. Obszar merytoryczny badań określonych w 7. PR dotyczący głównej linii rozwojowej inżynierii materiałowej i metod wytwarzania objęty jest tematem „*Nanonauki, nanotechnologie, materiały i nowe technologie produkcyjne*” programu szczegółowego **COOPERATION** (Współpraca) 7. PR i dobrze wpisuje się w politykę europejską budowania konkurencyjnej Europy. Technologie procesów materiałowych i nowe materiały stanowią kluczowy zakres badawczo-rozwojowy B+R, o zasadniczym znaczeniu dla przemysłu oraz innych obszarów zastosowań tych technologii. Do określenia tychże programów szczegółowych 7. PR w zakresie materiałów i metod wytwarzania wykorzystano wyniki badań wykonanych w ramach Foresightu technologicznego Europy w 5. i 6. Programach Ramowych Wspólnoty Europejskiej i ogłoszonych w raportach z realizacji projektów *The Future of Manufacturing in Europe (FutMan)*¹⁾ oraz *Manufacturing Visions The Futures Project (ManVis)*²⁾. Uogólnieniem wyników Foresightu europejskiego na różne nowe materiały i różne technologie procesów materiałowych jest oczekiwanie na wytwarzanie materiałów o własnościach zamówionych przez użytkowników produktów. Zasadniczo zmienia to **metodologię projektowania materiałowego** w ogólności oraz projektowania materiałowego produktów, gdyż na żądanie wytwórców należy dostarczać materiały o odpowiednio ukształtowanej strukturze gwarantującej wymagany zespół własności fizyko-chemicznych, a nie jak poprzednio z dostarczonych materiałów o oferowanych strukturze i własnościach wytwórca mogli dokonywać wyboru materiału najbardziej zbliżonego do oczekiwań. Prognozy europejskie wymuszają zatem klasyfikację materiałów inżynierskich ze względu na **charakterystyki funkcjonalne**. Wobec tego mniej istotny jest rodzaj użytego materiału, a ważniejsza jest jego funkcjonalność. W raportach projektu FutMan ujawniono zmianę w ocenie roli materiałów inżynierskich, które nie mogą być nadal postrzegane jako towary same w sobie, o poszukiwanych dla nich zastosowaniach, a rynek nowych materiałów inżynierskich nie może pozostawać w dalszym ciągu rynkiem producenta. Nowe materiały inżynierskie i procesy wytwarzania są bowiem podporządkowane potrzebom klienta i funkcjom użytkowym produktów. Wytwarzanie **materiałów spełniających potrzeby wytwórców** produktów rynkowych w odpowiednim czasie i miejscu (ang.: *materials on demand*) stanowi priorytet nowych technologii materiałowych i procesów wytwarzania. Z tak

¹⁾ http://ec.europa.eu/research/industrial_technologies/pdf/pro-futman-doc3a.pdf

²⁾ http://manufacturing-visions.org/download/Final_Report_final.pdf

zmienioną metodologią projektowania materiałowego wiązą się liczne działania określone w tym Foresighcie europejskim związane z modelowaniem i symulacją procesów wytwarzania oraz predykcją własności eksploatacyjnych materiałów, opracowaniem bezpiecznych technologii materiałów i produktów złożonych z elementów nanostrukturalnych, normalizacją badań własności materiałów zwłaszcza nanostrukturalnych, opracowaniem metodyki predykcji zachowań nowych materiałów podczas eksploatacji. W europejskim Foresighcie technologicznym przewiduje się komplementarne technologie **bazowe** (doskonalenie istniejących rozwiązań), **alternatywne** (wykorzystujące synergię różnych rozwiązań) i **oryginalne** (opracowywanie nowych rozwiązań). Do głównych zadań w tym zakresie zaliczono aplikacje osiągnięć nanonauki i nanotechnologii jako technologii przyszłościowych (ang.: *emerging technologies*), ze względu na przewidywane możliwości opracowywania nowych materiałów inżynierskich dla oczekiwanych zastosowań, jak również uproszczenie procesów przetwórstwa materiałów inżynierskich. W projekcie FutMan przewidziano alternatywne możliwości rozwoju nowych procesów wytwarzania w odniesieniu do nowych materiałów inżynierskich przez **specjalizację** (doskonalenie istniejących technologii materiałowych przez osiągnięcie jednej z podstawowych ich funkcji), **konwergencję** (uzyskanie założonych cech użytkowych przez powiązanie ze sobą różnych typów materiałów inżynierskich) oraz **integrację** (wytwarzanie materiałów wielofunkcyjnych przy wykorzystaniu wiedzy z wielu dziedzin nauki i technologii dla spełnienia wymagań użytkowników i przetwórców materiałów).

Poprawa własności użytkowych produktów wymagana przez nowe strategie rozwoju materiałów inżynierskich, w tym biomedycznych oraz technologii procesów materiałowych określone w projekcie FutMan związana jest bardzo często z odpowiednim kształtowaniem struktury i własności **warstw powierzchniowych** materiałów inżynierskich i biomedycznych. Własności użytkowe wielu produktów i ich elementów zależą bowiem nie tylko od możliwości przeniesienia obciążeń mechanicznych przez cały czynny przekrój elementu z zastosowanego materiału lub od jego własności fizykochemicznych, lecz bardzo często także lub głównie od struktury i własności warstw powierzchniowych [1-6]. W wyniku odpowiedniego doboru materiału elementu wraz z procesami kształtującymi jego strukturę i własności oraz rodzaju i technologii warstwy powierzchniowej, zapewniających wymagane własności użytkowe, możliwe jest najkorzystniejsze zestawienie własności rdzenia i warstwy powierzchniowej wytworzonego elementu. Współcześnie bardzo często wytwarza się materiały powierzchniowo

gradientowe. Koncepcja **funkcjonalnych materiałów gradientowych** (FGM – ang.: *functionally graded materials*) dotycząca materiałów, w których własności zmieniają się stopniowo, w sposób ciągły lub dyskretny (skokowo), wraz z położeniem, została teoretycznie przewidziana jeszcze w roku 1972 przez Bevera i współpracowników [7, 8], lecz rozwinięta dopiero po 15 latach w ramach projektu badawczego podjętego w Japonii, kiedy to opracowano liczne metody wytwarzania takich materiałów [9-13], i szczegółowo przebadana w ostatnim dziesięcioleciu w ramach priorytetowego programu w Niemczech [14], a w latach 2005-2007 także w Polsce, w ramach których metodycznie przeanalizowano wiele nowoczesnych technologii wytwarzania materiałów tej kategorii. Gradientowe własności materiałów uzyskuje się dzięki zmieniającym się z położeniem składem chemicznym, składem fazowym i strukturą lub uporządkowaniem atomów. Wśród procesów wytwarzania funkcjonalnych materiałów gradientowych można wyróżnić metody metalurgii proszków związane ze zróżnicowaniem wielkości ziarn na przekroju [15-19] jak również z gradientem temperatury w czasie spiekania [20], udziałem fazy ciekłej [21], wspomagania laserowego i wyładowania plazmowego [22, 23]. Wśród współczesnych metod można wyróżnić związane z gradientem udziału objętościowego faz i zróżnicowaniem wielkości ziarn w materiałach dwu lub wielowarstwowych [14], w tym także przez zalewanie gęstwy [24]. Metoda ta została również zbadana w Austrii [25] w odniesieniu do węglików spiekanych i cermetali [26] jak również w Hiszpanii [27] w odniesieniu do stali szybko tnących. W Izraelu opracowano metodę wtapienia NbC w osnowę stali szybko tnącej z użyciem lasera [28]. Gradientowe warstwy stopowane wytworzono z użyciem lasera w Chinach [29-31] na podłożach z różnych metali. Warstwy gradientowe są również wytwarzane metodami PVD na podłożu ze spiekanych materiałów narzędziowych [32-37]. Można uzyskiwać warstwy gradientowe przez spiekanie w reaktywnej atmosferze [25], jak również w obecności par metali, np. Cr [38]. We wszystkich wymienionych zakresach istotny jest również wkład własnych prac Zakładu Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

Ustawicznym dążeniem projektantów jest wola opracowania i wytworzenia idealnego materiału, np. narzędziowego, który wykazywałby równocześnie maksymalnie możliwą odporność na zużycie w warunkach pracy oraz wysoką ciągliwość. Z natury rzeczy takie połączenie własności jest niemożliwe do uzyskania. Podejmowano wobec tego różne próby

choćby częściowego rozwiązania problemu przez stworzenie struktur warstwowych, m.in. metodami obróbki cieplno-chemicznej, przez wytworzenie materiałów kompozytowych oraz pokrywanie jednowarstwowe metodami CVD i PVD, a także napawanie lub natryskiwanie twardych warstw metodą metalizacji natryskowej. Każda z tych metod wykazuje jednak ograniczenia, związane m.in. z nieodpowiednią grubością warstwy wierzchniej, a zwłaszcza z problemami związanymi z nieodpowiednią przyczepnością wytworzonej warstwy lub ze zbyt dużymi naprężeniami między warstwą wierzchnią a podłożem, co często jest przyczyną przyspieszonego złuszczenia lub odpryskiwania warstwy, zwłaszcza w warunkach superpozycji wewnętrznych naprężeń strukturalnych i naprężeń zewnętrznych wynikających z obciążeń w warunkach pracy. **Hybrydowe technologie** zawierające między innymi procesy obróbki cieplno-chemicznej, stopowania, przetapiania lub wtapiania laserowego, formowania wtryskowego proszku, a także fizycznego osadzania z fazy gazowej zapewniają pełne i kompleksowe rozwiązanie problemu projektowania materiałów do odpowiednich zastosowań. Jest to nowoczesny kierunek technologiczny i atrakcyjny badawczo. W tym świetle ponownie atrakcyjne stały się klasyczne technologie, w tym obróbki cieplno-chemicznej. Obecnie koncepcja funkcjonalnych materiałów gradientowych, w tym **narzędziowych materiałów gradientowych**, należy bowiem do jednej z najpowszechniej badanych w świecie, jako jedna z możliwości dostosowywania (ang.: *tailoring*) własności różnych elementów i narzędzi do wymogów eksploatacyjnych. W tym obszarze Zakład Technologii Procesów Materiałowych, Zarządzania i Technik Komputerowych w Materiałoznawstwie Instytutu Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych Politechniki Śląskiej w Gliwicach ma również znaczące dokonania.

Koncepcja gradientu struktury i własności materiałów obecnie najczęściej dotyczy warstw powierzchniowych różnych grup materiałów inżynierskich, w tym konstrukcyjnych, narzędziowych, funkcjonalnych oraz biomedycznych. Powoduje to coraz większe zainteresowanie ośrodków naukowych w całym świecie tą problematyką, a nawet swoisty nawrót do technologii, których jak się wydawało znaczenie poprzednio nawet zmalało. Ten nawrót zainteresowań wynika głównie z przesłanek ekonomicznych, ale również ekologicznych, a także wynika ze zwiększenia własności eksploatacyjnych produktów wytworzonych z udziałem tych technologii, które często stosowane są jako hybrydowe, łącząc różne technologie zapewniające najlepsze możliwie własności kolejno na sobie nałożonych warstw powierzchniowych.

Obróbka powierzchni przez **uzupełnienie ubytków** w eksploatowanych długotrwale elementach maszyn i urządzeń, np. pojazdów samochodowych i silników spalinowych, oraz kształtowanie struktury i powierzchni ponownie ukształtowanych elementów konstrukcyjnych, stanowić może obecnie podstawę re-manufacturingu. Przykładowo w Chinach, kraju o gospodarce najintensywniej rozwijającej się w świecie, wybudowano całkowicie nowe fabryki wyposażone w najnowsze dostępne na świecie urządzenia do obróbki powierzchniowej, z wykorzystaniem technologii laserowych, plazmowych, PVD i CVD, w których całkowitej renowacji poddawane są zużyte całkowicie samochody, z których odzyskuje się niezużyte elementy, a pozostałe poddaje się re-manufacturingowi. Koszty ponownego wyprodukowania pojazdu stanowią jedynie część kosztów produkcji pojazdu nowego, przy ponownym zapewnieniu 100% trwałości. Ma to również ogromne znaczenie dla **wtórnego obrotu surowcami** i ich **recyklingu** i niewątpliwie stanowi oryginalny wkład do idei zrównoważonego rozwoju i popierania technologii proekologicznych.

O ile rozeznanie nowoczesnych technologii kształtowania struktury i własności powierzchni poszczególnych grup materiałów inżynierskich i biomedycznych przez środowisko naukowe można uznać za dobre, o tyle wdrażanie nowości technologicznych w tym zakresie w jednostkach przemysłowych, a zwłaszcza w małych i średnich przedsiębiorstwach, z pewnością nie jest zadowalające. Należy przy tym zauważyć, że problem nie dotyczy wyłącznie awangardowych technologii realizowanych przez wzorcowe przedsiębiorstwa, lecz również bezwzględnej potrzeby podwyższenia średniego poziomu realizacji tych technologii przez statystyczną większość producentów, co ma bardzo istotne znaczenie dla jakości i trwałości, statystycznej większości produktów trafiających na rynek oraz istotnie decyduje o konkurencyjności krajowej gospodarki. W świetle tych uwag problem ma ważne znaczenie gospodarcze. Technologie obróbki powierzchniowej wymagają upowszechnienia oraz wdrożenia we wszelkich uzasadnionych przypadkach, zwłaszcza w małych i średnich przedsiębiorstwach, które dysponują relatywnie małymi środkami na badania i rozwój. Wszystkie z argumentów wspomnianych w projekcie FutMan w odniesieniu do nowych materiałów inżynierskich dotyczą także technologii kształtowania struktury i własności warstw powierzchniowych materiałów inżynierskich i biomedycznych. Najczęściej z powodów ekonomicznych, ale również ekologicznych winny być wdrażane nowe technologie w tym zakresie, które często należą do domeny **nanotechnologii**, a kształtowane powłoki powierzchniowe o grubości kilku mikrometrów

złożone mogą być z kilkudziesięciu do kilkuset warstw. Technologie obróbki powierzchniowej są coraz bardziej powszechnie stosowane we wszystkich niemal sektorach produkcyjnych przemysłu, w tym samochodowym, budownictwie, wyposażenia medycznego, urządzeń sanitarnych, elektrotechnice, elektronice, a nawet przy wytwarzaniu biżuterii. Ale jest też wiele innych sektorów będących ważnymi odbiorcami dla branży obróbki powierzchniowej, w tym między innymi przemysł budowy maszyn i narzędzi, przemysł metalurgiczny, elektrotechniczny, elektroniczny, tworzyw polimerowych oraz przemysł lotniczy. W wyniku odpowiedniego doboru procesów kształtujących strukturę i własności produktów, rodzaju i technologii warstwy powierzchniowej oraz materiału podłoża elementu zapewniane są bowiem wymagane własności użytkowe wytworzonych elementów.

Zdefiniowanie wiodących technologii i kierunków badań strategicznych w zakresie metod kształtowania struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich i biomedycznych stanowi warunek opracowania własnych strategii rozwojowych przez wiele małych i średnich przedsiębiorstw i poprawy ich konkurencyjności w skali krajowej i globalnej, w wyniku aplikacji i rozwoju zaawansowanych technologii kształtowania struktury i własności powierzchni, jako istotnego fragmentu technologii wytwarzania produktów oraz warunkuje bardziej elastyczną adaptację produkcji do aktualnych potrzeb rynkowych. Technologie kształtowania struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich i biomedycznych są coraz bardziej powszechnie stosowane w wielu sektorach produkcyjnych przemysłu, w tym w przemyśle budowy maszyn i narzędzi, samochodowym, lotniczym, metalurgicznym, elektrotechnicznym, elektronicznym, tworzyw sztucznych, wyposażenia medycznego, urządzeń sanitarnych, budownictwie, elektrotechnice, elektronice, jubilerstwie. Branża obróbki powierzchniowej i pokrywania powierzchni to jeden z najbardziej dynamicznie rozwijających się sektorów gospodarki, np. w Niemczech z kilkunastoprocentową dynamiką w porównaniu ze średnim około 2,7% wzrostem gospodarczym w tym kraju, co zaprezentowano m.in. na targach „**ŚWIAT POKRYĆ POWIERZCHNI**” Centralnego Związku Technik Obróbki Powierzchniowej ZVO w Stuttgarcie w Niemczech w 2008 roku. Analizy niemieckie wskazują, że wzrost gospodarczy firm aktywnych w obszarze inżynierii powierzchni jest zatem ponad 4-krotnie większy niż średnia krajowa, a kształtowanie struktury i własności warstw powierzchniowych produktów i ich elementów wytworzonych z materiałów inżynierskich i biomedycznych zapewnia polepszenie własności użytkowych, trwałości i niezawodności produkcji. Z nieproporcjonalnie

wysoką, kilkunastoprocentową dynamiką rozwijał się sektor pokryć galwanicznych i obróbki powierzchni, obejmujący wyłącznie przedsiębiorstwa małe i średnie, zatrudniające od 5 do 400 pracowników. Podstawowe zainteresowanie tą problematyką przejawiają przedstawiciele przemysłu (77%) oraz służb serwisowych (16%). Równocześnie obecne zainteresowania zawodowe w Niemczech dotyczą usług w zakresie obróbki powierzchniowej (44%), urządzeń czyszczących i przygotowujących do obróbki powierzchni (22%), technologii elektrolitycznych (21%), specjalnych systemów obróbki powierzchniowej (17%), materiałów lakierniczych i surowców do obróbki powierzchniowej (9%), systemów lakierniczych, emalierskich i pokrywania materiałami polimerowymi (9%), systemów kontroli zanieczyszczeń powodowanych przez obróbkę powierzchniową (9%), systemów kontrolno-pomiarowych stosowanych do obróbki powierzchniowej (6%), systemów obróbki laserowej oraz plazmowej (2%) i systemów kształtowania struktury powierzchni (1%). Wśród zagadnień najbardziej interesujących wymieniane są technologie elektrolityczne (38%), urządzenia czyszczące i przygotowujące do obróbki powierzchni (30%), usługi w zakresie obróbki powierzchniowej (28%), systemy kontrolno-pomiarowe stosowane do obróbki powierzchniowej (24%), specjalne systemy obróbki powierzchniowej (23%), materiały lakiernicze i surowce do obróbki powierzchniowej (21%), systemy lakiernicze, emalierskie i pokrywania materiałami polimerowymi (20%), systemy kontroli zanieczyszczeń powodowanych przez obróbkę powierzchniową (14%), systemy obróbki laserowej oraz plazmowej (11%) i systemy kształtowania struktury powierzchni (5%).

Pomiędzy tymi dwoma zestawieniami występują znaczące różnice. Niezależnie od oceny tego, na ile adekwatny jest podział na wskazane zakresy zainteresowań oraz od oceny reprezentatywności wykonanych ankiet należy bezsprzecznie stwierdzić, że obserwuje się znaczące zainteresowanie postępowaniem w wymienionej branży przemysłowej. Przewidywanie intensywnego rozwoju tej branży również w Polsce, uzasadnia zainteresowanie wymienioną problematyką. Branża ta oprócz wielkich wytwórców, np. samochodów, samolotów lub urządzeń energetycznych, obejmuje wiele przedsiębiorstw małych i średnich, w tym również często kooperujących z wielkimi wytwórcami produktów gotowych. Wdrażanie nowości technologicznych w tym zakresie w jednostkach przemysłowych, a zwłaszcza w małych i średnich przedsiębiorstwach, z pewnością nie jest zadowalające. Należy zauważyć, że problem nie dotyczy wyłącznie awangardowych technologii realizowanych przez wzorcowe przedsiębiorstwa, lecz również bezwzględnej potrzeby podwyższenia średniego poziomu

realizacji tych technologii przez statystyczną większość producentów, w tym zwłaszcza drobnych, co ma bardzo istotne znaczenie dla jakości i trwałości, statystycznej większości produktów trafiających na rynek oraz istotnie decyduje o **konkurencyjności krajowej gospodarki**. Problem ma zatem ważne znaczenie gospodarcze. W długim horyzoncie czasowym polskie przedsiębiorstwa, wzorem firm działających w krajach tzw. starej Unii Europejskiej, powinny kłaść bowiem nacisk na ciągły rozwój zaawansowanych technologii wytwarzania i poszukiwanie innowacyjnych rozwiązań, w celu realizacji produkcji elastycznie reagującej na ciągle zmiany preferencji klientów. Rozwój ten powinien bazować na osiągnięciach sfery badawczo-rozwojowej, której zasadnicze kierunki badań powinny być zbieżne z kierunkami rozwoju firm wynikającymi z szans, jakie płyną dla nich z otoczenia, zapewniając deklarowany zrównoważony rozwój.

W okresie styczeń-wrzesień 2008 roku wśród działów o znaczącym udziale w produkcji metod kształtowania struktury i własności powierzchni w największym stopniu zwiększyła się produkcja: maszyn i urządzeń o 19,9% (w tym produkcja urządzeń do wytwarzania i wykorzystywania energii mechanicznej, w wyłączeniu silników lotniczych, samochodowych i motocyklowych o 20,6%), pojazdów samochodowych, przyczep i naczep o 16,2% (w tym produkcja pojazdów samochodowych o 20,1%), obróbka metali o 15,7%, obróbka metalowych elementów konstrukcyjnych o 14,1%. W województwie śląskim produkuje się 91,4% polskiego węgla kamiennego, 63,0% wyrobów walcowanych, 42,6% koksu, 68,8% stali surowej, 19,7% energii elektrycznej i 82,7% samochodów ogólnego przeznaczenia. Dla gospodarki województwa w dalszym ciągu duże znaczenie ma górnictwo węgla kamiennego, hutnictwo żelaza, cynku i ołowiu, energetyka, przemysł elektromaszynowy, spożywczy i chemiczny, a w ostatnim okresie również przemysł motoryzacyjny. W procesie przebudowy gospodarki województwa śląskiego rozwój sektora małych i średnich przedsiębiorstw (MSP) ma znaczenie strategiczne. Od kilkunastu lat zmienia się struktura własnościowa i organizacyjna przedsiębiorstw województwa. Przybywa małych i średnich firm prywatnych, prowadzących różnorodną działalność gospodarczą. W 2003 r. w województwie śląskim w sektorze prywatnym pracowało 946,7 tys. osób (tj. 10,7% zatrudnienia krajowego tego sektora), co stanowiło 63,3% pracujących ogółem (w kraju 70,1%). W województwie śląskim mieszka 4,65 mln osób, co stanowi 12,2% ludności Polski. Pod względem liczby ludności znajduje się na 2. miejscu w kraju po województwie mazowieckim (13,6%). Na 1 km² powierzchni ogólnej przypadało

przeciętnie 377 osób (w kraju 122 osoby). Pod względem gęstości zaludnienia województwo śląskie zajmowało pierwsze miejsce w kraju. Województwo śląskie jest najbardziej zurbanizowanym województwem w kraju. W końcu 2007 r. w miastach mieszkało 3647,2 tys. osób, tj. 78,4% ogólnej liczby ludności. Województwo śląskie mieści się w grupie najsilniejszych gospodarczo regionów Polski. W regionie wytwarza się 13,7% Produktu Krajowego Brutto (PKB) i 17,2% krajowej produkcji sprzedanej przemysłu (z tego 62% przypada na sektor prywatny). Pod względem wielkości wytwarzanego PKB województwo śląskie zajmuje po województwie mazowieckim (20,4%) drugie miejsce w kraju. Produkt Krajowy Brutto w przeliczeniu na 1 mieszkańca wynosi 22,6 tys. zł i jest wyższy od średniej krajowej (20,4 tys. zł). Jest to efektem prężności skoncentrowanego tutaj przemysłu, jak również rozwoju sektora prywatnego i usług. W świetle przedstawionych danych można stwierdzić, że rynek przedsiębiorstw przemysłowych wykorzystujących bezpośrednio w produkcji metody kształtowania struktury i własności powierzchni, w tym zwłaszcza w województwie śląskim, jest dynamiczny i należy do najszybciej rozwijających się w kraju^{3,4)} (tabl. 1 i 2 oraz rys. 1).

Tablica 1

Działy przemysłu o dużym lub bardzo dużym udziale metod kształtowania struktury i własności powierzchni w produkcji (w I-II kwartale 2008 r. wg klasyfikacji GUS)

Lp.	Dział przemysłu	Liczba przedsiębiorstw		Produkcja sprzedana w cenach bieżących		Przeciętne zatrudnienie	
		liczba	%	mln PLN	%	tys. osób	%
	WSZYSTKIE PRZEDSIĘBIORSTWA PRZEMYSŁOWE	8 592	100	385 068,1	100	2 140,8	100
1.	Produkcja metali	170	2,0	21 326,0	5,5	63,3	2,9
2.	Produkcja wyrobów z metali	1 048	12,2	20 481,5	5,3	169,0	7,9
3.	Produkcja maszyn i urządzeń	729	8,5	21 279,4	5,5	161,9	7,6
4.	Produkcja instrumentów medycznych, precyzyjnych i optycznych, zegarów i zegarków	127	1,5	2 310,7	0,6	26,4	1,2
5.	Produkcja pojazdów samochodowych, przyczep i naczep	272	3,2	44 717,0	11,6	128,0	6,0
Razem		2 346	27,4	110 114,6	28,6	548,6	25,6

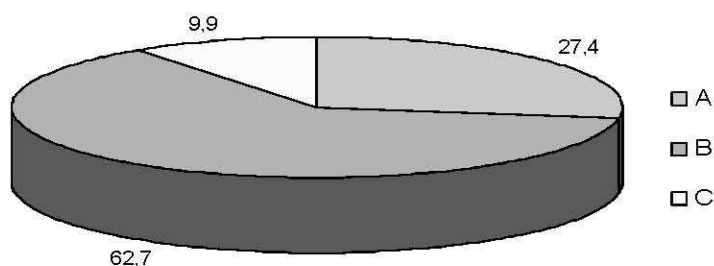
³⁾ „Informacja o sytuacji społeczno-gospodarczej kraju. I-III kwartał 2008 r.” z dnia 22.10.2008 r., GUS

⁴⁾ http://www.stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/PUBL_tablice_nakl_przem_II_kw_2008.xls

Tablica 2

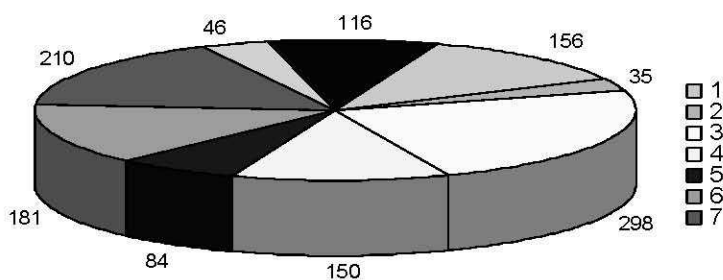
Działy przemysłu stosujące metody kształtowania struktury i własności powierzchni w ograniczonym zakresie lub wykorzystujące narzędzia i oprzyrządowani wykonane z zastosowaniem tych metod (w I-II kwartale 2008 r. wg klasyfikacji GUS)

Lp.	Dział przemysłu	Liczba przedsiębiorstw		Produkcja sprzedana w cenach bieżących		Przeciętne zatrudnienie	
		liczba	%	mln PLN	%	tys. osób	%
	WSZYSTKIE PRZEDSIĘBIORSTWA PRZEMYSŁOWE	8 592	100	385 068,1	100	2 140,8	100
1.	Górnictwo węgla kamiennego i brunatnego; wydobywanie torfu	28	0,3	12 384,0	3,2	138,7	6,5
2.	Produkcja artykułów spożywczych i napojów	1 453	16,9	57 668,9	15,0	295,2	13,8
3.	Włókiennictwo	287	3,3	3 946,3	1,0	55,6	2,6
4.	Produkcja skór wyprawionych i wyrobów z nich	111	1,3	1 045,2	0,3	16,9	0,8
5.	Produkcja drewna i wyrobów z drewna oraz ze słomy i wikliny	403	4,7	8 389,8	2,2	71,2	3,3
6.	Produkcja masy włóknistej oraz papieru	189	2,2	7 283,3	1,9	31,5	1,5
7.	Działalność wydawnicza; poligrafia i reprodukcja zapisanych nośników informacji	263	3,1	6 354,6	1,7	44,8	2,1
8.	Produkcja koksu i produktów rafinacji ropy naftowej	24	0,3	28 375,6	7,4	14,5	0,7
9.	Produkcja wyrobów chemicznych	288	3,4	23 035,6	6,0	90,9	4,2
10.	Produkcja wyrobów gumowych i z tworzyw sztucznych	602	7,0	16 674,5	4,3	112,9	5,3
11.	Produkcja wyrobów z pozostałych surowców niemetalicznych	429	5,0	16 467,8	4,3	101,9	4,8
12.	Produkcja metali	170	2,0	21 326,0	5,5	63,3	3,0
13.	Produkcja maszyn biurowych i komputerów	23	0,3	696,7	0,2	5,4	0,3
14.	Produkcja maszyn i aparatury elektrycznej	308	3,6	13 182,3	3,4	94,6	4,4
15.	Produkcja sprzętu i urządzeń radiowych, telewizyjnych i telekomunikacyjnych	75	0,9	7 231,7	1,9	31,9	1,5
16.	Produkcja pozostałego sprzętu transportowego	127	1,5	5 308	1,4	62,1	2,9
17.	Produkcja mebli; pozostała działalność produkcyjna	533	6,2	11 879,7	3,1	132,3	6,2
18.	Przetwarzanie odpadów	37	0,4	1 631,9	0,4	5,0	0,2
Razem		5 350	62,3	242 881,9	63,1	1 368,7	63,9



Rysunek 1. Udział procentowy liczby przedsiębiorstw: A – o dużym lub bardzo dużym udziale metod kształtowania struktury i własności powierzchni w produkcji, B – stosujących metody kształtowania struktury i własności powierzchni w ograniczonym zakresie lub wykorzystujących narzędzia i oprzyrządowanie wykonane z zastosowaniem tych metod, C – pozostałych

Zagadnieniami dotyczącymi kształtowania struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich i biomedycznych jest potencjalnie zainteresowanych 1276 instytucji i jednostek naukowych w kraju⁵⁾. Szczegółowe dane prezentujące liczbę tych instytucji z uwzględnieniem głównych obszarów tematycznych będących przedmiotem ich działalności przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Instytucje naukowe zainteresowane wynikami foresightu; 1 – Automatyka i robotyka, 2 – Inżynieria biomedyczna, 3 – Budowa i eksploatacja maszyn, 4 – Elektrotechnika, 5 – Energetyka, 6 – Inżynieria materiałowa, 7 – Mechanika, 8 – Metalurgia, 9 – Transport

Analiza informacji publicznych dotyczących finansowania badań ze środków publicznych, obecnie za pośrednictwem Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, wskazuje że tematyka inżynierii powierzchni stanowi zauważalną część finansowanych projektów badawczych. Finansowano również poważniejsze projekty o zbliżonej tematyce, między innymi

⁵⁾ Szacunek na podstawie bazy danych OPI (stan na dzień 10.11.2008)

projekt zamawiany dotyczący materiałów gradientowych oraz projekt FOREMAT, którego głównym celem było opracowanie scenariuszy rozwoju technologii materiałów metalowych, ceramicznych i kompozytowych w Polsce, przy zastosowaniu najnowszych osiągnięć metodologii foresight, a także projekt ROTMED dotyczący monitorowania i scenariuszy rozwoju technologii medycznych w Polsce. Projekty badawcze z natury rzeczy dotyczyły szczegółowych aspektów związanych ze zjawiskami i mechanizmami zachodzącymi w różnych materiałach w wyniku lub w trakcie obróbki powierzchniowej, chociaż tematyka metod kształtowania struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich i biomedycznych nie była w nich reprezentowana.

W celu ukierunkowania rozwoju najkorzystniejszych rozwiązań technologicznych dotyczących kształtowania struktury i własności warstw powierzchniowych produktów i ich elementów wytworzonych z materiałów inżynierskich i biomedycznych z punktu widzenia poprawy konkurencyjności przedsiębiorstw, zwłaszcza małych i średnich oraz polepszenia własności użytkowych, trwałości i niezawodności produkcji podjęto realizację **projektu FORSURF nt. „Foresight wiodących technologii kształtowania własności powierzchni materiałów inżynierskich i biomedycznych”**. Wyniki projektu adresowane są do wielu przedsiębiorstw na terenie całego kraju i zostaną wykorzystane w ich proinnowacyjnej działalności, przyczyniając się do intensyfikacji transferu wiedzy do gospodarki. Promocja wyników projektu oraz szerokie wykorzystanie elektronicznych narzędzi, takich jak strona internetowa, bazy danych o technologiach kształtowania własności powierzchni materiałów inżynierskich i biomedycznych oraz produktach, do których mogą być zastosowane, konferencje, warsztaty i seminaria zapewniające dostęp do wyników projektu, bardzo szerokiemu gronu użytkowników jego rezultatów.

Celem ogólnym projektu FORSURF jest zwiększenie innowacyjności i konkurencyjności polskiej gospodarki poprzez zacieśnienie współpracy między sferą badawczo-rozwojową (B+R) a gospodarką, a w szczególności dostosowanie tematyki prac badawczych do bieżącego i rzeczywistego zapotrzebowania przedsiębiorstw przemysłowych oraz zwiększenie zaangażowania krajowych przedsiębiorstw w działalność proinnowacyjną, co przyczyni się do wzrostu chłonności innowacji i absorpcji finansowania działalności proinnowacyjnej w gospodarce. **Głównym celem** projektu FORSURF jest identyfikacja priorytetowych innowacyjnych technologii oraz kierunków badań strategicznych w zakresie metod kształtowania struktury

i własności powierzchni materiałów inżynierskich i biomedycznych, których rozwój w kraju będzie miał kluczowe znaczenie w ciągu najbliższych 20 lat. Projekt jest realizowany z udziałem wysokiej klasy ekspertów z kraju i z zagranicy przy zastosowaniu najnowszych osiągnięć w metodologii foresightu, jako ważne źródło diagnoz kluczowych problemów naukowych, technologicznych, gospodarczych i ekologicznych oraz instrument prognozowania i podejmowania decyzji przez władze krajowe zarządzające nauką, środowisko biznesowe oraz instytucje administracji publicznej. Identyfikacja priorytetowych innowacyjnych technologii dotyczących metod kształtowania struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich i biomedycznych ma na celu ukierunkowanie wzrostu innowacyjności polskich przedsiębiorstw produkcyjnych i przyczynienie się do zrównoważonego rozwoju gospodarczego kraju. Wytyczenie kierunków badań strategicznych w zakresie przedmiotu projektu FORSURF ma związek ze zwiększeniem roli nauki polskiej w gospodarce oraz z pozytywnym wpływem na poziom konkurencyjności polskich badań z zakresu nauk technicznych w UE i na świecie. Proinnowacyjne ukierunkowanie krajowych badań naukowych i działalności polskich przedsiębiorstw przyczynia się do zwiększenia udziału innowacyjnych produktów w gospodarce krajowej, a co za tym idzie wpływa na utworzenie licznych nowych, trwałych miejsc pracy związanych z budową gospodarki opartej na wiedzy. Istota celów projektu FORSURF jest w pełni zgodna z celami Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, gdyż bezpośrednio lub pośrednio przyczynia się do zwiększenia innowacyjności przedsiębiorstw, wzrostu konkurencyjności polskiej nauki, zwiększenia roli polskiej nauki w rozwoju gospodarczym, zwiększenia udziału innowacyjnych produktów polskiej gospodarki w rynku międzynarodowym, tworzenia trwałych i lepszych miejsc pracy, a także wzrostu wykorzystania technologii informacyjnych i komunikacyjnych w gospodarce. Projekt jest zgodny z tematyką określoną przez ministra właściwego ds. nauki w zakresie celów polityki naukowej, naukowo-technicznej i innowacyjnej państwa. Identyfikacja priorytetowych innowacyjnych technologii i kierunków badań strategicznych będącym głównym celem projektu umożliwia właściwe ukierunkowanie rozwoju, a tym samym wpływa pozytywnie na wzrost innowacyjności polskich przedsiębiorstw, które działają w obszarze tematycznym objętym projektem. Projekt ze względu na badawczy charakter wspiera także rozwój gospodarki opartej na wiedzy (GOW), który jest jednym z priorytetowych zadań wynikających z wytycznych polityki naukowej, naukowo-technicznej i innowacyjnej państwa do 2020 roku.

Celem niniejszej publikacji jest ogólna analiza podstawowych danych literaturowych dotyczących stanu technologii kształtowania struktury i własności warstw powierzchniowych oraz identyfikacja stosowanych w Polsce technologii i pożądanego ich rozwoju wraz ze wskazaniem produktów, dla których należy je zastosować, w celu wyłonienia najbardziej efektywnych i koniecznych do upowszechnienia w przemyśle rozwiązań. Efektem upowszechnienia wiedzy w tym zakresie wśród środowisk przemysłowych i naukowych zainteresowanych tą tematyką oraz aktywizacja debaty publicznej jej dotyczącej, stwarza dobre podstawy do rozpoczęcia badań nad identyfikacją i następnym rozwojem wiodących technologii i związanych z tym kierunków badań strategicznych w zakresie metod kształtowania struktury i własności powierzchni materiałów inżynierskich i biomedycznych oraz produktów i ich elementów.