

**KIERUNKI ROZWOJU
WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII
MATERIAŁOWEJ**

SPIS TREŚCI

1. OBRAZ WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ

1.1. Najpopularniejsze kierunki badań rozwojowych.....	3
1.2. Biomateriały i nanomateriały.....	6
1.3. Materiały o niskiej gęstości wykorzystywane konstrukcyjnie.....	13
1.4. Materiały i powłoki wykorzystywane do pracy w warunkach ekstremalnych.....	15
1.5. Materiały o szczególnych właściwościach elektrycznych, magnetycznych i optycznych.....	17

2. PRZYSZŁOŚĆ INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ

2.1. Kierunki badań poznawczych.....	23
2.2. Nanomateriały.....	28
2.3. Biomateriały.....	32
2.4. Materiały funkcjonalne, inteligentne, kompozytowe i gradientowe	34
2.5. Czyste technologie materiałowe.....	39

BIBLIOGRAFIA.....	41
-------------------	----

SPIS RYSUNKÓW.....	45
--------------------	----

SPIS TABEL.....	46
-----------------	----

1. OBRAZ WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ

1.1. Najpopularniejsze kierunki badań rozwojowych

Inżynieria materiałowa jako nauka, której zadaniem jest projektowanie i wytwarzanie nowych materiałów ma duży wpływ na rozwój społeczny i gospodarczy świata. Kierunki badań rozwojowych i poznawczych w jej obszarze określają liczne strategie. W skali Europy najważniejszy jest siódmy Program Ramowy - 7PR oraz strategia grupy technologicznej: tezy do badania Delphi. Grupa wydzieliła 16 obszarów badań wraz z szczegółowymi kierunkami. Najbardziej związane z inżynierią materiałową przedstawia tabela 1.1.

Tabela 1.1. Potrzeby technologiczne i szczegółowe kierunki badań [45]

Nowe materiały konstrukcyjne, funkcjonalne oraz procesy inżynierii powierzchni dla urządzeń mechatronicznych oraz mikro- i nanorobotyki	Opracowanie mechatronicznych układów wykonawczych nowej generacji przy wykorzystaniu potencjału technologii obliczeniowych, informatycznych i narzędzi sztucznej inteligencji oraz opracowanie nanomateriałów dla mikro- i nanorobotyki	Nanomateriały i nanotechnologie dla wytwarzania podzespołów mechatronicznych wykonawczych nowej generacji w skali przemysłowej
		Cienkie warstwy funkcjonalne oraz technologie osadzania dla wytwarzania czujników oraz niskotarciowych skojarzeń ciernych w wymiarze mikro- i nanometrycznym
		Urządzenia i narzędzia badawcze i procesowe dla nanotechnologii, mikro- i nanorobotyki dla uruchomienia produkcji w skali przemysłowej
Materiały funkcjonalne dla inżynierii biomedycznej	Poprawa jakości i komfortu życia	Nowe biomateriały oraz powierzchniowa modyfikacja poprawiająca biogodność i tolerancję układu immunologicznego
Zaawansowane urządzenia i procesy bez- i niskoemisyjnych technologii materiałowych nowej generacji	Produkcja urządzeń na potrzeby „czystych” technologii materiałowych nowej generacji	Technologie i urządzenia do: próżniowej rafinacji metali lekkich i ziem rzadkich, obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej stopów metali, wytwarzania materiałów konstrukcyjnych i funkcjonalnych nowej generacji oraz komponentów dla przemysłu motoryzacyjnego i maszynowego z wykorzystaniem metod czystej technologii

		Rozwój czystej technologii oraz urządzeń plazmo-chemicznych w inżynierii powierzchni w celu uszlachetniania produktów i uzyskania wysokiej trwałości, niezawodności, lepszych walorów estetycznych maszyn i urządzeń technicznych
--	--	---

7 Program Europejski zakłada podział środków finansowych na cztery kategorie, z których wyróżnione zostały duże projekty – Cooperation.

„W programie szczegółowym COOPERATION wspierana będzie międzynarodowa współpraca badawcza w dziesięciu wybranych obszarach tematycznych odpowiadających głównym dziedzinom wiedzy i technologii. Każdemu z obszarów przyporządkowany został odpowiedni budżet.”¹

Tabela 1.2. Budżet obszarów tematycznych programu COOPERATION (mln euro) [i52]

1. Zdrowie	6100
2. Żywność, rolnictwo i biotechnologia,	1935
3. Technologie informacyjne i komunikacyjne	9050
4. Nanonauki, nanotechnologie, materiały i nowe technologie produkcyjne	3475
5. Energia	2350
6. Środowisko (w tym zmiany klimatu)	1890
7. Transport (w tym aeronautyka)	4160
8. Nauki społeczno-ekonomiczne i humanistyczne	623
9. Przestrzeń kosmiczna	1430
10. Bezpieczeństwo	1400
Razem Cooperation	32 413

W Polsce kierunki badań obecnie przeprowadzanych określiła wydana w kwietniu 2008 roku „Strategia rozwoju nauki w Polsce do 2015 roku” oraz strategia indywidualnych krajowych zespołów badawczych. Zespoły badawcze, aby zrealizować swoje cele muszą zajmować się pozyskiwaniem źródeł finansowania.

¹ 7. Program Ramowy (7PR) Wspólnoty Europejskiej - badań, rozwoju technologicznego i wdrożeń (2007-2013), www.kpk.gov.pl/pliki/plik.html?id=6637

Dokument wyznaczający kierunki badań rozwojowych w Polsce opracowany został przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

„Wdrażanie „Strategii rozwoju nauki w Polsce do 2015 roku” będzie wspierało wzrost konkurencyjności polskiej nauki poprzez realizację następujących celów szczegółowych:

- wzmocnienie współpracy nauki z gospodarką,
- poprawa ilościowego i jakościowego poziomu kadry naukowej,
- poprawa efektywności instytucji sfery badawczo-rozwojowej (B+R) prowadzących i finansujących badania,
- rozwój infrastruktury naukowo-badawczej.”²

Według założeń projektu środki finansowe na badania mają być przyznawane w dwóch kategoriach: prace poznawcze oraz poznawczo - rozwojowe. Przykład podziału środków przeznaczonych na badania rozwojowe, dla grup materiałowych przedstawia tabela 1.3.

Tabela 1.3. Propozycja podziału środków na badania rozwojowe w obszarze inżynierii materiałowej [45]

Grupa materiałów	Udział procentowy
Materiały o specjalnych właściwościach optycznych	12
Biomateriały	12
Materiały o niskiej gęstości do zastosowań konstrukcyjnych	12
Materiały konstrukcyjne do pracy w warunkach dużych obciążeń mechanicznych	12
Materiały i powłoki do pracy w warunkach i środowiskach ekstremalnych	10
Materiały dla energetyki	10
Materiały o specjalnych właściwościach elektrycznych lub magnetycznych	8
Materiały odzieżowe i obuwnicze	6
Materiały narzędziowe	4
Materiały o specjalnych właściwościach chemicznych	2
Materiały na opakowania, celuloza i papier	2
Pozostałe	10

Kierunki wybranych badań rozwojowych zostały omówione w podrozdziałach 1.2. – 1.6.

² Zieliński A.: Strategie badań i rozwoju w obszarze inżynierii materiałowej. Inżynieria Materiałowa, nr5, 2008, s. 515

1.2. Biomateriały i nanomateriały

„Biomateriały to substancje różne od leków lub kombinacji substancji syntetycznych albo naturalnych, które mogą być użyte jako część lub całość systemu, zastępującego tkanki lub organ albo pełniącego jego funkcje. Biomateriały cechują się wymaganą biotolerancją (biokompatybilnością), czyli zgodnością biologiczną i harmonią interakcji z żywą materią. Biomateriały o wymaganej biotolerancji po wprowadzeniu do organizmu nie wywołują ostrych lub chronicznych reakcji albo stanu zapalnego otaczających tkanek. Wyróżnia się następujące grupy biomateriałów:

- metalowe,
- ceramiczne,
- węglowe,
- polimerowe,
- kompozytowe.”³

Do grupy biomateriałów metalowych zaliczane są m.in. stopy o osnowie kobaltu, stale Cr-Ni-Mo o strukturze austenitycznej, metale szlachetne, tytan i jego stopy oraz tantal i niob wraz z ich stopami. Większą biotolerancją, odpornością na ścieranie i korozję charakteryzują się biomateriały ceramiczne. Największą biotolerancję wykazują biomateriały ceramiczne, które są resorbowalne w organizmie (np. hydroksyapatyt, dwuwapniowy fosforan bezwodny). W chirurgii wykorzystywane są biomateriały węglowe zbudowane z kompozytów (włókna węglowe i kompozyt węgiel-węgiel) lub warstw węglowych (diamentowych DF i diamentopodobnych DLC). Dużo zastosowań posiadają biomateriały polimerowe, które mogą być wytwarzane w organizmach żywych. Do kontaktu z krwią powstały materiały syntetyczne atrombogenne (np. silikon) oraz antytrombogenne (np. polikwas akrylowy), które zapobiegają tworzeniu się zakrzepów krwi.

Rozwój biomateriałów zapoczątkowany w 1937 roku wyprodukowaniem polimetakrylanu metylu (pleksi) trwa już ponad 70 lat.

Wśród kierunków rozwojowych w dziedzinie biomateriałów nie można pominąć materiałów biomimetycznych – bionaśladowczych.

³ Dobrzański Leszek A.: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2002, s.1279

Dotychczasowe osiągnięcia w dziedzinie materiałów biomimetycznych prezentuje tabela 1.4.

Tabela 1.4. Ogólna charakterystyka materiałów biomimetycznych powstających metodą „bottom-up” [3]

Grupa materiałów biomimetycznych	Ogólna charakterystyka grupy materiałów biomimetycznych
Makrocząsteczki lub kopolimery o łańcuchach monomerów połączonych wiązaniami kowalencyjnymi	W ostatniej dekadzie opracowano nowe metody syntezy umożliwiające tworzenie hybrydowych cząstek zawierających biopolimery połączone z cząsteczkami syntetycznymi. Powstałe w ten sposób nowe polimery biomimetyczne łączą własności obydwu grup składowych, zarówno naturalnych jak i syntetycznych. Nowe eksperymentalne procesy zwane „metodą pojedynczych cząsteczek” umożliwiają ponadto określenie własności fizycznych każdej makrocząsteczki z osobna. Mogą one przemieszczać się przez membrany foliopodobne i włókna prętopodobne. Mogą również być używane jako aktywne silniki umożliwiające poruszanie się ich wzdłuż włókien
Zespoły supracząsteczek złożonych z licznych pojedynczych cząsteczek, które powstają w wyniku niekowalencyjnych oddziaływań między cząsteczkami, takich jak hydrofiliczne i hydrofobowe oddziaływania z wodą	W ostatnich latach skonstruowano nowe typy membran biomimetycznych, np. przez tworzenie dwuwarstwowych amfifilicznych dibloków kopolimerowych naturalnych lub hybrydowych zgodnie z mechanizmem właściwym dla lipidów. Innym typem są wielowarstwowe polielektrolityczne membrany biomimetyczne, tworzone warstwa po warstwie. Te właśnie wielowarstwowe membrany mają potencjalnie wiele możliwości aplikacyjnych jako systemy dozowania leków. W uzupełnieniu do miękkich i elastycznych zespołów supracząsteczek produkowane są także twarde materiały w postaci biomimetycznych minerałów, głównie hydroksyapatytów lub węglanu wapnia
Kompleksowe struktury zawierające różne typy elementów i/lub różnych typów zespołów cząsteczek	Kompleksy wielowarstwowe tworzone w procesach elektrolitycznych przez nanoszenie warstwy po warstwie służą jako połączenia wielowarstwowe. Takie struktury kompleksowe mogą być również tworzone przez chemiczne osadzanie powierzchni, służąc jako połączenia wielofunkcyjne biomembran wykorzystywanych do tworzenia supracząsteczkowych struktur

„Pomimo znacznego postępu w stosowaniu materiałów biologicznych w implantologii do uzupełniania ubytków tkanek miękkich, i tkanki kostnej, dużą rolę odgrywają

implanty bioceramiczne. Stawia to przed tymi materiałami znaczne wymagania zarówno pod względem struktury, jak i odczynów biologicznych. Dążenie do uzyskania jak największej biogodności w ostatnich latach, spowodowało znaczne zainteresowanie się badaczy zjawiskami elektrokinetycznymi, zachodzącymi na powierzchni implantów i na granicy faz implant/płynny ustrojowe. Szczegółowe poznanie tych zjawisk, być może pozwoli na określenie wpływu pól elektrycznych na procesy chorobowe w organizmach ludzkich.”⁴

„Właściwości biologiczne biomateriałów zależą od stanu ich powierzchni i wiele metod zmiany powierzchni biomateriału pozwala na zachowanie korzystnych właściwości mechanicznych przy jednoczesnym zmniejszeniu częstości powikłań.⁵ Stąd też, w badaniach rozwojowych wiele uwagi poświęcono badaniom powierzchni biomateriałów. Przykładem mogą być tutaj badania bezniklowej austenitycznej stali nierdzewnej z nanostrukturą; otrzymanej za pomocą mechanicznej syntezy, obróbki cieplnej i azotowaniu wyjściowych proszków Fe, Cr, Mn i Mo.

W badaniach tych zaobserwowano poprawę właściwości dla otrzymanych materiałów, związaną z otrzymaniem nanostruktury.”⁶

Uważam, że obraz współczesnej inżynierii materiałowej najpełniej przedstawiają artykuły autorstwa wielu wybitnych naukowców prowadzących badania w jej obszarze. Poniższa tabela (tab. 3.5), zawiera zestawienie tematów współczesnych badań dotyczących biomateriałów, z uwzględnieniem ich autorów, artykułów i miejsc publikacji.

Tabela 1.5. Zestawienie wybranych tematów badań w dziedzinie biomateriałów

Tematyka badań	Autor	Tytuł publikacji	Miejsce publikacji
Stopy tytanu	Deptuła P.; Grądzka-Dahlke M.; Dąbrowski J.	„Nowe stopy tytanu do zastosowań biomedycznych wytwarzane metodą metalurgii proszków”	Engineering of Biomaterials rok: 2007
Stopy metaliczne	Kaczmarek M.; Walke W.;	“Chemical composition of passive layers formed on	Archives of Materials

⁴ Lewandowski R., Rutowski R., Staniszevska-Kuś J., Pielka S., Wnukiewicz.: Odczyn tkankowy po implantacji biomateriałów ceramicznych z wprowadzonym na powierzchnię potencjałem elektrokinetycznym zeta. Polimery w medycynie, 2004, T. XXXIV. Nr 1, s.16

⁵ Adamson AW. Physical chemistry of surfaces. 5th ed. Wiley, New York 1990: 777–786

⁶ Tuliński, M.; Jurczyk, M. Mechanical and corrosion properties of Ni-free austenitic stainless steels. Archives of Metallurgy and Materials, Vol. 53, issue 3/2008, s. 955-959

	Kajzer W.	metallic biomaterials”	Science and Engineering rok: 2007
Stenty	Scheller B.	„Treatment of In-stent restenosis by a paclitaxel coated balloon catheter, PACCOATH ISR II Trial”	American Heart Association 2006 Scientific Session
Biomateriały ortopedyczne, właściwości mechaniczne ciekłych utwardzalnych kompozycji	Łukaszczyk J.; Śmiga-Matuszowicz M.; Jaszcz K.; Kaczmarek M.	„Badanie właściwości nowych utwardzalnych in situ biomateriałów sieciowanych z udziałem bezwodnika metakrylowego”	Polimery rok: 2008,
Materiały hydroksyapatytowe	Ashok M., Meenakshi S.N., Narayana K.S.	“Crystallization of hydroxyapatite at physiological temperature”	Materials Letter rok:2003
Model neuronowy stosowany do właściwości warstwy wierzchniej biomateriałów	Szota M.; Jasiński J. Jeziorski L. Lubas M.	„Modelowanie za pomocą sztucznych sieci neuronowych zmian właściwości warstwy wierzchniej biomateriałów”	Engineering of Biomaterials rok: 2007
Biodegradowalne cementy kostne, wpływ składu kompozycji cementowych na właściwości mechaniczne utwardzonych materiałów	Łukaszczyk J.; Śmiga-Matuszowicz M.	„Charakterystyka nowych biodegradowalnych cementów kostnych opartych na funkcjonalnych polibursztynianach”	Czasopismo Techniczne. Mechanika rok: 2006
Biomateriały włókiennicze i ich aktywność antybakteryjna	Goetzendorf-Grabowska B.; Królikowska H. Bąk P.; Gadzinowski M.; Brycki B.; Stobińska H.	„Zastosowanie mikrosfer polimerowych z biocydem do uzyskania biomateriałów włókienniczych”	Prace Instytutu Włókiennictwa rok: 2005
Zmęczenie materiału	Bialoblocka-Juszczak E.; Baleani M.; Cristofolini L.; Viceconti M.	“Fracture properties of an acrylic bone cement”	Acta of Bioengineering and Biomechanics rok: 2008

„Inspiracji kolejnych ogólnych zadań badawczych dla obszaru inżynierii materiałowej można się również doszukać przeglądając raport Komitetu Koordynacyjnego Rozwoju Materiałów dla Energetyki amerykańskiego Federalnego Departamentu Energii, Nauki oraz Badań Podstawowych w Energetyce. [...] W europejskiej przestrzeni badawczej inspirującą rolę odgrywają ramowe programy UE, których głównym zadaniem jest efektywne wykorzystanie potencjału naukowego państw członkowskich, tak aby nadrobić lukę technologiczną dzielącą gospodarkę Zjednoczonej Europy od poziomu gospodarczego USA i Japonii. Śledząc nakreślone w ramach tych programów priorytety badawcze, łatwo zauważyć, że dla obszaru nauki o materiałach i inżynierii materiałowej zarezerwowany został w zasadzie priorytet czwarty: „Nanonauki, nanotechnologie, materiały i nowe technologie produkcji”.⁷

Z tego powodu wśród badań rozwojowych inżynierii materiałowej nie można pominąć nanomateriałów i nanotechnologii.

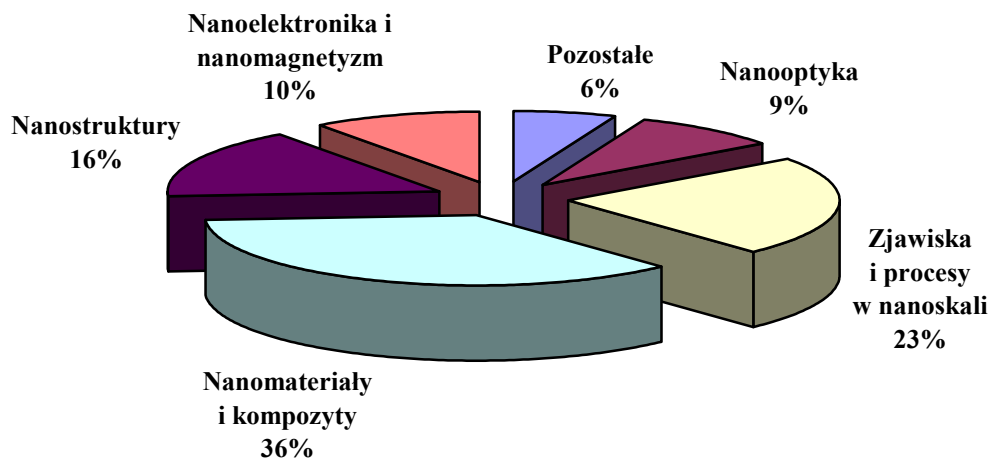
„Nanotechnologia jest dziedziną, w której wykorzystuje się specyficzne właściwości materii występującej w postaci dużych cząsteczek lub małych ciał stałych. Nanomateriały mają właściwości, które różnią je od małych cząsteczek lub ciał stałych masywnych (bulk materials). Właściwości nanomateriałów determinowane są podwyższonym stanem energetycznym atomów tworzących powierzchnię, która w ich przypadku stanowi znaczną część całego ciała oraz strukturą energetyczną elektronów o relatywnie zmniejszonej gęstości stanów w paśmie podstawowym, wynikającą z małej liczby atomów. Fizyczny opis nanomateriałów mieści się między fizyką klasyczną a mechaniką kwantową.”⁸

Nanotechnologia kontroluje strukturę i właściwości materiałów w nanoskali, wykorzystując fakt, że większość materiałów ma inne właściwości w skali cząsteczkowej. Przykładem mogą być tworzywa sztuczne, których struktura jest kontrolowana na poziomie pojedynczych cząsteczek, co pozwala na uzyskiwanie materiałów o niespotykanych własnościach. Zainteresowaniem naukowców cieszą się także sztuczne włókna, nanorurki, nanokapsułki i naopianka. Znanym „wynalazkiem” stały się molekularne układy elektroniczne, składające się z pojedynczych cząsteczek,

⁷ Kula P.: Kierunki rozwoju nauki o materiałach i inżynierii materiałowej. Op.cit., s. 8

⁸ Sokołowska A., Olszyna A., Frąckowiak I.: Nanotechnologia w inżynierii materiałów drzewnych. Inżynieria materiałowa, nr5, 2008, s. 471

które zachowują się jak np. tranzystory, połączone polimerami przewodzącymi spełniającymi rolę drutów molekularnych. Zakres nanotechnologii jest bardzo szeroki, podział projektów realizowanych w jej obszarze przedstawia wykres - rysunek 1.1.



Rys. 1.1. Projekty badawcze realizowane w 2000÷2005 związane z tematyką nano, [36]

W Polsce przeprowadzonych zostało wiele badań dotyczących nanomateriałów.

„Osiągnięcia nauki w Polsce z zakresu nanotechnologii to:

- a) nanometale i nanokompozyty polimerowe;
- b) nanostruktury półprzewodnikowe i spintronika;
- c) informatyka kwantowa;
- d) syntezy nanoproszków;
- e) modelowanie i synteza nanomateriałów do katalizy i sorbcji
- f) fizykochemiczne podstawy powstawania układów samoorganizujących się;
- g) nanowarstwy i nanopokrycia.”⁹

Bardzo duży wkład w rozwój polskiej inżynierii materiałowej wniósł Pan prof. dr hab. inż. Jan Dutkiewicz - kierownik Zakładu Inżynierii i Technologii Materiałów w Instytucie Techniki tutejszego Uniwersytetu Pedagogicznego. Profesor jest także Samodzielnym Pracownikiem Instytutu Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk. Jego działalność naukowa dotyczy m.in. materiałów nanokrystalicznych.

⁹ Raport Interdyscyplinarnego Zespołu do spraw Nanonauki i Nanotechnologii przy Ministerstwie Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Nanonauka i nanotechnologia. Narodowa Strategia dla Polski. s.2, <http://www.nanonet.pl>

Ważniejsze publikacje z tej dziedziny to:

- „Nanocrystalline materials prepared by torsion under pressure of 2 GPa”- badania na mosiądzach: CuZn30, CuZn37 i CuZn29Mn11 intensywnie skręcanych pod ciśnieniem 2 GPa,¹⁰
- „Crystallization of SiO₂-Al₂O₃-Mg(Zn)O glasses nucleated by TiO₂” - badanie mechanizmu strukturalnego i postępu krystalizacji wybranych szkieł z układu SiO₂-Al₂O₃-(Mg, Zn)O+TiO₂ (nukleator), celem badań było otrzymanie nanokrystalicznego materiału szkło-ceramicznego o ulepszonych właściwościach mechanicznych,¹¹
- „Nanokrystaliczna, funkcjonalna szkło-ceramika” – zbadano mechanizm tworzenia się materiałów szkło ceramicznych o nanometrycznej wielkości faz krystalicznych, w publikacji wskazano kryteria pozwalające wpływać na przebieg nanokrystalizacji w zależności od jej mechanizmu, aby otrzymać nanofazową szkło-ceramikę,¹²
- „Metaliczne kompozyty amorficzno-nanokrystaliczne” – badania właściwości i mikrostruktury litego kompozytu składającego się z proszku amorficznego o składzie stopu Ni₆₀Ti₂₀Zr₂₀ i nanokrystalicznego proszku srebra.¹³

„W USA najpotężniejszymi „lokomotywami” postępu w nauce i technologii (w tym również w inżynierii materiałowej) są silnie wspierany finansowo przez rząd federalny przemysł zbrojeniowy oraz osadzony na najpotężniejszym w świecie rynku zbytu przemysł motoryzacyjny. Na stronie internetowej „Defense Industry Daily” można odszukać informację, że w technice wojskowej USA wciąż aktualnymi tematami badawczymi z zakresu inżynierii materiałowej są nanomateriały i nanotechnologie w zastosowaniu do elementów napędu pojazdów bojowych oraz urządzeń optoelektronicznych, nowe materiały kompozytowe na pancerze oraz technologie inżynierii powierzchni, przede wszystkim dla wytwarzania barier cieplnych, głównie dla lotnictwa i aeronautyki oraz powłok przeciwwzrostowych dla szerokiego spektrum zastosowań inżynierskich.”¹⁴

¹⁰ Kuśnierz, J. ; Dutkiewicz, J. ; Malczewski, P. ; Kurowski, M.: Nanocrystalline materials prepared by torsion under pressure of 2 GPa. Archives of Metallurgy and Materials, Vol. 51, iss. 4, 2006, s. 575

¹¹ Stoch, L. ; Dutkiewicz, J. ; Morgiel, J. ; Stoch, P.: Crystallization of SiO₂-Al₂O₃-Mg(Zn)O glasses nucleated by TiO₂, Archiwum Nauki o Materiałach, nr 1, 2004, s. 21

¹² Stoch, L. ; Dutkiewicz, J. ; Środa, M.: Nanokrystaliczna, funkcjonalna szkło-ceramika. Archiwum Nauki o Materiałach, nr 4, 2003, s. 477

¹³ Dutkiewicz, J. ; Maziarz, W. ; Lityńska-Dobrzyńska, L. ; Rogal, Ł. ; Kanciruk, A. ; Kovačova, A.: Metaliczne kompozyty amorficzno-nanokrystaliczne. Kompozyty, nr3, 2008, s.220

¹⁴ Kula P.: Kierunki rozwoju nauki o materiałach i inżynierii materiałowej. Op.cit., s. 7-8

1.3. Materiały o niskiej gęstości wykorzystywane konstrukcyjnie

Podział materiałów ze względu na spełniane funkcje techniczne pozwala wyróżnić tworzywa konstrukcyjne i funkcjonalne.

Zadaniem tworzyw konstrukcyjnych jest przenoszenie obciążeń, dlatego powinny charakteryzować się dużą wytrzymałością mechaniczną. Dodatkowe walory materiałów konstrukcyjnych np. duża twardość, odporność na korozję, żaroodporność czynią je użytecznymi w wielu gałęziach przemysłu. Tworzywa konstrukcyjne mogą być przetwarzane przy wykorzystaniu różnych technologii np. spawanie, przeróbka plastyczna czy odlewnictwo. Zapotrzebowanie na tego typu materiały ciągle wzrasta, w związku z tym poszukuje się tworzyw tańszych, trwalszych, sztywniejszych i bardziej odpornych na korozję. Ważną cechą, którą powinny posiadać materiały przeznaczone do wykonywania konstrukcji jest niska gęstość. We wszystkich środkach transportu ważna jest wytrzymałość materiału konstrukcyjnego i jego masa. Dąży się do zastępowania stopami aluminium wykorzystywanych dotychczas w produkcji samochodów - stali i żeliw. Lekkie i wytrzymałe tworzywa konstrukcyjne odporne na odkształcenia w wysokiej temperaturze niezbędne są do produkcji samolotów oraz dysz silników rakiet kosmicznych. W wyniku poszukiwań nowych lżejszych i trwalszych materiałów zainteresowano się węglem, gdyż jego gęstość jest czterokrotnie niższa niż gęstość stopów żaroodpornych, a temperatura topnienia przekracza 3400° C. Wadą materiału uniemożliwiającą jego wykorzystanie okazały się szczelinki, na których następowała inicjacja pęknięcia. Wprowadzenie do materiału włókien o średnicy kilku mikrometrów znacznie zwiększyło jego odporność na pęknięcie.

„Opanowanie umiejętności wykonywania włókien węglowych o wytrzymałości na rozciąganie kilkakrotnie wyższej od stali pozwoliło na zastosowanie do budowy dysz lekkiego i sztywnego kompozytu, wykonanego z polimeru wzmocnionego włóknami węglowymi. W czasie pracy silnika raketowego polimer stopniowo ulegał pirolizie, przez co zwęglające się ścianki dysz stawały się coraz cieńsze, tak więc ich grubość musiała być znaczna, aby dysze dotrwały do końca przewidywanego czasu pracy silnika. Kolejne rozwiązanie polegało na zastosowaniu kompozytów, w których włókna węglowe znajdują się nie w polimerowej, ale węglowej osnowie. Dzięki temu uzyskano jeszcze lepsze wyniki, gdyż kompozyt węglowy nie ulegał degradacji w czasie pracy silnika, co pozwoliło dziesięciokrotnie zmniejszyć ciężar dyszy przy takich samych

parametrach pracy. Odporność na utlenianie poprawiono, pokrywając powierzchnię dyszy warstwą węgla krzemu.”¹⁵

Współcześnie wśród materiałów konstrukcyjnych charakteryzujących się niską gęstością i dużą sztywnością wyróżniają się materiały kompozytowe. Tematykę wybranych, badań rozwojowych związanych z materiałami lekkimi przedstawia tabela nr 1.6.

Tabela 1.6. Tematyka artykułów naukowych dotyczących lekkich materiałów konstrukcyjnych

Tematyka badań	Autor	Tytuł publikacji	Miejsce publikacji
Polimerowo- włókniste kompozyty warstwowe, metody wytwarzania preform trójwymiarowych, technika RTM i RFI, zastosowanie laminatów trójwarstwowych	Kozioł M.; Śleżiona J.	„Kompozyty polimerowo –włókniste o trójwymiarowym zbrojeniu”	Kompozyty rok: 2008
Badanie współczynnika tłumienia materiałów lekkich – hybrydowych połączeń tworzyw sztucznych i metali lekkich, możliwość uzyskiwania przez te materiały większych współczynników tłumienia	Hufenbach W.; Holste C.; Sokołowski A.; Cebula W.	“Research on the damping factors of lightweight materials”	Prace Naukowe Katedry Budowy Maszyn / Politechnika Śląska rok: 2000
Metodyka wytwarzania prototypowych, wysokociśnieniowych zbiorników kompozytowych techniką wyplatania włókna ciągłego.	Hufenbach W.; Czulak A.; Błazejewski W.; Gąsior P.	„Wysokociśnieniowe zbiorniki kompozytowe wzmocnione wyplotem z włókna szklanego ze zintegrowanymi czujnikami światłowodorowymi”	Kompozyty rok: 2009
Podstawy technologii i strukturalne aspekty wytwarzania elementów konstrukcyjnych wykonanych z wieloskładnikowych	Szkliniarz W.	„Strukturalne aspekty wytwarzania stopów na osnowie faz międzymetalicznych z układu Ti-Al.”	Rudy i Metale Nieżelazne rok: 2002

¹⁵ Grabski Maciej W., Kozubski Jan A.: Inżynieria materiałowa. Geneza, istota, perspektywy. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003, s.185

stopów na osnowie faz międzymetalicznych z układu Ti-Al drogą topienia, odlewania, przeróbki plastycznej i obróbki cieplne			
Badania nad opracowaniem efektywnego procesu wytwarzania aktywnych struktur kompozytowych z dopasowanymi do osnowy modułami piezoceramicznymi, kompozyty z osnową termoplastyczną wzmocnione włóknami ciągłymi	Hufenbach W., Gude M., Modler N., Heber T., Winkler A., Friedrich J.	“Processing studies for the development of a robust manufacture process for active composite structures with matrix adapted piezoceramic modules”	Kompozyty rok: 2009

„Kompozyty stanowią obszerną rodzinę materiałów konstrukcyjnych, z których wytwarzane są najróżniejsze wyroby szeroko stosowane w wielu dziedzinach techniki i życia codziennego. Kompozyty utworzone są z co najmniej dwóch składników, znacząco różniących się właściwościami. Celem takiego połączenia jest uzyskanie materiału o nowych właściwościach, lepszych w porównaniu z właściwościami składników. Licznych przykładów dostarcza tu przyroda. Najprostszy pomysł na kompozyt, to rozmieszczenie składnika umacniającego w zwartej osnowie łączącej jego włókna, czy też cząstki. I tak, na przykład, poprzez połączenie wysokowytrzymałych włókien szklanych, czy węglowych, z materiałem o małej gęstości, jakim są polimery, uzyskano lekkie materiały konstrukcyjne o wysokiej wytrzymałości.”¹⁶

1.4. Materiały i powłoki wykorzystywane do pracy w warunkach ekstremalnych

Materiały współczesnej inżynierii materiałowej mają bardzo różnorodne zastosowania, wynikające najczęściej z ich właściwości. Wyzwaniem dla inżynierów są materiały przeznaczone do pracy w bardzo trudnych warunkach środowiska naturalnego, w którym muszą wykazywać ściśle określone właściwości.

¹⁶ http://www.inmat.pw.edu.pl/index.php?option=com_content&task=view&id=291&Itemid=188

Przykładem materiałów wykorzystywanych do pracy w warunkach ekstremalnych może być:

- stal nierdzewna SS316, której temperatura pracy wynosi od -80°C do 538°C , ponadto charakteryzuje się odpornością na korozję, czynniki atmosferyczne, jest materiałem antymagnetycznym odpornym na: kwas solny, kwasy nieorganiczne, sole halogenkowe, mgłę solną i wodę morską,
- polieteroeteroketon – PEEK, którego temperatura pracy stanowi przedział od -55°C do 260°C , materiał cechuje się także dobrą odpornością na promieniowanie.

Jednym z celów współczesnych badań prowadzonych w obszarze inżynierii materiałowej jest opracowywanie nowych materiałów.

„Dla materiałów pracujących w bardzo trudnych warunkach ważne jest, aby mogły:

- pracować w środowiskach agresywnych chemicznie i fizycznie (tlen atomowy, wodór) do temperatury 2000°C przy bliskiej zeru erozji oraz pełnej kontroli zachowania się materiału w warunkach anormalnych (samopasywujące materiały ochronne);
- dysypować strumienie cieplne na poziomie 20 MW/m^2 , także w temperaturach do 1000°C i charakteryzować się odpowiednią architekturą i współczynnikiem rozszerzalności cieplnej;
- być odporne na intensywne napromieniowanie (poziom 150 dpa) oraz bezpieczne dla środowiska naturalnego dzięki niskiej radioaktywności po napromieniowaniu;
- być łączone i wykorzystywane jako komponenty i podzespoły do zastosowań przemysłowych zapewniające dodatkowe funkcje, np. bariery dla określonych substancji, czy układy o bardzo długim czasie eksploatacji.”¹⁷

Tematyka badań związana z materiałami pracującymi w warunkach ekstremalnych dotyczy m.in. materiałów na studnie cieplne, nanokompozytów występujących w wysokich temperaturach i odpornych na promieniowanie oraz materiałów osłonowych ze zintegrowanymi funkcjami barier, o niskiej erozji.

¹⁷ <http://www.pw.edu.pl/Badania-i-nauka/Katalog-Projektow-Badawczych-PW/Zastosowania-w-przemysle-i-biznesie/Wydzial-Inzynierii-Materialowej/Nowe-materialy-do-pracy-w-ekstremalnych-srodowiskach>

1.5. Materiały o szczególnych właściwościach elektrycznych, magnetycznych i optycznych

Podział materiałów ze względu na możliwość przewodzenia prądu elektrycznego pozwala wyróżnić przewodniki, dielektryki i półprzewodniki. Do grupy materiałów, które przewodzą prąd elektryczny można zaliczyć podgrupy: przewodowe, oporowe, termoelektryczne i stykowe.

Wśród materiałów stosowanych w elektronice i elektrotechnice wyróżniają się materiały ferroelektryczne, charakteryzujące się dużą przenikalnością elektryczną. Wykazują także własności piroelektryczne, stąd też występują w nich zjawiska piezoelektryczne, polegające na tym, iż podczas ogrzewania jedna powierzchnia materiału naładowuje się ujemnie, a druga dodatnio. Podczas ochładzania zachodzi proces odwrotny. Wśród badań ferromagnetyków istotne wyniki dostarczyły badania nad ich polaryzacją, procesy syntezy wybranych ferroelektrycznych proszków ceramicznych, mikroanaliza nanokrystalicznych proszków ferroelektrycznych techniką cienkiej warstwy.

Do materiałów o szczególnych właściwościach elektrycznych można zaliczyć dielektryczne piezoelektryki, w których pod wpływem naprężeń mechanicznych powstaje pole elektryczne. Piezoelektryki, ulegające odkształceniom pod wpływem temperatury stosowane są m.in. w przetwornikach elektroakustycznych, rezonatorach, filtrach, nadajnikach i odbiornikach ultradźwiękowych.

Innym rodzajem dielektryków wzbudzającym zainteresowanie inżynierów są elektrety uznawane za elektrostatyczne odpowiedniki magnesów trwałych, ponieważ wytwarzają wokół siebie pole elektryczne i długo zachowują stan spolaryzowania. W badaniach nad elektretami podejmowano próby identyfikacji ładunków elektrostatycznych w ich włóknach, badano także czas życia elektretów foliowych.

W dziedzinie półprzewodników, w obszarze inżynierii materiałowej prowadzone były liczne badania. Duża część z nich dotyczyła charakterystyki materiałów przeznaczonych do produkcji przyrządów energoelektrycznych, spośród których wyróżniał się krzem. W wyniku badań nad materiałami półprzewodnikowymi odkryto nową własność polimerów, dzięki której, przy określonym uporządkowaniu cząsteczek mogą się one zachowywać jak klasyczne półprzewodnikowe diody świecące LED. Polimery luminescencyjne LEP mogą być wykorzystywane do produkcji wyświetlaczy i monitorów. Współcześnie w związku z zapotrzebowaniem na przyrządy

półprzewodnikowe zdolne do jednoczesnego działania przy wysokim napięciu i w wysokiej temperaturze prowadzone są badania nad materiałami przeznaczonymi do takich zastosowań.

Ważnymi materiałami z punktu widzenia elektrotechniki i elektroniki są nadprzewodniki, w których po ochłodzeniu do temperatury bliskiej zera bezwzględnej; zanika opór elektryczny.

„Wśród najważniejszych stopów i związków nadprzewodzących można wymienić:

- nadprzewodniki Nb–Ti,
- nadprzewodniki zawierające fazy typu A15,
- potrójne chalcogenki molibdenu (fazy Chevrela),
- cienkie powłoki nadprzewodzące,
- nadprzewodniki wysokotemperaturowe.

Nadprzewodniki organiczne odkryto na przełomie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku wśród tzw. soli Bechgaarda, np. $(TMTSF)_2ClO_4$, gdzie TMTSF oznacza tetrametylotetraselenofulwalen. Nadprzewodnictwo odkryto również w związku β -(BEDT–TTF) $_2I_3$. Skrót BEDT–TTF oznacza tetratiometylotetratiofulwalen.”¹⁸

Współczesne badania prowadzone w kierunku materiałów nadprzewodnikowych dotyczą ich warstwowej struktury krystalograficznej, roli płaszczyzn miedziowo-tlenowych w osiąganiu coraz większych wartości temperatury krytycznej, nadprzewodnictwa wysokotemperaturowego w materiałach nie będących związkami miedzi, takich jak fullereny, dwuborek magnezu.

Kierunki badań w dziedzinie materiałów o szczególnych właściwościach elektrycznych wyznaczone są w dużej mierze na podstawie zapotrzebowania elektroniki i elektrotechniki w dziedzinie nowych materiałów, jak również zmian właściwości materiałów już istniejących.

Perspektywy badań w tym kierunku przedstawia tabela 1.7.

¹⁸ Dobrzański Leszek A.: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Op. Cit., s.1217

Tabela 1.7. Perspektywy badań naukowych i prac wdrożeniowych związanych z przewidywanym rozwojem systemów energetycznych [3]

Materiały	Zastosowanie	Własności	Łączenie	Naprawa
Stale ferrytyczne	<ul style="list-style-type: none"> ▪ turbiny parowe – wirniki, korpusy, łopatki ▪ kocioł -rury, rurki, komory, ściany prętów stalowych ▪ chłodnice gazowe 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ lepsza wytrzymałość ▪ wdrożenie laboratoryjne w skali przemysłowej ▪ analiza wymiarowa ▪ stopy niewymagające obróbki cieplnej po spawaniu ▪ odporność na korozję 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ lepsza spawalność ▪ łączenie różnych materiałów 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ możliwości rezygnacji z obróbki cieplnej po spawaniu
Stale austenityczne	<ul style="list-style-type: none"> ▪ rurociągi pary ▪ rury przegrzewaczy ▪ elementy systemu spalania gazów ▪ systemy oczyszczania gorących gazów ▪ pojemniki na ciekłe paliwo 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ opracowanie nowych stopów ▪ rury wyciskane wspólnie ▪ odporność na korozję/erozję ▪ lepsza odporność na korozję 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ łączenie różnych materiałów 	
Stopy niklu, nadstopy	<ul style="list-style-type: none"> ▪ turbiny parowe – wirniki, korpusy, łopatki ▪ kocioł – rury, rurki, komory dla >700°C ▪ systemy oczyszczania gorących gazów ▪ turbina gazowa – łopatki, zespoły komory spalania 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dane wytrzymałościowe ▪ analiza wymiarowa ▪ opracowanie nowych stopów ▪ technologiczność ▪ odporność na erozję ▪ odporność na zmęczenie ▪ odporność na utlenianie przez parę 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ technologie spawania 	
Powłoki	<ul style="list-style-type: none"> ▪ łopatki turbiny gazowej ▪ ochrona przed korozją elementów kotła ▪ powłoki na ceramikę i kompozyty ▪ powłoki ochronne przeciwkorozyjne i termiczne na elementy turbin gazowych ▪ uszczelnienie 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ odporność na erozję/utlenianie/ /korozję ▪ czasochłonność cyklu produkcyjnego ▪ odporne powłoki grubowarstwowe 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ naprawa uszkodzeń w warunkach eksploatacji ▪ techniki badań

Ceramiki/ powłoki ceramiczne	<ul style="list-style-type: none"> ▪ wymurówki ▪ elementy filtra ▪ komory spalania turbin gazowych 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dane wytrzymałościowe ▪ odporność na korozję ▪ trwałość kompozytów ▪ badanie kompozytów 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ technologie łączenia ceramika–ceramika i ceramika–metal ▪ uszczelnianie 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ badania nieniszczące
Stopy utwardzone dyspersyjnymi tlenkami ODS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ wysokotemperaturowe wymienniki ciepła 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ dane wytrzymałościowe przy długotrwałym obciążeniu ▪ odporność na korozję ▪ lepsza odporność na korozję 		
Intermetalik	<ul style="list-style-type: none"> ▪ elementy niskociśnieniowe i elementy konstrukcyjne turbin gazowych 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ charakterystyka własności 		

Wśród kierunków rozwojowych inżynierii materiałowej ważne miejsce zajmują badania związane z materiałami o szczególnych własnościach magnetycznych.

Podział materiałów ze względu na własności magnetyczne pozwala wyodrębnić materiały magnetyczne (ferro- i ferrimagnetyki) i niemagnetyczne (dia-, anty- i paramagnetyki). Przydatność techniczna materiałów jest zależna od ich składu chemicznego i fazowego, a także od struktury krystalicznej i magnetycznej poszczególnych faz. W zależności od szerokości pętli histerezy materiały można podzielić na magnetycznie miękkie i twarde. Materiały magnetycznie miękkie cechuje wąska pętla histerezy i duże nasycenie magnetyczne przy nieznacznym polu. Najczęściej stosowane materiały z tej grupy to: monokryształy o kierunku łatwego namagnesowania zgodnym z przyłożonym polem, polikrystaliczne stopy na osnowie żelaza z dodatkiem Si lub Al, stopy Fe-Ni, ferryty, spieki Fe-Si-Al, spiekane proszki żelaza karbonylkowego i elektrolitycznego. Przykładem materiałów magnetycznie twardych mogą być stosowanie wspólnie: prasowane proszki jednodomenowe czystych metali Fe i Co, materiały nanokrystaliczne $Sm_2Fe_{17}N_x$ ($x = 2÷3$) i $Nd_2Fe_{14}B$, których proszki wiązane są np. osnową polimerową lub spiekane z proszkiem cynku. Badania materiałów magnetycznych prowadzone są zazwyczaj na nanokryształach i manometrycznej grubości foliach.

„Wśród efektów powierzchniowych w nowych materiałach magnetycznych ostatnio wielkie zainteresowanie wzbudziły makrokryształy zwane "photonic crystals";

są to periodyczne struktury złożone z dwóch przezroczystych dielektryków tworzących "makro-kryształ" o stałej sieciowej rzędu od 0.1 mm do 1 cm. Materiały te tworzą z intencją otrzymania "fotonicznej" przerwy energetycznej, w której propagacja fal optycznych byłaby wzbroniona. Obiecujące perspektywy badawcze związane z kryształami fotonicznymi inspirują do podjęcia teoretycznych badań magnetycznych makrokryształów topologicznie równoważnych strukturom fotonicznym, a mianowicie strukturom złożonym z (różnych) materiałów magnetycznych; obiektem badań w takich materiałach stają się magnetyczne wzbudzenia. Z uwagi na to, iż materiały magnetyczne mają, ogólnie biorąc, szerokie zastosowania technologiczne, można oczekiwać, iż ten nowy rodzaj materiałów ("kryształy magnoniczne") będzie miał także istotne znaczenie dla ewentualnych przyszłych zastosowań."¹⁹

„Materiały magnetyczne stanowiące przedmiot badań rozwojowych i poznawczych w inżynierii materiałowej to:

- materiały nanokrystaliczne magnetycznie miękkie o wysokiej przenikalności magnetycznej na osnowie Fe₃Si z dodatkami Cu, Nb, Zr, B,
- materiały nanokrystaliczne magnetycznie twarde o wysokiej koercji oparte na stopach Nd–Fe–B i Co–Sm
- magnesy nanokrystaliczne o gigantycznej magnetostrykcji GMR (giant–magnetoresistivity) $\lambda_m \geq 10^{-3}$, bazujące na stopach Fe–Tb–Dy,
- systemy cienkich folii o gigantycznej remanencji i o wysokiej przenikalności magnetycznej na głowice odczytujące z oporem magnetycznym $\Delta R/R > 50\%$,
- folie manganitów LaSr i LaCa o kolosalnym oporze magnetycznym $\Delta R/R > 100\%$,
- gigantycznie magnetokaloryczny materiał chłodzący Gd₅(Si₂Ge₂) magnesy molekularne, bazujące na związkach metalowo–organicznych zawierających heksafluoroacetyloacetonian lub tetracyjanometylen,
- samoorganizujące się supersieci nanocząsteczek ferromagnetycznych Fe–Pt lub FeCo na nośniki do rejestracji z wysoką gęstością (1011 bit/cm²). „²⁰

„Nowoczesne stopy magnetyczne zawierają w swoich składach metale ziem rzadkich. Są one trudne w formowaniu z nich odpowiednich kształtek, gdyż są twarde i kruche. Wykazują ponadto duże powinowactwo do tlenu. Dlatego metody obróbki wiórowej, kucie czy odlewanie nie mogą być powszechnie stosowane do wytwarzania

¹⁹ <http://www.ifmpan.poznan.pl/MAG-EL-MAT/Main/zadania.php>

²⁰ Dobrzański Leszek A.: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Op. Cit., s.1254-1255

odpowiednich kształtek. Do wytwarzania magnesów z tych nowoczesnych stopów wykorzystuje się metalurgię proszków.”²¹

W dziedzinie materiałów magnetycznych prowadzonych jest wiele badań. W Polsce w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka 2007-2013, w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej im. Aleksandra Krupkowskiego Polskiej Akademii Nauk w Krakowie od stycznia 2009 roku do końca 2013 roku realizowany jest projekt „Innowacyjne materiały do zastosowań w energooszczędnych i proekologicznych urządzeniach ekologicznych”.

„Głównym celem bezpośrednim Projektu jest opracowanie technologii wytwarzania nowej generacji materiałów magnetycznych oraz wykorzystanie ich do budowy modeli nowej generacji proekologicznych i energooszczędnych urządzeń elektrycznych dla chłodnictwa i klimatyzacji, elektroniki oraz branży napędów elektrycznych.

Przedmiotem badań będzie szeroka gama materiałów: stopy amorficzne, nanokrystaliczne, mikrokryształiczne, polikryształiczne, ferromagnetyczne tlenki o strukturze perowskitu oraz materiały z pamięcią kształtu. Do wytwarzania tych materiałów wykorzystane zostaną najnowocześniejsze technologie, które pozwolą na otrzymanie innowacyjnych materiałów w postaci monokryształów, polikryształów, proszków, a także elementów masywnych.”²²

Materiały optyczne można podzielić ze względu na ich przeznaczenie. Dużą grupę stanowią materiały przeznaczone na budowę rdzeni światłowodów, szkieł optycznych i laserowych bazujących na krzemionce, tlenkach boru, baru, ołowiu i potasu. Szkła halogenkowe stosowane są w średniej i dalszej podczerwieni, zbudowane głównie z S, Se i Te. Szkła fluorowcowe są przepuszczalne w zakresie nadfioletu i podczerwieni, szczególne znaczenie ma BeF_2 , który dzięki małemu współczynnikowi załamania wykorzystywany jest jako materiał laserowy. Zainteresowaniem inżynierów cieszą się materiały pyroceramiczne z dwutlenkiem tytanu, ceramika optyczna, materiały naturalne i polimerowe. Dużą popularność jako elementy systemów zobrazowania u schyłku XX wieku zyskały ciekłe kryształy, których własności mogą być regulowane za pomocą różnych bodźców, np. magnetycznych czy elektrycznych.

²¹ Paszkowski L., Skalski A., Biało D.: Wpływ budowy kompozytów i warunków wtryskiwania na maksymalną gęstość energii magnetycznej (BH)_{max} dielektromagnesów. Kompozyty, nr3, 2008, s. 280

²² <http://www.imim.pl/fundusze-strukturalne/chodziarki-magnetyczne>

2. PRZYSZŁOŚĆ INŻYNIERII MATERIAŁOWEJ

2.1. Kierunki badań poznawczych

Wyznaczenie kierunków poznawczych w inżynierii materiałowej jest bardzo trudne, gdyż stanowi niejako przewidywanie przyszłości. W celu określenia tendencji rozwojowych i scenariuszy rozwoju dziedzin stworzono projekt foresight. Dzięki niemu możliwe stało się nie tylko „przewidywanie”, ale także wpływanie na rozwój nauki i techniki. Program foresight skupia przedstawicieli określonych grup społecznych, którzy wykorzystując różne formy dyskusji „rozmawiają” o przyszłości. Wyniki decydują o wyborze scenariuszy rozwoju, określają tendencje rozwojowe, są również pomocne w ustaleniu kryteriów finansowania nauki i techniki.

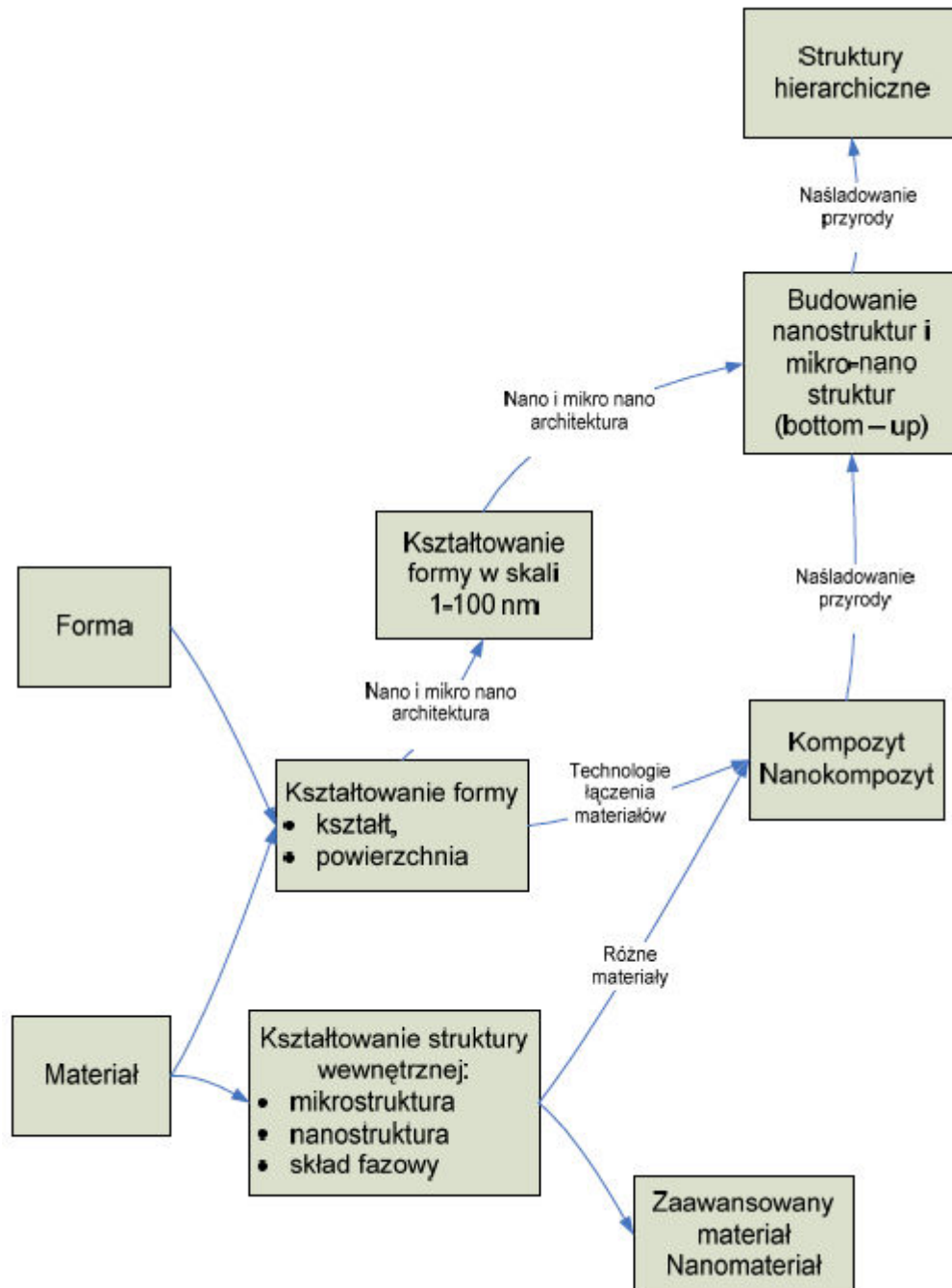
Przykładem foresight w obszarze Inżynierii Materiałowej jest projekt FOREMAT - „Scenariusze rozwoju technologii nowoczesnych materiałów metalicznych, ceramicznych i kompozytowych”. FOREMAT zrealizowany został na zamówienie Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, w latach 2006-2008.

Najważniejszym zadaniem projektu było wyłonienie priorytetowych technologii i trendów rozwojowych oraz przedstawienie możliwych scenariuszy rozwoju technologii nowoczesnych materiałów w Polsce. W pracach uczestniczyło 13 polskich ośrodków naukowo-badawczych i liczni eksperci m.in. ekonomiści, informatycy.

„Dla potrzeb projektu Foremat stworzono bazę danych zawierającą kierunki rozwoju nauk materiałowych deklarowane przez partnerów projektu i zaproszonych ekspertów. Jako jedno z możliwych kryteriów wykonalności nowych zadań zaproponowano ich zestawienie ze zbiorem prac dokonanych w ciągu ostatnich dwudziestu lat. Znacząca liczba prac zakończonych mogłaby oznaczać istnienie grup badawczych wystarczająco dużych, by w praktyce realizować nowe zadania. Brak tej bazy mógłby zaś wskazywać na nowatorstwo tematu. Zważenie obu tych czynników może być pomocą przy podejmowaniu decyzji o wspieraniu lub świadomym zaniechaniu przyszłych badań. Można to porównać do oceny ryzyka inwestycyjnego lub kredytowego: wiarygodna analiza statystyczna przypadków z przeszłości jest ważną (czasem jedyną) wskazówką przy decyzjach dotyczących przyszłości.”²³

²³ <http://www.science24.com/paper/14842>

W projekcie wyłonione zostały trendy rozwojowe, wśród których bardzo ważne jest kształtowanie mikrostruktury, składu chemicznego i fazowego materiałów wraz z ich nanostrukturą. Kierunek rozwoju materiałów przedstawia rysunek 2.1.



Rys. 2.1 Ilustracja wzrostu znaczenia formy i architektury materiałów w mikro i nanoskali, [i46]

„Wyniki projektu dostarczyły wielu istotnych informacji, dzięki którym udało się wyłonić wiele perspektywicznych technologii, także w skali światowej.

Szczególnie obiecujące technologie należą do następujących kategorii:

- Zaawansowane materiały kompozytowe, w tym nanokompozyty. Tworzywa kompozytowe będą prezentować coraz bardziej skomplikowane mikrostruktury. Ten kierunek Inżynierii Materiałowej można nazwać architekturą materiałów.
- Zaawansowane warstwy i pokrycia. Szczególne perspektywy w tym obszarze stoją przed heterowarstwami, nano-warstwami i nano-hetero warstwami.
- Mikro-nano materiały i nanomateriały (metale, stopy, szkła, ceramika).
- Materiały inteligentne, zmieniające swoje własności w kontrolowany sposób w reakcji na bodziec otoczenia. Materiał taki łączy np. w ramach jednej struktury własności czujnika z własnościami aktywatora.²⁴

Prowadzone obecnie w Polsce badania poznawcze zawierają się w „Krajowym Programie Badań Naukowych i Prac Rozwojowych”. Dokument został wydany 30 października 2008 roku, jako załącznik do Komunikatu nr 22. Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego ściśle określa w nim priorytetowe obszary badawcze w ramach których wydzielone zostały szczegółowe kierunki badań.

Przy formułowaniu tematów badawczych brano pod uwagę:

- zgodność z wynikami „Programu Foresight”,
- potencjał gospodarczy i problemy energetyczne oraz surowcowe Polski,
- wykonalność projektu, doświadczenie i dorobek ośrodków naukowych, ich współpracę krajową i międzynarodową, współpracę z gospodarką,
- innowacyjność i znaczenie problematyki dla rozwoju i jakości życia w Polsce, w średniej i dużej perspektywie,
- znaczenie problematyki w perspektywie europejskiej i światowej,
- perspektywę czasową, możliwość szybkiej komercjalizacji wyników.²⁵

W „Krajowym Programie Badań Naukowych i Prac Rozwojowych” wydzielono pięć priorytetowych obszarów badawczych. Dla inżynierii materiałowej najistotniejsze są: zdrowie, energia i infrastruktura, nowoczesne technologie dla gospodarki oraz Środowisko i rolnictwo. W każdym z tych obszarów można wydzielić kierunki badań poznawczych dotyczących nauk materiałowych. W dziedzinie „zdrowie” ważną rolę

²⁴ <http://intranet.unipress.waw.pl/FOREMAT>

²⁵ Krajowy Program Badań Naukowych i Prac Rozwojowych, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, 2008, www.bip.nauka.gov.pl.

odgrywają m.in. nanotechnologia w poszukiwaniu polimerowych i lipidowych nośników leków. W innych obszarach priorytetowe kierunki badań to np. materiały budowlane pochodzące z recyklingu, nanotechnologie dla wytwarzania materiałów funkcjonalnych, materiały i technologie dla magazynowania energii jak również rozwój zaawansowanych technik inżynierii materiałowej służących opracowaniu proekologicznych i energooszczędnych metod opracowywania tworzyw. Propozycję podziału środków finansowych na poszczególne badania przedstawia tabela 2.1.

Tabela 2.1. Propozycja podziału środków na badania poznawcze w obszarze inżynierii materiałowej [45]

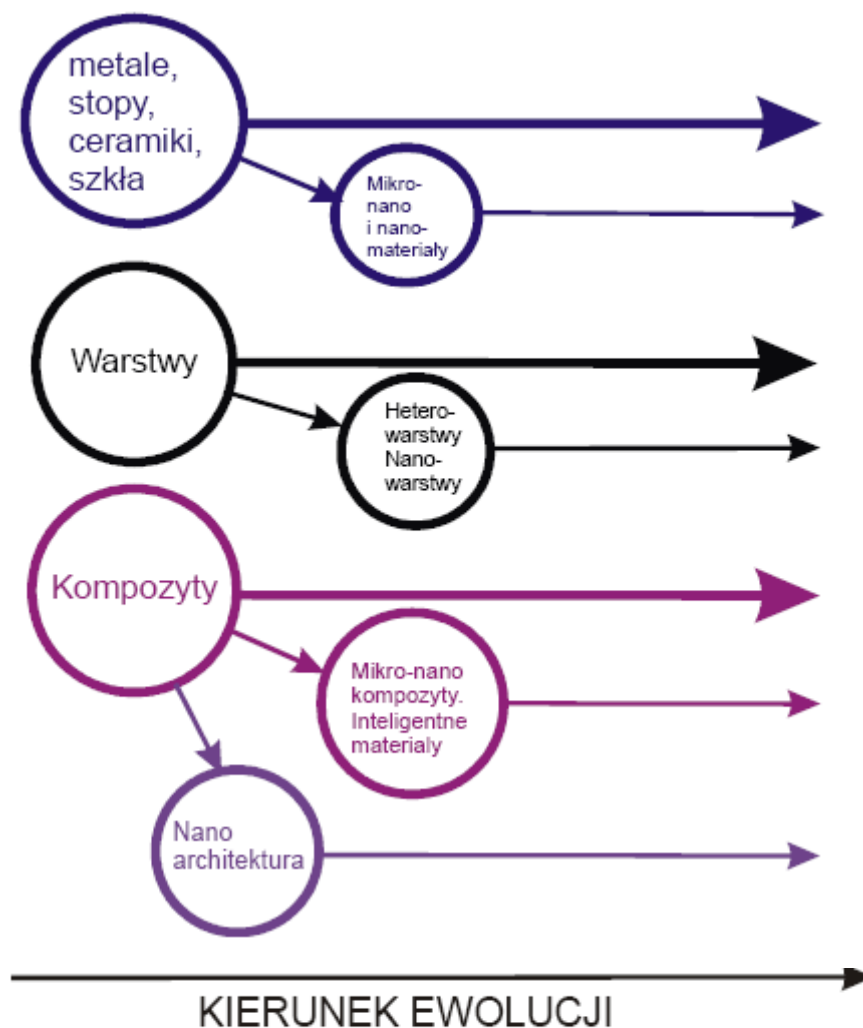
Grupa materiałów	Udział procentowy
Charakteryzacja materiałów	8
Zjawiska powierzchniowe i międzyfazowe	8
Modelowanie materiałów	8
Nanomateriały	14
Materiały gradientowe	10
Materiały porowate	8
Materiały kompozytowe	12
Materiały inteligentne	10
Materiały wielofunkcyjne	10
Materiały samoorganizujące się	6
Pozostałe	6
RAZEM PROCENT	100

„Szereg dziedzin przemysłu oczekuje na nowe rozwiązania z zakresu nanotechnologii, wiele z nich coraz częściej otwiera się na symulacje komputerowe i systemy eksperckie w obszarze inżynierii materiałowej. Są to wyraźne wskazówki nie tylko dla polskiego środowiska naukowego, lecz również dla elit decyzyjnych w Polsce. Na tym tle raz jeszcze rysuje się pilna potrzeba jasnego sprecyzowania polskich priorytetów naukowych, tak aby z jednej strony pełniej wykorzystać istniejące w kraju potencjał i bazę naukową, z drugiej zaś nawiązać do światowych trendów rozwoju nauki oraz polskich tradycji przemysłowych, z zastrzeżeniem, że współczesna

gospodarka nie zna granic i polski produkt innowacyjny, czy też nowa technologia muszą być przygotowane do konkurencji na rynku globalnym.”²⁶

Chęć człowieka do udoskonalania materiałów prowadzi do stosowania coraz bardziej zaawansowanych technologii, których przykładem może być nanoarchitektura. Materiałami XXI wieku staną się natomiast prawdopodobnie nanomateriały.

Rysunek 2.2. obrazuje jak może przebiegać ewolucja zaawansowanych materiałów.



Rys. 2.2. Trendy w ewolucji technologii zaawansowanych materiałów, [i46]

Kierunki badań poznawczych w obszarze inżynierii materiałowej omówione zostały w podrozdziałach 2.2 – 2.5.

²⁶ Kula P.: Kierunki rozwoju nauki o materiałach i inżynierii materiałowej. Inżynieria materiałowa, nr 1, 2007, s. 9

2.2. Nanomateriały

Badania w dziedzinie nanomateriałów są już bardzo zaawansowane. Odkrywane są coraz to nowe właściwości materiałów, które umożliwiają ich różnorodne zastosowania, czego potwierdzeniem mogą być niedawne odkrycia polskich naukowców, którzy utworzyli alarmowy nanobiodetektor i opracowali nowoczesną powłokę stosowaną zamiast smaru.

„Nowy nanobiodetektor - efekt pracy polskich naukowców - wykazuje właściwości o charakterze włącznika progowego, informując o przekroczeniu w badanej próbce dopuszczalnej liczby komórek bakteryjnych. Tego typu nanobiodetektor może w przyszłości stanowić część mikrobiologicznego układu alarmowego - informuje "Biosensors and Bioelectronics". Nanobiodetektor jest zbudowany z przeliczalnej liczby przewodzących prąd elektryczny mikro- i nanowłókien polimerowych.”²⁷

Złoty medal targów Bruksela Innova otrzymali naukowcy z Instytutu Inżynierii Materiałowej Politechniki Łódzkiej za opracowanie powłoki zastępującej smar.

„Powłoka ma znikomą masę, grubość około 0,5 mikrometra (5 dziesięciotysięcznych milimetra), ale twardość tej cieniutkiej warstewki jest czterokrotnie większa, niż hartowanej stali. [...] Powłoki zawierają twarde krystality - nanocząstki - w osnowie twardego, diamentopodobnego węgla. Mają niski współczynnik tarcia, są odporne na zużycie cieerne i zmęczenie przy wysokich naciskach. Osadza się je poprzez atomowe rozpylanie powierzchni niektórych metali w plazmie wzbudzonej w atmosferze gazu szlachetnego, na przykład argonu. „Znane wcześniej niskotarciowe powłoki z czystego węgla charakteryzowały się dużymi naprężeniami własnymi i dużą kruchością. Aby uniknąć tych wad opracowaliśmy powłoki kompozytowe na osnowie węgla z domieszkami atomów metali, dzięki czemu w powłokach występują znacznie mniejsze naprężenia. Ich współczynnik tarcia suchego względem stali wynosi 0.1 do 0.3, a odporność na zużycie podczas tarcia ślizgowego jest o dwa rzędy wielkości większa niż w przypadku podłoża stalowego bez powłoki” - wyjaśnia prof. Wendler.”²⁸

Zakres nanomateriałów i nanotechnologii w inżynierii materiałowej nieustannie się powiększa. Współczesne obszary badawcze w tej dziedzinie przedstawia tabela 2.2.

²⁷http://www.nauka.gov.pl/mn/index.jsp?place=Lead09&news_cat_id=496&news_id=8300&layout=4&page=text

²⁸http://www.nauka.gov.pl/mn/index.jsp?place=Lead09&news_cat_id=496&news_id=8299&layout=4&page=text

Tabela 2.2. Obszary badawcze w dziedzinie nanonauk i nanotechnologii [i54]

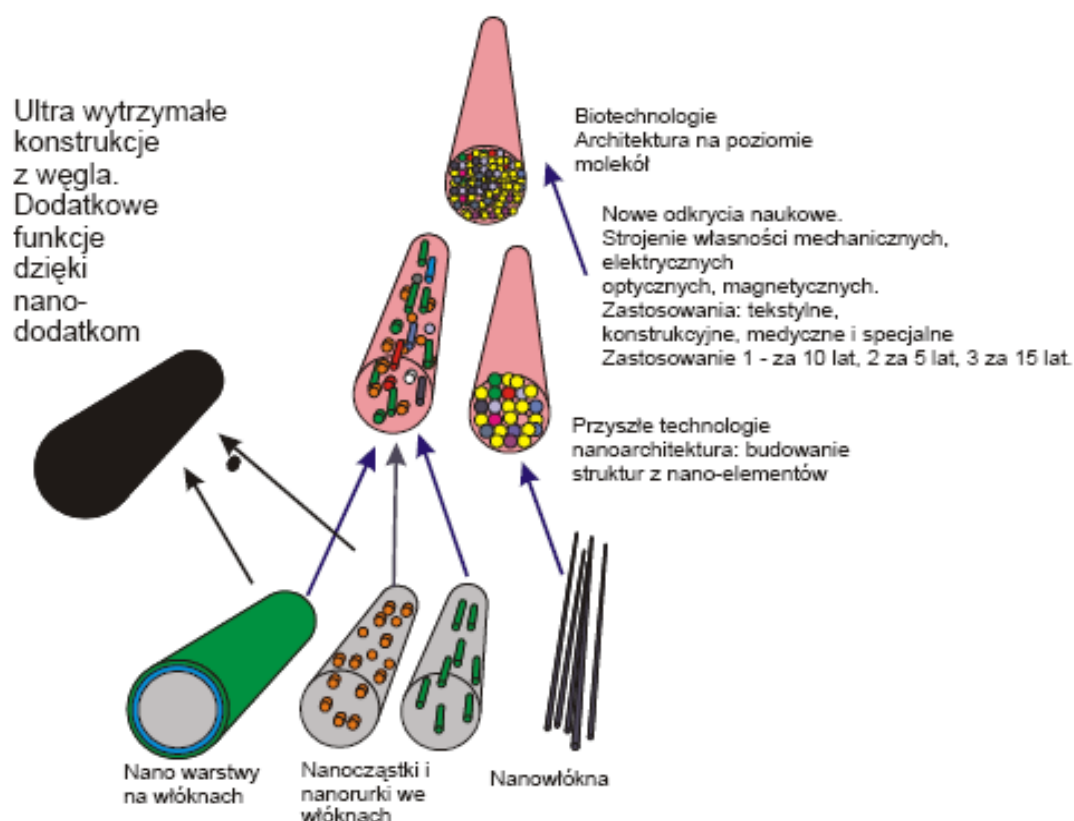
Podział podstawowy	Podział szczegółowy	Przykłady
1. Zjawiska i procesy w nanoskali	1.1. Nanofizyka ¹⁾ 1.2. Nanochemia ²⁾ 1.3. Nanomechanika 1.4. Nanobiologia 1.5. Nanoinformatyka	1) np.: Modelowanie własności obiektów w skali nano • Informacja, szum i fluktuacje w nanoskali • Tarcie i zwilżanie, nanoprzepływy i dyfuzja powierzchniowa • Granice miniaturyzacji • Zjawiska samogromadzenia i samoorganizacji; 2) np.: Modelowanie struktury molekularnej i właściwości chemicznych nanocząstek i nanostruktur • Aktywność chemiczna nanocząstek i nanostruktur • Fizykochemiczne podstawy powstawania układów samoorganizujących się;
2. Nanostruktury	2.1. Nanocząstki 2.2. Nanodruły, nanowłókna i nanorurki 2.3. Nanostruktury powierzchniowe 2.4. Nanostruktury trójwymiarowe ³⁾	3) np.: Nanokryształy, kropki kwantowe i materiały porowate;
3. Nanomateriały i kompozyty	3.1. Nanomateriały funkcjonalne ⁴⁾ 3.2. Nanomateriały konstrukcyjne ⁵⁾	4) np.: Nanomateriały magnetyczne i dla spintroniki • Nanomateriały dla elektroniki i optoelektroniki • Nanomateriały dla optyki i fotoniki • Nanomateriały dla medycyny • Nanomateriały na sensory • Nanomateriały na ogniwa i baterie • Nanomateriały dla katalizy • Nanomateriały tekstylne; 5) np.: Nanomateriały metaliczne • Nanomateriały ceramiczne • Nanomateriały polimerowe • Materiały nanohybrydowe;
4. Nanoelektronika i nanomagnetyzm	4.1. Elektronika molekularna 4.2. Elektronika polimerowa 4.3. Pamięci masowe 4.4. Nanotechnologia półprzewodników 4.5. Nanolitografia	6) np.: Magnesy z pojedynczych molekuł • Nanomagnesy molekularne o wysokim spinie;

	i nanodruk 4.6. Nanomagnesy ⁶⁾	
5. Nanooptyka	5.1. Nanofotonika ⁷⁾ 5.2. Optoelektronika 5.3. Optyka kwantowa 5.4. Powierzchnie optyczne nanometryczne 5.5. Plazmonika ⁸⁾ 5.6. Nowe źródła i detektory promieniowania	7) np.: Kryształy fotoniczne • Światłowody fotoniczne • Jednofotonowe źródła światła i źródła fotonów skorelowanych; 8) np.: Światłowody plazmonowe • Molekularne czujniki plazmonowe;
6. Urządzenia w nanoskali	6.1. Jednoatomowe urządzenia 6.2. Manipulatory molekularne 6.3. Sensory i biosensory	
7. Nanoanalitika i nanometrologia	7.1. Urządzenia ⁹⁾ 7.2. Metody ¹⁰⁾	9) np.: Przyrządy i oprogramowanie do pomiarów metodami mikroskopowymi • Mikroskopy próbników skanujących • Elektronowe mikroskopy skaningowe • Mikroskopy prześwietleniowe (transmisyjne) • Nanopróbniki składu chemicznego • Urządzenia manipulacji pojedynczymi obiektami w nanoskali; 10) np.: Metody wykorzystujące promieniowanie synchrotronowe i promieniowanie laserowe na swobodnych nośnikach • Metody analityki w skali nano;
8. Nanobio	8.1. Sensory subkomórkowe i nanotracery 8.2. Biomembrany 8.3. Nanokapsuły 8.4. Obiekty biomimetyczne 8.5. Modyfikatory genetyczne	
9. Nanomedycyna	9.1. Terapia celowana 9.2. Obrazy molekularne 9.3. Biochipy – systemy diagnostyczne 9.4. Inżynieria tkankowa 9.5. Maszyny molekularne	np.: Przenośne urządzenia <i>lab-on-a-chip</i> • Wszczepialne biocujniki.
10. Procesy i urządzenia produkcyjne dla nanotechnologii		

„Klasyfikacja zastosowań przemysłowych w tabeli to: 1. Motoryzacja, 2. Medycyna, chemia, farmacja, 3. Optyka, 4. Technologie informatyczne, 5. Elektronika, 6. Biotechnologia, 7. Żywność, 8. Energetyka, 9. Budownictwo oraz 10. Rekreacja.”²⁹

„Niewątpliwym motorem rozwoju nanotechnologii były i będą potrzeby przemysłu militarno obronnego gdzie wszelkie aspekty zastosowań nowych materiałów są traktowane priorytetowo. Również ogromne potrzeby przemysłu zwłaszcza na nowe niezwykle wytrzymałe materiały wywołują ogromną presję na ten kierunek prac badawczych. Już dzisiaj wiadomo, że nanotechnologia będzie w dziedzinie inżynierii materiałowej niekwestionowaną królową. Wystarczy tutaj przytoczyć nagłośniony wielokrotnie temat nanorurek węglowych, pod względem wytrzymałości materiał numer jeden na światowej giełdzie wynalazków. Biobójcze właściwości o niespotykanie dotąd szerokim spektrum działania i bezterminowym okresie użyteczności powodują wzmożony popyt na badania i zastosowanie nanotechnologii w branży medycznej.”³⁰

Nowe właściwości są możliwe do osiągnięcia dzięki wprowadzeniu nowych struktur w materiałach – rysunek 2.3.



Rys.2.3 Nano i Nano-mikro architektura struktur: warstwowych, powierzchniowych, objętościowych i włóknistych, [i46]

²⁹ Przyjęto za: Nanotechnology Conquers Markets - German Innovation Initiative for Nanotechnology, Federal Ministry of Education and Research, Bonn, Berlin, 2004.

³⁰ <http://www.nano-technologie.pl/content/category/3/4/32/>

„Jako obszary nanotechnologii o dużych perspektywach można by wymienić: nanostrukturalne katalizatory (nad takimi bardziej wydajnymi katalizatorami wciąż trwają badania, a rynek dla nich jest olbrzymi: petrochemia, farmacja, produkty kosmetyczne), dozowanie i wybiórcze dostarczanie leków (tutaj decydująca jest albo forma leku — nanozawiesina jest lepiej przyswajalna albo funkcja — nanocząstki leku z doczepionym receptorem są aktywne jedynie w określonych tkankach). Zaliczyć do nich można także nanokompozyty najróżniejszych rodzajów: magnetyczne (nanokompozyty ferromagnetyków w parametrycznej osnowie), stopy Al (np. nanokrystaliczne stopy o osnowie Al, zawierające Ni i metale ziem rzadkich), polimery z dodatkiem nanokrystalicznych glinokrzemianów, polimery ceramiczne, metaloceramiczne. Przewiduje się, że ważnym obszarem będzie biodetekcja (selektywna detekcja niebezpiecznych toksyn dzięki użyciu nanokryształów złota z doczepionymi do nich odpowiednimi receptorami i zastosowaniu czulej detekcji optycznej).”³¹

2.3. Biomateriały

„W obszarze badawczym dotyczącym nowoczesnych technologii dla gospodarki w Krajowym Programie Badań Naukowych i Prac Rozwojowych autorstwa Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego wyróżniono badania wysokowydajnych biotechnologii dla różnych gałęzi przemysłu.

Zawarły się w nich następujące kierunki badań poznawczych:

- Unikatowe i ulepszone biokatalizatory i metabolity.
- Produkcja biofarmaceutyków, mikrobiologicznych i biodegradowalnych polimerów oraz innych biomateriałów.
- Stworzenie systemu zintegrowanych biorafinerii wykorzystujących bioproceny do uzyskania energii oraz produktów o wartości dodanej z surowców odnawialnych, biomasy roślinnej, produktów ubocznych i odpadów.”³²

³¹ Grabski M. W., Kozubski J. A.: Inżynieria materiałowa. Geneza, istota, perspektywy. Op. cit., s.216

³² Krajowy Program Badań Naukowych i Prac Rozwojowych, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, 2008, s.16, www.bip.nauka.gov.pl.

Biomateriały wykorzystywane mogą być do leczenia miażdżycy, a dokładniej do implantowania stentów uwalniających leki w naczyniach krwionośnych. Potrzebne są nowe materiały, które mogłyby pokryć powierzchnię stentów metalicznych.

„Badania dotyczą poznania wzajemnych oddziaływań cząstek biologicznych z powierzchnią implantu w nanoskali porównania tych właściwości w skali makroskopowej. Możliwość kontroli właściwości materiałów odbywałaby się za pomocą modyfikacji powierzchni poprzez zmianę rozkładu ładunku powierzchniowego. Poznanie środowiska implantu i wzajemnych relacji biologicznych jest najlepszym źródłem informacji na temat ewentualnych powikłań czy stanów zapalnych. Ideą projektu jest wytworzenie nanoobszarów o kontrolowanym rozkładzie ładunku elektrycznego i badanie reakcji zachodzących na styku implant-tkanka. Wyniki tych badań znajdą zastosowanie w pracach nad ulepszonymi stentami kardiologicznymi i urologicznymi, implantami ortopedycznymi, graftami oraz tkankami antybakteryjnymi.”³³

Biomateriały stanowią współcześnie grupę materiałową związaną ze wszystkimi dostępnymi rodzajami materiałów. Ze względu na ich znaczenie dla życia ludzkiego wszystkie „nowinki” i odkrycia w dziedzinie inżynierii materiałowej niemalże natychmiast znajdują zastosowanie w biomateriałach. W przyszłości biomateriały będą dziedziną nowych odkryć naukowych umożliwiających ich szerokie zastosowanie, szczególnie w medycynie.

„Należy się spodziewać, że przyszłościowe technologie materiałowe będą związane z równoczesnym rozwojem w dwu kierunkach, otwierających całkowicie nowe możliwości techniczne:

- konwergencja (zbieżność) procesów wytwórczych materiałów zgodnie z zasadami „bottom-up” oraz „top-down”, w celu pokonania bariery technologicznej związanej z wartością 30 nm,
- połączenie tradycyjnych materiałów półprzewodnikowych, opierających się głównie na krzemie, z materiałami organicznymi i/lub biologicznymi, przy możliwie małej skali opracowanych zespołów (interfaces).

Wśród licznych możliwych zastosowań praktycznych takich właśnie osiągnięć z pewnością należy wyróżnić materiały biomimetyczne czyli bionaśladowcze.”³⁴

³³ Kowal K., Wysocka-Król K.: Trendy w rozwoju nowych biomateriałów dla kardiologii interwencyjnej. Inżynieria Biomedyczna, 1/2009 vol.15, s. 62

³⁴ Dobrzański Leszek A.: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Op. Cit., s.1297

2.4. Materiały funkcjonalne, kompozytowe, inteligentne i gradientowe

Najczęstszym obiektem współczesnych materiałowych badań naukowych są zaawansowane materiały, które tworzą materiały konstrukcyjne i funkcjonalne.

„W przypadku tych pierwszych rozwój charakteryzował się wzrostem złożoności fazowej - od litych jednofazowych materiałów poprzez materiały o zmodyfikowanej warstwie wierzchniej do kompozytów zbrojonych włóknami, laminatów i materiałów z gradientem składu. Wzrost złożoności fazowej występował także w dziedzinie materiałów funkcjonalnych, których burzliwy rozwój wiąże się ze wzrostem znaczenia elektronicznych i fonicznych technik informacyjnych i telekomunikacji w życiu codziennym. Niemniej, dominantą rozwoju była tu daleko idąca miniaturyzacja oraz naśladowanie natury. Rozwój nowych materiałów funkcjonalnych jest nie do pomyślenia bez rozwoju nowych metod otrzymywania materiałów. Występuje przy tym sprzężenie zwrotne: nowe materiały umożliwiają rozwój tych technik, a nowe metody wytwarzania nowych materiałów wykorzystują szeroko te nowe techniki.”³⁵

Materiały funkcjonalne charakteryzują się specyficznymi właściwościami fizykochemicznymi, predysponującymi je do zastosowań w określonych dziedzinach np. do nowoczesnych elektronicznych urządzeniach optycznych. Badania prowadzone nad nimi obecnie i w przyszłości będą służyły zwiększeniu obszarów ich zastosowań oraz poprawie ich fizycznych i chemicznych właściwości.

Liczne badania w inżynierii materiałowej dotyczące materiałów funkcjonalnych i kompozytowych prowadziła Pani prof. dr hab. inż. Lucyna Jaworska z Zakładu Inżynierii i Technologii Materiałów w Instytucie Techniki Uniwersytetu Pedagogicznego w Krakowie. Wybrane tematy badań dotyczą:

- funkcjonalnych materiałów gradientowych:
 - kompozyt diament-Ti₃SiC₂ – matematyczne obliczenia rozkładu faz zweryfikowane z rozkładem faz w kompozytach po procesie spiekania techniką HP-HT³⁶ – badania prowadzone z Panią dr Natalią Ryłko z Instytutu Techniki Uniwersytetu Pedagogicznego,

³⁵ Pampuch R.: Funkcjonalne materiały ceramiczne. Kompozyty, nr12, 2004, s. 345

³⁶ Rozmus M., Mituszew W., Jaworska L., Ryłko N.: Projektowanie tworzyw z gradientem rozmieszczenia faz otrzymywanych metodą zagęszczania w ultrawirówce, nr 1, 2008, s.64

- tworzywa cermetalowe przeznaczone na ostrza narzędzi skrawających - cermetal otrzymany z 55% masy TiC oraz 45% masy mieszaniny (Ni+Mo)³⁷,
 - kompozyty diamentowe z ceramiczną fazą wiążącą, zagęszczania materiału o strukturze gradientowej metodą wirówkową - kompozyt diamentowy z 30% masy Ti₃SiC₂³⁸
- kompozytów:
- wysokociśnieniowe spiekanie proszków diamentowych – badania eksperymentalne na próbkach warstwowych oraz kompozytach otrzymanych drogą spiekania w warunkach wysokich ciśnień,³⁹
 - wysokociśnieniowe i swobodne spiekanie kompozytów cermetalowych z udziałem nanometrycznych proszków TiC - celem badań było określenie parametrów wytrzymałościowych kompozytów cermetalowych z zastosowaniem różnych metod spiekania.⁴⁰

W związku z poszukiwaniem materiałów o coraz to większej funkcjonalności prowadzona są liczne badania nad nanokompozytami polimerowymi. Badania o tej tematyce będą prowadzone także w przyszłości, ponieważ dzięki dwufazowej strukturze i zastosowaniu w tych materiałach różnych nanododatków magnetycznych można wpływać na zmianę ich właściwości fizycznych. Zachowanie nanokompozytów polimerowych w różnych temperaturach może być badane metodą rezonansu ferromagnetycznego, który w przyszłości może posłużyć do charakteryzowania innych materiałów.

Badania w zakresie materiałów funkcjonalnych zostały wyznaczone jako jeden z kierunków priorytetowych w Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk.

Wśród artykułów naukowych dotyczących kompozytów wyróżniają się publikacje Pani prof. Magdaleny Szutkowskiej - profesora nadzwyczajnego Uniwersytetu Pedagogicznego. Jej działalność naukowa dotyczy m.in. materiałów

³⁷ Jaworska L., Smuk B., Królicka B., Wszolek J.: Tworzywa cermetalowe przeznaczone na ostrza narzędzi skrawających. Kompozyty, nr 3, 2005, s. 25

³⁸ Jaworska L., Rozmus M., Twardowska A., Królicka B.: Kompozyty diamentowe z ceramiczną fazą wiążącą - modyfikacja mikrostruktury w aspekcie łączenia z korpusem narzędzia. Kompozyty, nr 3, 2006, s. 7

³⁹ Jaworska L.: Wysokociśnieniowe spiekanie proszków diamentowych. Prace Instytutu Obróbki Skrawaniem. Zeszyty Naukowe, nr 82, 2002, s.112

⁴⁰ Figiel P., Jaworska L., Putyra P., Klimczyk P., Bryła K.: Wysokociśnieniowe i swobodne spiekanie kompozytów cermetalowych z udziałem nanometrycznych proszków TiC. Kompozyty, nr 2, 2008, s.130

ceramicznych, ceramiki narzędziowej, spieków ceramicznych i nanokrystalicznych oraz kompozytów ceramicznych. Badania związane z materiałami kompozytowymi dotyczą m.in.:

- kontrolowanego rozwoju pęknięć tworzywa tlenkowego i kompozytu tlenkowo-węglkowo-azotkowego ($\text{Al}_2\text{O}_3+\text{TiC}+\text{TiN}$),⁴¹
- twardości Vickersa i odporności na kruche pękanie takich faz ceramicznych, jak $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, tetragonalne polikryształy ZrO_2 , SiC , Ti_3SiC_2 oraz kompozytów na osnowie tych faz,⁴²
- wyznaczenia odporności na pękanie K_{Ic} oraz parametru χ , charakteryzującego pole naprężeń szczątkowych wokół odcisku po próbie twardości Vickersa, dla kompozytu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ i porównawczo dla ceramiki tlenkowej Al_2O_3 . Zastosowano metodę wprowadzania kontrolowanych pęknięć wstępnych, wytwarzanych podczas wciskania wglębnika twardości Vickersa w badany materiał.⁴³

Badania materiałów kompozytowych są bardzo zaawansowane, dotyczą między innymi nanokompozytów, kompozytów warstwowych, włóknistych, ziarnistych, gradientowych, do których stosowane są różnego rodzaju napełniacze, osnowy i zbrojenia.

Materiały inteligentne stanowią grupę materiałów bardzo trudną do jednoznacznego zdefiniowania.

„W praktycznym zastosowaniu materiały inteligentne mogą występować samodzielnie albo stanowić komponent "struktury" konstrukcyjnej lub funkcjonalnej. Taką wprowadza rozróżnienie między smart i inteligent materials. Jego zdaniem materiał inteligentny to taki, który jest zdolny do reagowania na bodźce zewnętrzne przez istotną zmianę swych właściwości dla pożądanego i skutecznego odpowiedzenia na te bodźce. Stosując terminologię informatyki - materiał inteligentny powinien spełniać funkcję czujnika (sensora), procesora i "urządzenia" uruchamiającego - aktuatora (przekazującego uzyskany efekt), a jednocześnie właściwości te powinny wykazywać cechy sprzężenia zwrotnego (feed back and feed forward). Występowanie tylko 2 lub 3

⁴¹ Szutkowska M., Boniecki M.: Badania krzywych R w materiałach narzędziowych - tworzywie tlenkowym i kompozycie tlenkowo-węglkowo-azotkowym. Kompozyty, nr 5, 2002, s. 378

⁴² Pędzich Z., Piekarczyk J., Sobierski L., Szutkowska M., Walat E.: Twardość Vickersa i odporność na pękanie wybranych kompozytów ceramicznych. Kompozyty, nr 7, 2003, s. 296

⁴³ Szutkowska M., Boniecki M.: Ocena odporności na pękanie kompozytu $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2$ metodą kontrolowanego rozwoju pęknięć. Kompozyty, nr 8, 2003, s. 439

z wymienionych cech nie wystarcza do zaliczania materiału do klasy materiałów inteligentnych. Takągi uważa, że smart ogranicza się do uzyskania efektu zmiany właściwości pod wpływem działania bodźców zewnętrznych w sposób przewidywalny. Ważne jest uzyskiwanie efektu w czasie rzeczywistym lub w czasie zbliżonym do rzeczywistego.”⁴⁴

Materiały inteligentne mogą emitować światło (np. materiały elektroluminescencyjne), zmieniać swoją temperaturę (m. termoelektryczne), gęstość (np. ciecze elektroeologiczne), kolor (np. m. termochromowe) jak również kształt lub wielkość (np. materiały piezoelektryczne, polimery przewodzące). Do tej grupy należy zaliczyć także materiały samogrupujące się oraz samonaprawiające się.

W Instytucie Metalurgii i Inżynierii Materiałowej Polskiej Akademii Nauk prowadzone są badania materiałów inteligentnych charakteryzujących się efektem cieplnej i magnetycznej pamięci kształtu.

„Planuje się badania stopów na osnowie NiTi, NiAl, w których efekt pamięci kształtu wywołany jest przemianą martenzytyczną indukowaną cieplnie, jak również stopy Co-Ni-Al, Fe-Ni-Al i Ni-Mn-Ga, w których efekt pamięci kształtu wywołany jest zmianą orientacji krystalicznej martenzytu pod wpływem zewnętrznego pola magnetycznego. Tematyka mieści się w ramach prowadzonych projektów o współpracy Polsko-Hiszpańskiej. [...]W przypadku stopów, w których efekt pamięci kształtu wywołany jest w wyniku przyłożonego zewnętrznego pola magnetycznego planuje się badania nowej grupy polikrystalicznych z układów Co-Ni-Al oraz Fe-Ni-Al, charakteryzujących się dobrą plastycznością jak również relatywnie niskim kosztem otrzymania. Dodatkowo analizowane będą stopy Ni-Mn-Ga wykazujące efekt magnetostrykcyjny w dwóch postaciach:

- a. monokryształach wytworzonych zmodyfikowaną metoda Bridgmana,
- b. cienkich warstwach uzyskanych metodą laserową PLD (Pulsed Laser Deposition) na podłożu Si i monokryształu Ni-Mn-Ga.”⁴⁵

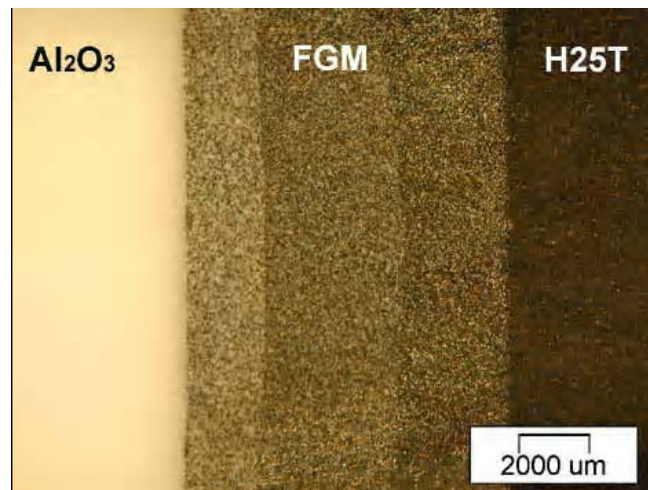
„Materiały gradientowe są tworzywami o stopniowo zmieniającej się względem odpowiedniego układu odniesienia charakterystyce materiałowej, która decyduje o ich walorach funkcjonalnych. Dzięki temu poszerzają one znacznie zakres możliwości rozwiązań materiałowych elementów konstrukcyjnych i narzędzi.

⁴⁴ <http://www.matint.pl/index.php>

⁴⁵ <http://www.imim.pl/instytut/priorytety>

Prace badawcze, zmierzające do dalszego rozwoju tych materiałów, ukierunkowane są przede wszystkim na pozyskanie danych eksperymentalnych niezbędnych do projektowania ich składu chemicznego, struktury i własności oraz obejmują również opracowanie metod produkcji materiałów gradientowych i procesu kształtowania z nich półwyrobów i gotowych wyrobów.”⁴⁶

Materiały gradientowe mogą być wykorzystywane jako spoiwa stali z ceramiką. Takie połączenie charakteryzuje się ciągłością i płynnością struktury. Spojenia ceramiki Al_2O_3 ze stalą H25T z wykorzystaniem materiału gradientowego spiekanego z trzech warstw o różnych składach z nanoproszków Al_2O_3 i mikroproszków Cr przedstawia rysunek 2.4.



Rys. 2.4 Struktura połączenia ceramiki korundowej ze stalą H25T poprzez materiał gradientowy Al_2O_3 -Cr, [30]

Badania materiałów gradientowych są współcześnie bardzo popularne. Jest to związane z faktem, iż dzięki zastosowaniu gradientu składu chemicznego zmieniają się właściwości materiałów. Sądzę, iż w przyszłości obok poszukiwań nowych materiałów będą prowadzone z pewnością badania związane z materiałami już znanymi, jednak z zastosowaniem gradientu ich składu chemicznego.

⁴⁶ Szczepanik S., Krawiarz J.: „Struktura i wybrane własności kompozytu z gradientem składu chemicznego otrzymanego z proszku aluminium i stopu Al-Si-Fe-Cu-Mg”, Kompozyty, nr 4, 2008, s. 370

2.5. Czyste technologie materiałowe

Temat dotyczący „czystych” technologii materiałowych coraz częściej podejmowany jest przez liczne światowe czasopisma naukowe. Został także uwzględniony w „Krajowym Programie Badań Naukowych i Prac Rozwojowych” w obszarze badawczym „Energia i infrastruktura”, w którym przypisuje mu się dużą rolę m.in. w badaniach nad ekologicznymi środkami transportu.

W związku z koniecznością ochrony środowiska naturalnego, a szczególnie redukcją emisji gazów cieplarnianych prowadzone są liczne badania naukowe dotyczące produkcji „czystej” energii cieplnej i elektrycznej. Poszukiwane są nowe technologie pozyskiwania wodoru, ponieważ wszystkie stosowane dotychczas mają wady uniemożliwiające jego produkcję na masową skalę. Produkcja wodoru z surowców kopalnych związana jest z emisją dwutlenku węgla a elektroliza pochłania zbyt dużo energii elektrycznej. Duży problem stanowi także magazynowanie i dystrybucja wodoru.

„Molekuły wodoru (nieporównywalnie mniejsze od cząsteczek jakichkolwiek innych substancji występujących na ziemi) mają zdolność do przenikania przez materiały konstrukcyjne. Wodór ma wysoką skłonność do wybuchu (obszar wybuchowości wodoru to od 4 do 75% objętościowych w mieszaninie z powietrzem, a np. dla metanu tylko 5–15% obj.). Nie można zatem żyć nadziei, że do dystrybucji wodoru można wykorzystać urządzenia stosowane do dystrybucji gazu ziemnego. W istocie, każdy element sieci dystrybucji wodoru wymaga nowych technicznych rozwiązań. [...] Nad koncepcją zaopatrzenia samochodów albo w ciekły wodór (LH₂), albo wysoko sprężony gazowy wodór (GH₂) pracuje obecnie jeden z instytutów w USA (Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA). Testują zbiorniki wytrzymałe na ciśnienie 700 atmosfer. Możliwość utrzymywania w nich niskiej temperatury ma być zrealizowana dzięki zastosowaniu wspomnianej izolacji próżniowej w celu zapobiegania transferowi ciepła z otoczenia.”⁴⁷

„W Raporcie Departamentu Energii USA (2006) wskazano na potrzebę przełomu w opracowaniu materiałów dla technologii wodorowych. Jest tu szczególnie miejsce

⁴⁷ Marzec A.: Problemy wodorowego paliwa. Polityka energetyczna, tom 10, 2007, s. 92,93

dla technologii nanomateriałów, których właściwości są niezwykle obiecujące w tej dziedzinie i różne od właściwości formy mikrokrystalicznej (np. nanoelektrolity pozwolą obniżyć temperaturę pracy ogniw SOFC do 600°C z obecnych 1000°C, co jest kluczem do komercjalizacji tej technologii; nanokatalizatory pozwolą także znacznie podnieść efektywność reakcji elektrodowych itd.). Kataliza pełni kluczową rolę w syntezie materiałów i procesach elektrodowych w ogniwach paliwowych warunkując efektywność ogniwa paliwowego, a także wpływa na kinetykę wiązania i uwalniania wodoru z materiałów sorbujących wodór. [...] Na świecie, głównie w USA, Japonii i krajach Europy Zachodniej, powstały centralne, priorytetowe i wysoko finansowane programy badawcze (jak np. tzw. Projekt Busha w USA) dla uzyskania znaczącego i przełomowego postępu w tej dziedzinie.”⁴⁸

Współczesne kierunki badań naukowych mają na celu poprawę jakości życia, zdrowia ludzkiego, ochronę środowiska, jak również znalezienie nowych źródeł energii. „Stale wzrastające zapotrzebowanie na energię elektryczną wymusza poszukiwanie jej alternatywnych źródeł. Jednym z rozwiązań branych pod uwagę jest stworzenie w przyszłości elektrowni plazmowej, w której energia będzie uzyskiwana w reakcji jądrowej analogicznej z tą, jaka zachodzi na Słońcu. Do realizacji tego celu przyczyni się budowa doświadczalnego reaktora ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), w którego budowę zaangażowane są Unia Europejska, Stany Zjednoczone, Japonia, Federacja Rosyjska, Ludowa Republika Chin, Republika Korei Południowej i Indie.”⁴⁹

W ramach programu EURATOM do budowy reaktora plazmowego prowadzone są liczne badania w dziedzinie inżynierii materiałowej, mające na celu opracowanie materiałów przeznaczonych do jego budowy. Szczególne znaczenie będą mieć tutaj kompozyty gradientowe.

⁴⁸ Molenda J.: Fundamentalne znaczenie badań naukowych dla rozwoju gospodarki wodorowej. *Polityka energetyczna*, tom 11, 2008, s. 66-67

⁴⁹ Rusowicz A., Fortuna E., Lisowski W., Wolski T.: Gradientowe kompozyty/powłoki W+Cu otrzymywane metodą natryskiwania plazmowego. *Kompozyty*, nr 2, 2007, s.98

BIBLIOGRAFIA:

1. Adamson A.W. Physical chemistry of surfaces. 5th ed. Wiley, New York 1990, s. 777–786
2. Blicharski Marek: Wstęp do inżynierii materiałowej. Wydawnictwa Naukowo – Techniczne, Warszawa 2003
3. Dobrzański Leszek A.: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa 2002
4. Dutkiewicz, J. ; Maziarz, W. ; Lityńska-Dobrzyńska, L. ; Rogal, Ł. ; Kanciruk, A. ; Kovačova, A.: Metaliczne kompozyty amorficzno-nanokrystaliczne. Kompozyty, nr3, 2008, s.220-224
5. Farshad M., Benine A., Magnetoactive elastomer composites, Polymer Testing 2004, 23
6. Figiel P., Jaworska L., Putyra P., Klimczyk P., Bryła K.: Wysokociśnieniowe i swobodne spiekanie kompozytów cermetalowych z udziałem nanometrycznych proszków TiC. Kompozyty, nr 2, 2008, s.130-135
7. Grabski Maciej W., Kozubski Jan A.: Inżynieria materiałowa. Geneza, istota, perspektywy. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2003
8. Hufenbach W., Gude M., Modler N., Heber T., Winkler A., Friedrich J.: “Processing studies for the development of a robust manufacture process for active composite structures with matrix adapted piezoceramic modules”, Kompozyty nr 2, 2009 ,s. 133÷137
9. Hufenbach W.; Czulak A.; Błażejowski W.; Gąsior P.: „Wysokociśnieniowe zbiorniki kompozytowe wzmocnione wyplotem z włókna szklanego ze zintegrowanymi czujnikami światłowodorowymi”, Kompozyty nr 2, 2009 , s. 107÷111
10. Hufenbach W.; Holste C.; Sokołowski A.; Cebula W.: “Research on the damping factors of lightweight materials”, Prace Naukowe Katedry Budowy Maszyn / Politechnika Śląska, nr 1, 2000, s.33÷42
11. Janta T., Węgliński B., Wpływ rodzaju dielektryku na właściwości dielektromagnetyków, Kompozyty, nr 3, 2003,
12. Jaworska L., Rozmus M., Twardowska A., Królicka B.: Kompozyty diamentowe z ceramiczną fazą wiążącą - modyfikacja mikrostruktury w aspekcie łączenia z korpusem narzędzia. Kompozyty, nr 3, 2006, s. 3-7

13. Jaworska L., Smuk B., Królicka B., Wszolek J.: Tworzywa cermetalowe przeznaczone na ostrza narzędzi skrawających. *Kompozyty*, nr 3, 2005, s. 21-25
14. Jaworska L.: Wysokociśnieniowe spiekanie proszków diamentowych. *Prace Instytutu Obróbki Skrawaniem. Zeszyty Naukowe*, nr 82, 2002, s.112.
15. Joensson M., Kieback B., W-Cu Gradient Materials - Processing, Properties and Application Possibilities, *Proceedings of the 15th International Plansee Seminar 2001*, nr. 1, 1-15.
16. Kołtuniewicz A.: Importance of membranes in clean technologies. *Chemical and Process Engineering*, nr 29, 2008, s.29-41.
17. Kowal K., Wysocka-Król K.: Trendy w rozwoju nowych biomateriałów dla kardiologii interwencyjnej. *Inżynieria Biomedyczna*, 1/2009 vol.15, s. 62
18. Kozioł M.; Ślężona J.: „Kompozyty polimerowo –włókniste o trójwymiarowym zbrojeniu”, *Kompozyty*, nr 2, 2008, s. 123÷129
19. Kula P.: Kierunki rozwoju nauki o materiałach i inżynierii materiałowej. *Inżynieria materiałowa*, nr 1, 2007, s. 5-10
20. Kuśnierz, J. ; Dutkiewicz, J. ; Malczewski, P. ; Kurowski, M.: Nanocrystalline materials prepared by torsion under pressure of 2 GPa. *Archives of Metallurgy and Materials*, Vol. 51, iss. 4, 2006, s. 575—579
21. Leonowicz M., *Nowoczesne materiały magnetycznie twarde, wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1996
22. Lewandowski R., Rutowski R., Staniszevska-Kuś J., Pielka S., Wnukiewicz.: Odczyn tkankowy po implantacji biomateriałów ceramicznych z wprowadzonym na powierzchnię potencjałem elektrokinetycznym zeta. *Polimery w medycynie*, 2004, T. XXXIV. Nr 1, s.16
23. Li Zhou: Progress and problems in hydrogen storage methods. *Renewable and Sustainable Reviews*, nr 9, 2005, s.395–408.
24. Major, R.: Hybrid Pulsed Laser Deposition of Gradient TiN and TiCN coatings for biomedical applications. *Inżynieria materiałowa*, nr 3-4, 2007, 1263456 s. 666—671
25. Marzec A.: Problemy wodorowego paliwa. *Polityka energetyczna*, tom 10, 2007, s. 89-96.
26. Molenda J.: Fundamentalne znaczenie badań naukowych dla rozwoju gospodarki wodorowej. *Polityka energetyczna*, tom 11, 2008, s. 61-68

27. Neubrand A., Rödel J., Gradient Materials, an Overview of a Novel Concept, *Zeitschrift für Metallkunde* 1997, 88, 358-371.
28. Osipov O.S., Diegues Skury A.L., Bobrovnitchii G.S., Influence of high pressure on the microhardness and wear resistance of diamond powder and silicon carbide-based composites, *Materials Research* 2004, 7, 2, 335-337.
29. Paszkowski L., Skalski A., Biało D.: Wpływ budowy kompozytów i warunków wtryskiwania na maksymalną gęstość energii magnetycznej (BH)_{max} dielektromagnesów. *Kompozyty*, nr3, 2008,
30. Petrzak K., Chmielowski M.: Kompozyty Al₂O₃ jako gradientowa warstwa pośrednia w złączach ceramika korundowa – stal chromowa, *Kompozyty* nr.3, 2003, 434-438
31. Pędzich Z., Piekarczyk J., Sobierski L., Szutkowska M., Walat E.: Twardość Vickersa i odporność na pękanie wybranych kompozytów ceramicznych. *Kompozyty*, nr 7, 2003, s. 296-300
32. Raport Interdyscyplinarnego Zespołu do spraw Nanonauki i Nanotechnologii przy Ministerstwie Nauki i Szkolnictwa Wyższego, *Nanonauka i nanotechnologia. Narodowa Strategia dla Polski*. <http://www.nanonet.pl/>
33. Raßach S., Lehnert W., Simulation of the deformation of graded materials, *Advanced Engineering Materials* 2000, nr 2, 442-444.
34. Rozmus M., Mituszew W., Jaworska L., Ryłko N.: Projektowanie tworzyw z gradientem rozmieszczenia faz otrzymywanych metodą zagęszczania w ultrawirówce, nr 1, 2008, s.64-69
35. Rusowicz A., Fortuna E., Lisowski W., Wolski T.: Gradientowe kompozyty/powłoki W+Cu otrzymywane metodą natryskiwania plazmowego. *Kompozyty*, nr 2, 2007, s.99-104
36. Sokołowska A., Olszyna A., Frąckowiak I.: Nanotechnologia w inżynierii materiałów drzewnych. *Inżynieria materiałowa*, nr5, 2008, s. 471
37. Stoch, L. ; Dutkiewicz, J. ; Morgiel, J. ; Stoch, P.: Crystallization of SiO₂-Al₂O₃-Mg(Zn)O glasses nucleated by TiO₂, *Archiwum Nauki o Materiałach*, nr 1, 2004, s. 21-36
38. Stoch, L. ; Dutkiewicz, J. ; Środa, M.: Nanokrystaliczna, funkcjonalna szkło-ceramika. *Archiwum Nauki o Materiałach*, nr 4, 2003, s. 477-487
39. Szczepanik S., Gradient materials on aluminium alloy basis obtained from powders by hot forming, *Inżynieria Materiałowa* 2007, nr 3-4, 602-605.

40. Szczepanik S., Krawiarz J.: „Struktura i wybrane własności kompozytu z gradientem składu chemicznego otrzymanego z proszku aluminium i stopu Al-Si-Fe-Cu-Mg”, *Kompozyty*, nr 4, 2008, s. 369÷374
41. Szkliniarz W.: „Strukturalne aspekty wytwarzania stopów na osnowie faz międzymetalicznych z układu Ti-Al.”, *Rudy i Metale Nieżelazne*, nr 9, 2002, s. 434÷438
42. Szutkowska M., Boniecki M.: Badania krzywych R w materiałach narzędziowych - tworzywie tlenkowym i kompozycie tlenkowo-węglkowo-azotkowym. *Kompozyty*, nr 5, 2002, s. 378-383
43. Szutkowska M., Boniecki M.: Ocena odporności na pękanie kompozytu Al₂O₃-ZrO₂ metodą kontrolowanego rozwoju pęknięć. *Kompozyty*, nr 8, 2003, s. 439-443
44. Tuliński, M.; Jurczyk, M. Mechanical and corrosion properties of Ni-free austenitic stainless steels. *Archives of Metallurgy and Materials*, Vol. 53, issue 3/2008, s. 955-959
45. Zieliński A.: Strategie badań i rozwoju w obszarze inżynierii materiałowej. *Inżynieria Materiałowa*, nr5, 2008, s. 515
- i46. <http://intranet.unipress.waw.pl/FOREMAT>
- i47. www.bip.nauka.gov.pl.
- i48. www.ifmpan.poznan.pl/MAG-EL-MAT/Main/zadania.php
- i49. www.imim.pl/fundusze-strukturalne/chodziarki-magnetyczne
- i50. www.imim.pl/instytut/priorytety
- i51. www.inmat.pw.edu.pl
- i52. www.kpk.gov.pl/pliki/plik.html?id=6637
- i53. www.matint.pl/index.php
- i54. www.nanonet.pl
- i55. www.nano-technologie.pl/content/category/3/4/32/
- i56. www.nauka.gov.pl
- i57. www.pw.edu.pl/Badania-i-nauka/Katalog-Projektow-Badawczych-PW/Zastosowania-w-przemysle-i-biznesie/Wydzial-Inzynierii-Materialowej/Nowe-materialy-do-pracy-w-ekstremalnych-srodowiskach
- i58. www.science24.com/paper/14842
- i59. www.tworzywa.pwr.wroc.pl/index.php?co=ident

SPIS RYSUNKÓW:

1. Rys. 1.1. Projekty badawcze realizowane w 2000÷2005 związane z tematyką nano.....	11
2. Rys. 2.1 Ilustracja wzrostu znaczenia formy i architektury materiałów w mikro i nanoskali.....	24
3. Rys. 2.2. Trendy w ewolucji technologii zaawansowanych materiałów..	27
4. Rys.2.3. Nano i Nano-mikro architektura struktur: warstwowych, powierzchniowych, objętościowych i włóknistych.....	31
5. Rys. 2.4 Struktura połączenia ceramiki korundowej ze stalą H25T poprzez materiał gradientowy Al_2O_3 -Cr.....	38

SPIS TABEL:

1. Tabela 1.1. Potrzeby technologiczne i szczegółowe kierunki badań.....	3
2. Tabela 1.2. Budżet obszarów tematycznych programu COOPERATION.....	4
3. Tabela 1.3. Propozycja podziału środków na badania rozwojowe w obszarze inżynierii materiałowej.....	5
4. Tabela 1.4. Ogólna charakterystyka materiałów biomimetycznych powstających metodą „bottom–up“.....	7
5. Tabela 1.5. Zestawienie wybranych tematów badań w dziedzinie biomateriałów.....	8
6. Tabela 1.6. Tematyka artykułów naukowych dotyczących lekkich materiałów konstrukcyjnych.....	14
7. Tabela 1.7. Perspektywy badań naukowych i prac wdrożeniowych związanych z przewidywanym rozwojem systemów energetycznych....	19
8. Tabela 2.1. Propozycja podziału środków na badania poznawcze w obszarze inżynierii materiałowej.....	26
9. Tabela 2.2. Obszary badawcze w dziedzinie nanonauk i nanotechnologii.....	29