

Ekspertyza w ramach projektu „Sieć Regionalnych Obserwatoriów Specjalistycznych w Procesie Przedsiębiorczego Odkrywania (SO RIS w PPO)” nr WND-RPSL.01.03.00-24-06A2/16-005

(Obserwatorium Produkcja i Przetwarzanie Materiałów)

**Wykonanie analiz kluczowych obszarów technologicznych
dla Obserwatorium Specjalistycznego**

Ekspertyza 2.2.

Analiza rozwoju kluczowych technologii w obszarze wyrobów metalicznych, ceramicznych, polimerowych i kompozytowych

Opracował: dr hab. inż. Krzysztof Wodarski, prof. PŚ

Katowice, marzec 2019

Wprowadzenie

Przyszłość technologii jest w znacznej mierze oparta na trendach przyszłości. Według MIT do najważniejszych technologii, które mogą się okazać przełomowe w najbliższych latach zaliczyć należy [4]:

- drukarkę 3D tworzącą metalowe obiekty - sprzęt umożliwiający trójwymiarowe wydruki metalowych części. W efekcie zapoczątkuje on zapewne tańsze i szybsze tworzenie mniej lub bardziej zaawansowanych obiektów z tego materiału. Niebagatelny wpływ może to wywrzeć przede wszystkim na przemysł, zaś kluczowe przedsiębiorstwa, które warto obserwować to Markforged, Desktop Metal oraz GE;
- sztuczne embriony - naukowcy podjęli się jakiś czas temu tworzenia embrionów z komórek macierzystych. Przełom nastąpił, gdy udało się wykreować struktury z samych tylko komórek macierzystych, co otworzyło zupełnie nowy rozdział w pracach nad inicjowaniem życia. Wśród głównych laboratoriów zajmujących się tymi eksperymentami znajdują się Uniwersytety Cambridge, Michigan i Rockefellera;
- czujące miasta - Firma Sidewalk Labs planuje stworzyć specjalny dystrykt obfitujący w zaawansowaną technologię, by nadać nową perspektywę temu, w jaki sposób budujemy miasta i nimi zarządzamy;
- pojedynki sieci neuronowych - dzięki kontaktowi pomiędzy systemami AI są one w stanie wytworzyć nową – wykraczającą poza granice ludzkiej wyobraźni – jakość, w tym niezwykle realistyczne obrazy czy dźwięki. Warto śledzić m.in. takich graczy jak Google Brain, Deep Mind czy Nvidia;
- gaz ziemny bez zanieczyszczania atmosfery dwutlenkiem węgla - specjalna elektrownia skutecznie i tanio wychwytuje węgiel powstały ze spalania gazu ziemnego, co pozwala na uniknięcie emisji gazów cieplarnianych. To tym bardziej istotne, że w samych Stanach Zjednoczonych aż 32 proc. energii elektrycznej (i w efekcie 30 proc. zanieczyszczeń dwutlenkiem węgla z całego sektora) produkowanej jest właśnie z wykorzystaniem gazu ziemnego. Zagadnieniem zajmują się między innymi 8 Rivers Capital, Exelon Generation i CB&I;
- tłumaczenie z każdego języka „tu i teraz” – oznacza fachowe tłumaczenie w czasie rzeczywistym. Choć sprzęt wciąż jeszcze zawodzi, firmy są bardzo blisko takiego komfortu. Na ten czas działają tłumaczenia „prawie w czasie rzeczywistym”, ale prace (Google i jego Pixel Buds czy Baidu) trwają;
- pełna prywatność online - upowszechnienie narzędzia stosowanego w technologii blockchain pozwoli na zachowanie prywatności i nieujawnianie o sobie żadnej informacji spoza tych, które chcemy udostępnić. Prace nad udoskonaleniem kryptograficznego narzędzia są w toku (Zcash, JPMorgan Chase, ING) i zapewne już niedługo, bez konieczności schodzenia do deep webu, będzie można w 100 procentach chronić swoją tożsamość online;
- genetyczne wróżenie z dużym prawdopodobieństwem - przewidywanie chorób przed ich wystąpieniem, by móc od razu starać się im zapobiegać, zamiast później leczyć,

to jedno z wielu marzeń ludzkości. Dotychczas wydawało się, że to utopia, jednak dzięki wysiłkom między innymi takich organizacji jak Helix, 23andMe, Myriad Genetics czy UK Biobank, jesteśmy blisko momentu, w którym na bazie genomu z dużym prawdopodobieństwem będzie można szacować ryzyko wystąpienia u konkretnych osób chorób serca czy nowotworów;

- coraz lepsza znajomość budowy molekuł - Komputery kwantowe IBM pozwoliły elektronicznie wymodelować strukturę prostej molekuły. Dzięki wglądowi w szczegóły budowy tych cząsteczek możliwe będzie m.in. tworzenie bardziej skutecznych leków, ale i materiałów do generowania oraz dystrybucji energii;
- AI dla każdego - udostępnienie samouczących się narzędzi działających w chmurze powinno błyskawicznie upowszechnić globalny dostęp do rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji. Takie AI jest znacznie tańsze i łatwiejsze w użyciu, co docelowo może doprowadzić do wyrwania się technologii spod monopolu kilku kluczowych na rynku firm.

Wśród badań i seminariów odnoszących się do wdrażania Strategii na rzecz Zrównoważonego Rozwoju [10] podkreśla się rozwój biotechnologii, elektromobilności czy technologii kosmicznych. Bez względu na wykazane tendencje widoczne jest znaczenie rozwoju technologii wpisujących się w obszar produkcji i przetwarzania materiałów. W ekspertyzie powołano się na kluczowe programy i projekty wskazujące na rozwój kluczowych technologii w obszarze produkcji i przetwarzania materiałów w Polsce i wskazano technologie istotne dla rozwoju w woj. śląskim.

1. Podział materiałów

Materiałami w pojęciu technicznym nazywane są ciała stałe o własnościach umożliwiających ich stosowanie przez człowieka do wytwarzania produktów. Najogólniej wśród materiałów o znaczeniu technicznym można wyróżnić materiały naturalne, wymagające jedynie nadania kształtu, do technicznego zastosowania oraz materiały inżynierskie, nie występujące w naturze lecz wymagające zastosowania złożonych procesów wytwórczych do ich przystosowania do potrzeb technicznych.

Przykładami materiałów naturalnych są: drewno, niektóre kamienie, skały i minerały. Materiałami w ogólnym pojęciu nazywamy ciała stałe, o właściwościach umożliwiających ich wykorzystanie przez człowieka w zamierzonym celu (np. wykonania określonego produktu). Materiały możemy podzielić na [6]:

- naturalne – takie, które wymagają jedynie obróbki kształtowej np. drewno, minerały, skały.
- inżynierskie – wymagające specjalistycznych procesów wytwórczych w celu przystosowania ich do potrzeb technicznych.

Do podstawowych grup materiałów inżynierskich tradycyjnie są zaliczane:

- metale i ich stopy,
- polimery,
- materiały ceramiczne.

Podstawą podanej klasyfikacji jest istota wiązań między atomami tworzącymi dany materiał, utrzymujących je w skoordynowanych przestrzennie układach i determinujących podstawowe własności materiału. Ponadto można wymienić materiały kompozytowe, tworzone przez połączenie dowolnych dwóch z wymienionych materiałów inżynierskich w monolityczną całość, co zapewnia uzyskanie innych własności od właściwych dla każdego z materiałów składowych.

Pierwszą grupę stanowią są metale i ich stopy. Metale mają budowę krystaliczną, tzn. ich atomy zajmują ściśle określone miejsca w uporządkowanej sieci przestrzennej. Sieć przestrzenna jest odwzorowaniem przestrzennego rozmieszczenia atomów, utworzonym przez powtórzenie w trzech kierunkach podstawowego elementu, zwanego komórką zasadniczą albo sieciową. Materiały krystaliczne charakteryzują się zatem regularną, symetryczną budową.

Metale techniczne [6] otrzymywane konwencjonalnymi metodami metalurgicznymi są zwykle polikryształami. Składają się z ziaren, z których każde ma w przybliżeniu prawidłową strukturę krystaliczną. Tworzywa metaliczne obejmują produkcję i przetwórstwo żeliwa i stali oraz produkcję i przetwórstwo metali nieżelaznych, tj. m.in.: aluminium i jego stopy, miedź i jego stopy, nikiel i jego stopy, tytan i jego stopy, kobalt i jego stopy oraz metale szlachetne (odporne chemicznie).

Głównymi trendami w sferze produkcji i aplikacji materiałów (w tym tworzyw metalicznych) są: spełnianie warunków ochrony środowiska, energooszczędności i bezpieczeństwa. W zakresie cech materiałów eksponuje się poprawę klasycznych własności tworzyw metalicznych takich jak ich wytrzymałość i odporność. Ważne jest połączenie takich cech jak funkcjonalność i wytrzymałość. Funkcjonalność metali przyszłości wynikać ma nie tylko z podstawowego zastosowania, ale oznacza biogodność, biodegradowalność, łatwość obróbki i transportu, ich odporność chemiczną i mechaniczną. Pojawia się nowa kategoria jakości materiału - „samonaprawialność”. W sferze produkcji dąży się do zmniejszania kosztów materialnych i zwiększania produktywności. Rozwiązania techno-logiczne, podobnie jak i organizacyjne, powinny zmierzać do ograniczenia kosztów produkcji, zwiększenia jej wydajności i bezpieczeństwa, przy jednoczesnej poprawie oddziaływania na środowisko naturalne. Powszechnie jest dążenie do zmniejszania kosztów eksploatacji i konserwacji oraz możliwości recyklingu. W przypadku tworzyw metalicznych, następuje systematyczny postęp technologii optymalizujący skład chemiczny i fazowy oraz mikrostrukturę. Rozwój technologii tworzyw metalicznych umożliwi także otrzymanie nanostruktury oraz nowoczesnych warstw i pokryć. Ważną tendencją jest rozwój struktury produktowej (specjalne stale, stopy metali, kompozyty, produkty przetwórstwa metali).

Polimery [6] nazywane także tworzywami sztucznymi lub plastikami, są materiałami organicznymi, złożonymi ze związków węgla. Polimery są tworzone przez węgiel, wodór i inne pierwiastki niemetaliczne z prawego górnego rogu układu okresowego (N, O, F, Si, S, Cl). Tworzywa polimerowe to materiały składające się z polimerów syntetycznych (wytworzonych sztucznie przez człowieka i nie-występujących w naturze) lub zmodyfikowanych polimerów naturalnych. Polimery są makrocząsteczkami i powstają w wyniku połączenia wiązaniami kowalencyjnymi w łańcuchy wielu grup atomów zwanych monomerami jednego lub kilku rodzajów. W skład polimerów wchodzi również dodatki barwników lub pigmentów, katalizatorów, napełniaczy, zmiękczaczy (plastyfikatorów), antyutleniaaczy i innych. Polimery charakteryzują się: małą gęstością, izolacyjnymi własnościami cieplnymi i elektrycznymi (istnieją wyjątki przewodzące prąd elektryczny), słabo odbijają światło i zwykle są przezroczyste. Wiele z polimerów jest giętkich i odkształcalnych, lecz nie nadają się do pracy w podwyższonej temperaturze. Zwykle surowcem do wytwarzania polimerów jest ropa naftowa. W takim przypadku łączenie monomerów w makrocząstki następuje podczas polireakcji, tj. polimeryzacji, kopolimeryzacji, polikondensacji lub poliaddycji.

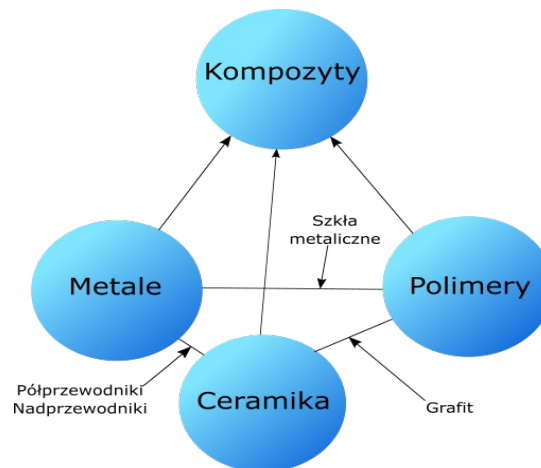
Technologie przyszłości polimerów to sposoby ich wytwarzania spełniające w całości wymagania środowiskowe. Dąży się przy tym do obniżania zużycia energii i wzrostu produktywności. Powszechny jest trend rozszerzania asortymentu i pogłębiania przetwórstwa polimerów. W przyszłości o funkcjonalności polimerów decydować będzie nie tylko ich podstawowe zastosowanie, ale takie cechy jak biogodność, biodegradowalność, łatwość obróbki i transportu, odporność chemiczna i mechaniczna. Ważną cechą polimerów przyszłości to ich trwałość oraz możliwości recyklingu.

Tworzywami ceramicznymi określa się grupę materiałów niemetaliczno-nieorganicznych, których finalnym procesem otrzymywania jest obróbka cieplna (wypalanie, konsolidacja, spiekanie) [6]. Tworzywa te otrzymuje się stosując zróżnicowane procesy technologiczne, z których tradycyjny opiera się na schemacie: otrzymywanie prekursora, formowanie wyrobu i obróbka cieplna. Specyficzną grupę materiałów ceramicznych stanowi szkło i powstałe z niego wyroby. W tym przypadku proces otrzymywania polega na stopieniu ze sobą odpowiedniej mieszanki surowców w jednolitą masę, uformowaniu z niej wyrobu i wystudzeniu go z prędkością gwarantującą duży udział fazy amorficznej. Ceramikę stanowią materiały nieorganiczne o jonowych i kowalencyjnych wiązańach międzyatomowych, wytwarzane zwykle w wysokotemperaturowych procesach związanych z przebiegiem nieodwracalnych reakcji, chociaż do tej grupy materiałów zaliczane są również szkła oraz beton i cement, pomimo że przy ich wytwarzaniu zachodzą nie wszystkie z tych procesów. Materiały ceramiczne, podobnie jak metale, posiadają budowę krystaliczną. Wyjątkiem są szkła, które charakteryzują się przewagą struktury bezpostaciowej (amorficznej) nad krystaliczną. Stan struktury szkieł jest pośredni między stanami ciekłym i stałym. Stan ten nie jest stanem równowagi i jest osiągany przez powstrzymanie krystalizacji, w wyniku szybkiego chłodzenia w zakresie temperatury krzepnięcia, zapewniającej powstanie fazy krystalicznej,

w razie powolnego chłodzenia w warunkach zbliżonych do równowagowych. Szkła podlegają odszkleniu (dewitryfikacji), stając się materiałami krystalicznymi, lecz okres ten trwa minimum kilkaset lat. Podstawowymi składnikami szklotwórczymi są trzy tlenki kwasowe: SiO_2 , B_2O_3 i P_2O_5 , tlenki arsenu i germanu, a także siarka, selen i fluorek ołowiu. W skład szkła, oprócz składników szklotwórczych, mogą wchodzić modyfikatory wiązań sieci przestrzennej oraz tlenki pośrednie.

Tendencją nowych technologii produkcji tworzyw ceramicznych jest dotrzymywanie parametrów ochrony środowiska i obniżanie zużycia energii. W przypadku tworzyw ceramicznych nowoczesne technologie optymalizują skład chemiczny i fazowy oraz mikrostrukturę tych tworzyw. Umożliwia on otrzymanie nanostruktury oraz nowoczesnych warstw i powłok. Do technologii przyszłości zalicza się technologie nanoproszków i nanoceramik oraz technologie powłok. W przypadku kompozytów ważnym trendem technologicznym jest tworzenie struktury z różnych materiałów, a także komponowanie struktury z mikro i nanoelementów. Dla szerokiego spektrum metod wytwarzania powłok i warstw, przewiduje się, że w ciągu najbliższych lat nastąpi dynamiczny rozwój technologii hybrydowych (multipleksowych). Umożliwiają one uzyskania całej gamy materiałów nowej generacji o unikalnych właściwościach, dla ściśle określonych zastosowań (nowe właściwości użytkowe, ściśle kontrolowana topografia powierzchni, skład fazowy i chemiczny oraz doskonałe parametry użytkowe - bardzo dobra adhezja, duża twardość). Nowoczesne materiały ceramiczne obejmują cztery grupy: ceramika użytkowa, materiały ogniotrwałe, tlenkowe i kowalencyjne materiały konstrukcyjne oraz tlenkowe i kowalencyjne materiały funkcjonalne. Ich przyszły rozwój związany jest z wysokimi nakładami i ryzykiem. Najmniejsze ryzyko, ale też i najmniejszy zysk związany jest z rozwojem ceramiki użytkowej. Największy poziom niepewności związany jest z tlenkowymi i kowalencyjnymi materiałami konstrukcyjnymi i materiałami funkcjonalnymi.

Materiały kompozytowe są tworzone poprzez połączenie dowolnych dwóch z wyżej wymienionych materiałów inżynierskich. Uzyskamy wtedy inne własności od właściwych dla każdego z materiałów składowych. Są one definiowane, jako materiały składające się z co najmniej dwóch faz, gdzie w wyniku zachodzącego efektu synergistycznego dochodzi do powstania materiału o właściwościach innych niż właściwości poszczególnych składników [11]. Materiał kompozytowy składa się najczęściej z dwóch składników, tj. osnowy oraz napełniacza zwanego też zbrojeniem lub szerzej fazą rozproszoną, a czasami stosuje się dodatkowe składniki, w tym głównie kompatybilizator. Osnowa, nazywana również fazą ciągłą, scala fragmenty napełniacza, umożliwia nadanie wyrobom odpowiedniego kształtu oraz determinuje większość fizycznych oraz chemicznych właściwości materiału. Zadaniem fazy rozproszonej jest dodatkowe poprawienie wybranych właściwości materiału. Natomiast kompatybilizator jest dodawany w celu zwiększenia oddziaływania pomiędzy osnową a napełniaczem co ma istotny wpływ na spoistość i jednorodność materiału, a w konsekwencji jego właściwości przetwórcze i wytrzymałościowe [1].



Kompozyty, jako wynik powiązań min. dwóch materiałów inżynierskich

Ze względu na rodzaj fazy rozproszonej, materiały kompozytowe możemy podzielić na [3]:

- kompozyty zbrojone cząstkami; fazę rozproszoną stanowią cząstki o sztywności i twardości większej od osnowy; obciążenia zewnętrzne są przenoszone zarówno przez osnowę jak i napełniacz, a wzmocnienie efektywne jest zwykle obserwowane, gdy zawartość napełniacza jest większa niż 20%;
- kompozyty zbrojone dyspersyjnie; wzmocnienie następuje na poziomie mikroskopowym; obciążenia zewnętrzne są przenoszone przez osnowę, a wzmocnienie jest efektywne, gdy napełnienie nie przekracza 15%;
- kompozyty zbrojone włóknami; napełniacz stanowią włókna (szklane, grafitowe, węglowe lub organiczne) o różnym stopniu uporządkowania struktury oraz różnych parametrach;
- kompozyty strukturalne; złożone z ciągłych struktur składników konstrukcyjnych (np. sklejka, pręty, itp.).

2. Kluczowe technologie w obszarze produkcji i przetwarzania materiałów

Nauka o materiałach zajmuje się poznaniem wzajemnych relacji pomiędzy metodą wytwarzania (synteza), strukturą, właściwościami oraz zastosowaniem materiałów. Ta interdyscyplinarna dziedzina nauki korzysta m.in. z fizyki, chemii, mechaniki, a także techniki, z czego zrodził się kierunek nazwany w połowie XX wieku inżynierią materiałową (dostosowanie właściwości materiału do indywidualnych potrzeb wyrobu). Inżynieria materiałowa zajmuje się zarówno tworzeniem, doborem, obróbką, użytkowaniem, niszczeniem i odzyskiwaniem materiałów jak i produkcją z nich elementów i wyrobów. Wiedza ta pozwala, z jednej strony wskazać, jakim zabiegom należy poddać materiał, aby osiągnąć określone jego właściwości, a z drugiej - jakie własności powinno mieć tworzywo w danych warunkach pracy. Podejścia te są często w jedną dyscyplinę, skupiającą wiedzę o skondensowanym stanie materii z wiedzą o funkcji i osiągnięciach materiałów oraz o metodach

ich syn-tezy i przeróbki. Łączą one potrzebę wnikania w naturę materii z imperatywem zaspokajania ludzkich potrzeb. Rosnąca złożoność problemów materiałowych wymaga współpracy coraz to nowych dziedzin wiedzy.

Przełom w technologii materiałów często oznaczał skok cywilizacyjny (brąz, żelazo, krzem...). Od doskonalenia materiałów zależy postęp właściwości użytkowych wykonanych z nich urządzeń, maszyn czy przedmiotów. Silna baza badawcza i edukacyjna w obszarze technologii oraz badania materiałów stwarzają przyjazne środowisko dla rozwoju przedsiębiorstw. Polska dysponuje bardzo dużymi zasobami ludzkimi w obszarze technologii materiałowych, a obecnie dzięki badaniom szybko rozwija się też infrastruktura badawcza. Wykazują to szczególnie dwa programy realizowane w Polsce Techmatstrateg [7] oraz Krajowe Inteligentne Specjalizacje [8].

2.1. Technologie produkcji i przetwarzania materiałów - program Techmastrateg

Zgodnie z przyjętymi założeniami w programie Techmatstrateg najbardziej rozwojowymi technologiami i kierunkami badań prowadzonych w Europie i na świecie w obszarze produkcji i przetwarzania materiałów są [7]:

1. Technologie materiałów konstrukcyjnych.
2. Technologie materiałów fotonicznych i nanoelektronicznych.
3. Technologie materiałów funkcjonalnych i materiałów o projektowanych właściwościach.
4. Bezodpadowe technologie materiałowe i technologie biodegradowalnych materiałów inżynierskich.
5. Technologie materiałów dla magazynowania i przesyłu energii.

W przypadku technologii materiałów konstrukcyjnych jednym z najważniejszych wyzwań stojących przed gospodarką kraju jest modernizacja infrastruktury transportowej oraz zapewnienie bezpieczeństwa, trwałości, użyteczności i niezawodności obiektów budowlanych. Niezbędnym warunkiem sprostania temu wyzwaniu jest opracowanie nowych materiałów konstrukcyjnych o wysokiej wytrzymałości i trwałości, a przy tym bezpiecznych dla zdrowia społeczeństwa i środowiska naturalnego. Dla uzyskania produktów o odpowiednich właściwościach należy wykorzystywać nanotechnologie, mikrotechnologie i biotechnologie, które czynią możliwym projektowanie i modyfikowanie struktury materiałów. Kluczową rolę w wytwarzaniu materiałów konstrukcyjnych odgrywają metale i stopy metali. Światowe trendy w zakresie stosowania nowoczesnych metalicznych materiałów konstrukcyjnych preferują obecnie stopy lekkie i super lekkie na bazie aluminium i magnezu. Wynika to między innymi z potrzeb dynamicznie rozwijającego się przemysłu środków transportu samochodowego, kolejowego, lotniczego, morskiego, a także budownictwa. Duże znaczenie zachowują również konstrukcyjne materiały stalowe. Duże znaczenie mają też technologie stopów miedzi, w tym zwłaszcza elementy konstrukcyjne wykazujące cechy

antybakteryjne, wytworzone z miedzi i jej stopów (systemy Cu+). Rozwój infrastruktury komunikacyjnej i drogowej stwarza zapotrzebowanie również na nowe rozwiązania w obszarze betonów konstrukcyjnych.

Kolejnym obszarem jest rozwój technologii fonicznych oraz mikro- i nanotechnologii. W technologiach tych upatruje się źródła materiałów nowej generacji, tworzących podstawę rozwoju nowych technik i zastosowań służących podniesieniu bezpieczeństwa i standardu życia oraz wpływających na wzrost innowacyjności i konkurencyjności krajowego przemysłu. Wymienione technologie należą do kluczowych technologii prorozwojowych (Key Enabling Technologies – KET), zdefiniowanych przez Komisję Europejską jako decydujące o przyszłości przemysłu europejskiego i dobrobycie obywateli. Technologie foniczne działają stymulująco na rozwój gospodarki całej Unii Europejskiej. Szacuje się, że 20-30% europejskiej działalności gospodarczej jest związana z fotoniką.

Kolejne rekomendowane do rozwoju technologie to technologie materiałów funkcjonalnych i materiałów o projektowanych właściwościach. Zakres obszaru obejmuje materiały, których właściwości zmieniają się w polu elektrycznym, magnetycznym, elektromagnetycznym, polu temperatury lub polu naprężeń. Jako rewolucyjne i wnoszące nową jakość w inżynierii materiałowej wymienia się nanomateriały. Oprócz klasycznych materiałów funkcjonalnych, takich jak materiały magnetostrykcyjne, materiały z pamięcią kształtu, czy materiały elektro- i magneto-reologiczne, należy tu wymienić materiały magnetyczne, ślizgowe, biomateriały, warstwy i pokrycia funkcjonalne, polimery, kompozyty, materiały włókniste, a także grupę tzw. materiałów inteligentnych, w tym termoelektrycznych i magnetokalorycznych. Główne zastosowania tych materiałów to: elementy czynne dla elektroniki i mikroelektroniki, sensory, katalizatory reakcji i procesów, aktuatory oraz nowe materiały energooszczędne i materiały lekkie.

Gospodarczy rozwój kraju nie może odbywać się kosztem degradacji środowiska naturalnego. Zasady czystej produkcji zachęcają do minimalizowania ilości odpadów powstających w procesach produkcyjnych. W tym kontekście istotne jest opracowanie nowych technologii wytwarzania materiałów ulegających biodegradacji po okresie użytkowania lub podatnych na inne metody utylizacji. W tym zakresie istotną rolę pełni ekonomia cyrkularna (z ang. circular economy), która z założenia jest odnawialnym i samoregenerującym się systemem, mającym za zadanie zredukować (i docelowo wyeliminować) ilość powstających w gospodarce niewykorzystanych odpadów i nieużytków - celem jest ich ponowne "zaangażowanie" do cyklu w sposób efektywny, niekoniecznie w tej samej roli, oraz budowanie społecznego, ekonomicznego i naturalnego kapitału. Problem odpadów jest istotny w wielu gałęziach przemysłu, takich jak np. przemysł motoryzacyjny i przemysł opakowań. W przemyśle motoryzacyjnym, systematyczny rozwój technologii prowadzących do zmniejszania odpadów produkcyjnych i energochłonności procesów technologicznych, przy zachowaniu wysokiej jakości produktów jest uważany za kluczowy czynnik sukcesu. W polskim przemyśle opakowań większość tworzyw produkuje się z

polimerów syntetycznych, głównie pochodnych z przerobu ropy naftowej. Są one bardzo trwałe i praktycznie nie ulegają rozkładowi w środowisku naturalnym. Nagromadzenie wielkich ilości odpadów z tworzyw sztucznych tworzy poważny problem ekologiczny i gospodarczy. Około 80% odpadów z tworzyw syntetycznych stanowią odpady komunalne, głównie zużyte opakowania. Zalegają one na wysypiskach śmieci, które zajmują coraz większą powierzchnię. Wykorzystanie innowacyjnych biotechnologii może wzbogacić krajową bazę surowcową o polimery biodegradowalne. Dla sektora rolnego korzystne mogą być prace nad materiałami z biomasy odpadowej. Dużą zaletą wielu technologii otrzymywania biopolimerów z biomasy jest ograniczenie emisji CO₂ do atmosfery i ograniczenie wydatków energetycznych w porównaniu z produkcją polimerów z paliw kopalnych. Ogromny balast dla środowiska w kraju stanowi też bardzo duża ilość odpadów przemysłowych w postaci żużli hutniczych i popiołów lotnych z elektrowni. Odpowiedzią na potrzebę zagospodarowania tych odpadów (również niebezpiecznych) oraz zmniejszenia emisji CO₂ przy produkcji cementu jest opracowanie nowych technologii wytwarzania materiałów budowlanych, w tym spoiw mineralnych o dużej zdolności immobilizacji metali ciężkich. Dalszym krokiem jest opracowanie technologii produktów wykorzystujących te nowe spoiwa (betony, betony lekkie, kruszywa syntetyczne). Surowce odpadowe mogą być również wykorzystane w nowych technologiach produkcji płytek ceramicznych, jako składniki masy ceramicznej.

Światowa gospodarka zużywa znacznie więcej zasobów niż jest w stanie odtworzyć lub użyć ponownie. Od okresu rewolucji przemysłowej świat rozwija się w modelu linearnym opartym na eksploatacji zasobów i produkcji coraz większej ilości odpadów. Wynika to ze wzrostu populacji, coraz szybszej urbanizacji, a co za tym idzie rosnącej klasy średniej o wysokich aspiracjach konsumpcyjnych. Ich realizacja odpowiadać będzie wartości jednej trzeciej globalnego Produktu Światowego Brutto w roku 2030.

Już teraz ludzkość konsumuje 1,6 razy więcej zasobów niż możliwości regeneracyjne planety. Oznacza to, że każdy kraj z roku na rok zaciąga coraz większy kredyt ekologiczny. Wskaźnik ten opracowany przez Global Footprint Network mierzy zapotrzebowanie populacji na zasoby naturalne i możliwości ich odtworzenia. W zeszłym roku świat wkroczył w okres długu 1 sierpnia co oznacza, że do tego dnia wykorzystaliśmy zasoby przeznaczone na cały rok. Polska osiągnęła ten stan, podobnie jak wiele gospodarek rozwiniętych, 19 maja, Rosja 21 kwietnia, a wkraczający na drogę rozwoju Wietnam dopiero 21 grudnia. Materiałochłonność gospodarki ciągle rośnie. Zatem pilne jest uniezależnienie wzrostu gospodarczego od konsumpcji zasobów i przejście do gospodarki obiegu zamkniętego (GOZ, ang. circular economy) opartej na odtwarzaniu lub odzyskiwaniu zasobów, korzystaniu z dóbr, a nie ich posiadaniu, czy wreszcie znacznie większym niż obecnie wykorzystaniu odpadów. Wejście na taką ścieżkę rozwoju dać może wielowymiarowe korzyści. Według badań BCG do roku 2030 gospodarka obiegu zamkniętego może wygenerować dodatkowe 4,5 biliona dolarów światowego PKB, dając szansę wyżywienia i lepszej opieki społecznej dla 8,5 mld ludzi.[12]

Szereg programów i dyrektyw wdrożyły organy Unii Europejskiej – w 2018 roku wydany został dokument „Closing the loop – EU plan for the circular economy”, zwany Pakietem Gospodarki Obiegu Zamkniętego. Wdrożenie jego zasad (w tym strategii dotyczącej plastiku) dałoby gospodarkom unijnym oszczędności rzędu 630 mld dolarów, co równe jest ok. 3 proc. PKB. Ten i wcześniejsze dokumenty (np. Środowiskowy Program Działania – EAP) wskazują jako cel główny konieczność obniżenia produkcji odpadów per capita.

Gospodarka obiegu zamkniętego wpisana jest w cele zrównoważonego rozwoju Narodów Zjednoczonych (SDG). Polska zajmuje 32 miejsce na świecie (nieco lepsze od Chin) w postępie ich realizacji. Przodują państwa skandynawskie, Niemcy i Francja. Polska ma duży potencjał w ograniczeniu produkcji i zagospodarowaniu odpadów. Niestety zużycie materiałów jest u nas trzecim najwyższym w UE (obecnie większe niż Polska zużycie materiałów w Unii mają tylko siedmio- i pięciokrotnie większe gospodarki Niemiec i Francji), a wydajność materiałowa 3,5 razy niższa.

Za mało efektywną uznać można gospodarkę odpadami, a najwięcej z nich (45 proc.) generuje górnictwo węgla i rud metali. Najlepiej w Polsce prezentuje się odzysk odpadów przetwórstwa przemysłowego i pochodzących z budownictwa (68 proc.), których w przeliczeniu na osobę Polska wytwarza o połowę mniej niż średnio w UE.[12]

Transformacja gospodarki linearnej w cyrkularną wymagać będzie nie tylko większej wydajności materiałowej, a co za tym idzie przesunięcia czynników produkcji do bardziej produktywnych obszarów. Powstać też muszą zupełnie nowe łańcuchy wartości łączące podmioty rynkowe, ale także publiczne. Do pokonania są istotne bariery o podłożu psychologicznym. Inicjatywy i programy dotyczące gospodarki obiegu zamkniętego postrzegane są jako przedsięwzięcia nisko opłacalne, a więc o niższym priorytecie, a do informacji o zagrożeniach ekologicznych wiele podmiotów i osób podchodzi nieufnie.

Bezpieczeństwo energetyczne kraju przy rosnącym zapotrzebowaniu na energię wymaga prowadzenia badań aplikacyjnych w obszarze technologii materiałów do magazynowania i przesyłu energii. Niezwykle ważnym problemem przy wysokim zapotrzebowaniu na energię elektryczną w kraju jest jej efektywne przesyłanie od wytwórcy do konsumenta. Szczególnego znaczenia w ramach przesyłu energii elektrycznej nabierają prace nad nowymi technologiami wytwarzania materiałów przewodzących o niskich stratach, dedykowanymi zarówno liniom wysokiego i średniego napięcia, jak i sieciom trakcji kolejowej, zwłaszcza kolei dużych prędkości.

2.2. Technologie produkcji i przetwarzania materiałów – Krajowe Inteligentne Specjalizacje

W ramach Krajowych Inteligentnych specjalizacji jedna z nich jest szczególnie dedykowana nowoczesnym materiałom. Należy do niej KIS 8, który obejmuje Wielofunkcyjne materiały i

kompozyty o zaawansowanych właściwościach, w tym nanoproceny i nanoproducty. Wśród szczególnych specjalizacji (technologii) wyróżnia się [8]:

- A. Zaawansowane materiały i nanotechnologie dla celów medycznych i ochrony zdrowia oraz materiały hybrydowe z udziałem żywych tkanek i komórek:
- nowe materiały, w tym kompozytowe i nanostrukturalne oraz innowacyjne technologie do zastosowań w medycynie regeneracyjnej, na innowacyjne urządzenia, instrumenty i wyroby medyczne i dentystyczne do prowadzenia i wspomagania diagnostyki medycznej oraz terapii i metod medycyny regeneracyjnej;
 - nowe materiały, w tym kompozytowe i nanostrukturalne na wyroby, implanty medyczne i dentystyczne oraz stenty;
 - nowe materiały z udziałem żywych tkanek i komórek na implanty medyczne;
 - nowe materiały kompozytowe i nanostrukturalne akceptowalne przez organizm ludzki na nano- i mikroimplanty medyczne, biokompatybilne nanoznaczniki fluorescencyjne;
 - nowe inteligentne materiały kompozytowe i nanostrukturalne na opatrunki, na wyroby chirurgiczne i higieniczne, umożliwiające dozowanie leków i nanofarmaceutyków, z regulowanym czasem biodegradacji i separacji od podłoża oraz innowacyjne technologie ich wytwarzania;
 - technologie i nanotechnologie warstw powierzchniowych i nanostrukturalnych specjalnego przeznaczenia na produkty stosowane na instrumentarium medyczne oraz implanty medyczne i dentystyczne, a także w urządzeniach przemysłu spożywczego.
- B. Ekomateriały oraz materiały kompozytowe i nanostrukturalne biomimetyczne, bioniczne i biodegradowalne:
- nowe materiały, nanomateriały i nanokompozyty funkcjonalne dla ochrony środowiska naturalnego;
 - nowe materiały, technologie i konstrukcje w celu konwersji materiałowych, technologicznych i konstrukcyjnych z zamiarem zapewnienia zrównoważonego rozwoju;
 - nowe oszczędne materiały i nanomateriały, w tym stopy i struktury o znaczeniu dla rozwoju środowiska;
 - nowe ekomateriały kompozytowe i nanostrukturalne o regulowanym czasie degradacji lub resorpcji z surowców naturalnych, biopolimerów wzmacnianych włóknami pochodzenia roślinnego i ulegających kontrolowanej degradacji;
 - nowe i biologicznie inspirowane technologie, materiały i konstrukcje metalowe i ich powierzchnie superhydrofobowe, kanałów chłodzących w kształcie naczyń, hierarchicznych stopów/pian/ kompozytów oraz nowe wielofunkcyjne materiały, nanomateriały i nanokompozyty biomimetyczne i bioniczne oraz nowe wielofunkcyjne

kompozyty i nanokompozyty strukturalne, warstwy i struktury bioniczne, oraz innowacyjne technologie ich wytwarzania.

- C. Zaawansowane materiały i nanotechnologie w energii odnawialnej, oraz do transformowania, magazynowania i racjonalizacji gospodarowania energią:
- nowe wielofunkcyjne materiały, nanomateriały i nanokompozyty do pozyskiwania, transformowania, magazynowania i racjonalizacji gospodarowania energią;
 - nowe zaawansowane materiały, nanomateriały i nanokompozyty do wysokowydajnego pozyskiwania energii fotowoltaicznej z wykorzystaniem krzemu mono- i polikrystalicznego oraz materiałów nieorganicznych i organicznych;
 - nowe zaawansowane materiały, nanomateriały i nanokompozyty zapewniające integrację technologii magazynowania energii w sieci elektrycznej w zakresie zastosowania zaawansowanych cząstek funkcjonalnych, włókien, warstw, powłok w celu integracji urządzeń pamięci masowej w sieci elektrycznej;
 - nowe zaawansowane materiały, nanomateriały i nanokompozyty zapewniające dobór metod magazynowania energii poprzez transformację energii elektrycznej do nośników energii chemicznej;
- D. Wielofunkcyjne kompozytowe i nanostrukturalne materiały ultralekkie, ultrawyrztrzymałe, o radykalnie podwyższonej żaroodporności i żarowyrztrzymałości:
- nowe zaawansowane lekkie materiały, nanomateriały i nanokompozyty konstrukcyjne o pod-wyższonych właściwościach mechanicznych, kompozyty o osnowie metalowej ze wzmocnieniem zarówno mikro- jak i nanostrukturalnym;
 - nowe zaawansowane lekkie wysokowytrzymałe materiały intermetaliczne, w zakresie aluminidków, krzemków i ciągliwych lantanidków oraz cermetów, nowe nanokrystaliczne wodorki Mg, Al lub Li o bardzo szybkiej kinetyce absorpcji i desorpcji do magazynowania wodoru, materiały, nanomateriały i nanokompozyty oraz utwardzane wydzieleniowo stopy typu rdzeń-powłoka Al-Li-Sc, Al-Mg-Sc na wysoko wytrzymałe specjalizowane elementy i ich innowacyjne technologie;
 - technologie zaawansowanych lekkich i nowych litych szkielec metalicznych na bazie Mg, Al, Ti, Fe oraz kompozyty i nanokompozyty o strukturze amorficznej, nanokrystalicznej i krystalicznej;
 - technologie zaawansowanych, ultralekkich, nowych struktur komórkowych o osnowie metalowej, polimerowej, ceramicznej i kompozytowej oraz hybrydowych, odpornych na zniszczenie, piany metalowe, konstrukcje mikro- i nanoszkielec, siatkowe oraz hybrydowe;
 - nowe zaawansowane materiały, w tym wieloskładnikowe stopy metali o wysokiej entropii zapewniającej unikatowe właściwości strukturalne i większą stabilność fazową do zastosowań w wysokiej temperaturze, stopy żaroodporne W, Ta, Re, Hf, Nb, Mo, V i platynowców;
 - technologie nowych zaawansowanych drobnoziarnistych stopów Ti lub Al odkształcanych nadplastycznie oraz stali o wysokiej wytrzymałości typu TRIP, TWIP i TRIPLEX, o strukturze superbainitycznej, nowych stali typu ODS i stali żyłyskowych;

- technologie nowych zaawansowanych lekkich kompozytów o osnowie polimerowej i hybrydowych o wzmocnieniu włóknistym podwyższających właściwości mechaniczne i zmniejszających masę gotowego wyrobu.
- E. Zaawansowane materiały i nanotechnologie do zastosowań związanych z bezpieczeństwem:
- technologie nowych zaawansowanych materiałów, nanomateriałów i nanokompozytów polimerowych i hybrydowych o wzmocnieniu włóknistym o podwyższonych właściwościach mechanicznych i obniżonej masie, przy wykorzystaniu przestrzennie uformowanych struktur włóknistych lub uformowanej strukturze przy użyciu techniki druku 3D, wzmacnianych dodatkowo włóknami nieorganicznymi lub organicznymi, zintegrowanych z sensorami, przeznaczonych na Środki Ochrony Indywidualnej i na inteligentną odzież specjalistyczną;
 - technologie nowych zaawansowanych wielowarstwowych materiałów kompozytowych oraz hybrydowych technologii inżynierii powierzchni z wykorzystaniem technologii laserowych, oraz ceramiczno-metalowych materiałów kompozytowych.
- F. Zaawansowane materiały i nanotechnologie dla produktów o wysokiej wartości dodanej oraz o dużym znaczeniu dla łańcuchów wartości w przemyśle:
- nowe metody wytwarzania materiałów spiekanych i ceramicznych w tym superdrobnoziarnistych, oraz innowacyjnych produktów wytwarzanych tymi technologiami;
 - nowe technologie przyrostowe, laserowego selektywnego spiekania i topienia oraz druku 3D wraz z odpowiednimi urządzeniami, nowe innowacyjne materiały lite i porowate, w tym hybrydowe i gradientowe;
 - innowacyjne technologie wytwarzania produktów jednostkowych, krótkoseryjnych, o nowych funkcjonalnościach, charakteryzujących się złożonym kształtem, o regulowanej porowatości, „inteligentnych” przez integrację z sensorami i efektorami;
 - nowe innowacyjne technologie wytwarzania i przetwórstwa nanokrystalicznych stopów wielofunkcyjnych metodami intensywnego odkształcenia plastycznego przez skręcanie, cykliczne wyciskanie ściskające, wielokrotne kątowe prasowanie kanałowe;
 - nowe zaawansowane hybrydowe technologie materiałów i produktów końcowych związanych z kształtowaniem nanostruktury i nanofunkcji podczas standardowego procesu produktów lub półproduktów; nowe i rozwinięte urządzenia mikrofluidyzacyjne na bazie materiałów polimerowych poprzez druk 3D lub wtryskiwanie materiałów polimerowych lub ceramicznych.
- G. Materiały, nanomateriały i kompozyty funkcjonalne o zaawansowanych właściwościach fizykochemicznych i użytkowych:
- Technologie wytwarzania i przetwórstwa nowych zaawansowanych materiałów, nanomateriałów i nanokompozytów inteligentnych i zintegrowanych w postaci 2D i 3D, zaawansowanych lekkich kompozytów o osnowie polimerowej, metalowej;

- nowe zaawansowane materiały funkcjonalne o niestandardowej przewodności elektrycznej i cieplnej z przeznaczeniem dla przemysłów wytwarzających produkty końcowe, na kondensatory, pokrycia termiczne, płyty izolacyjne energooszczędnych budynków;
 - nowe innowacyjne technologie wytwarzania i przetwórstwa nanostrukturalnych zaawansowanych materiałów, o nowej funkcjonalności, superhydrofobowych, samooczyszczających się, systemów samouzdrawiających, inteligentnych tekstyliów i papierów, biomimetycznych;
 - nowe technologie umożliwiające wykorzystywanie papieru i tekstyliów na funkcjonalne elementy lub urządzenia elektroniczne o obiecujących zaletach technicznych, ekonomicznych i środowiskowych;
 - zaawansowane wielofunkcyjne inteligentne materiały nanostrukturalne do zastosowań w elektronice, optoelektronice, sensoryce, informatyce, fotonice oraz komunikacji i ich technologie.
- H. Wielofunkcyjne nanomateriały kompozytowe o osnowie lub wzmocnieniu z nanostrukturalnych materiałów węglowych oraz innych nanowłókien, nanodrutów i nanorurek i ich technologie:
- technologie zaawansowanych wielofunkcyjnych materiałów nanostrukturalnych i nanokompozytowych, w tym o osnowie metalowej, polimerowej i ceramicznej ze wzmocnieniem z różnych rodzajów węglowych materiałów nanostrukturalnych, nanorurek, fulerenów, nanowłókien, grafenu;
 - technologie zaawansowanych wielofunkcyjnych materiałów nanostrukturalnych i nanokompozytowych o osnowie z różnych rodzajów węglowych materiałów nanostrukturalnych, nanorurek, fulerenów, nanowłókien, grafenu, itp.
- I. Wielofunkcyjne warstwy oraz nanowarstwy ochronne i przeciwzuzyciowe oraz kompozyty i nanokompozyty przestrzenne, warstwowe i samonaprawialne:
- nowe technologie obróbki powierzchni poprzez kształtowanie powierzchni i nanoszenie warstw;
 - nowe nanotechnologie obróbki powierzchni antybakteryjnych;
 - nowe technologie obróbki powierzchni poprzez kształtowanie powierzchni i nanoszenie warstw;
 - nowe nanotechnologie obróbki powierzchni poprzez nanoszenie pokryw nanostrukturalnych lub nanoteksturyzację powierzchni;
 - nowe technologie obróbki powierzchni szkła, elementów mikro- i optoelektronicznych oraz fotowoltaicznych oraz funkcjonalnych produktów wytwarzanych z tych materiałów;
 - nowe i rozwinięte nanotechnologie obróbki powierzchni uniepalnionych i antyelektrostatycznych;
 - nowe wielofunkcyjne zaawansowane kompozyty i nanokompozyty strukturalne, przestrzenne, szkieletowe, warstwowe, o gradientach właściwości, o właściwościach zmieniających się w zaprojektowany sposób.

- J. Modelowanie struktury i właściwości wielofunkcyjnych materiałów i kompozytów, w tym nanostrukturalnych o zaawansowanych właściwościach:
- komputerowe wspomaganie projektowania materiałów, zwłaszcza nowo wprowadzanych zaawansowanych materiałów, nanomateriałów i nanokompozytów, włącznie z modelowaniem w skali atomowej i wieloskalowym, symulacją mikrostruktury i mikromechaniczną;
 - modelowanie i symulacja zjawisk degradacji i uszkodzenia materiałów w warunkach eksploatacji, w celu predykcji zachowania zaawansowanych materiałów w zastosowaniach technicznych w warunkach wirtualnego testowania.

Dla wykorzystania ogromnego potencjału technologii produkcji i przetwarzania materiałów ważne jest nie tylko poszukiwanie rozwojowych technologii, bo tych nie brakuje. Istotnym staje się proces komercjalizacji i zwiększenie efektywności prowadzonych badań B+R.

2.3. Technologie produkcji i przetwarzania materiałów – Priorytetowe Obszary Badawcze Politechniki Śląskiej

Politechnika Śląska pracując nad priorytetowymi obszarami badawczymi pracuje nad wskazaniem wśród kilku innych nowoczesne materiały. Wskazuje w ramach tego opracowania na:

- materiały dla elektroniki organicznej oraz optoelektroniki i fotowoltaiki,
- ultralekkie i wysokoodporne materiały w konstrukcjach motoryzacyjnych i lotniczych.

Doświadczenia w tym zakresie oraz prace nad innymi obszarami technologicznymi pozwoliły Politechnice Śląskiej złożyć wnioski w ramach projektu „Inicjatywa Doskonałości – Uczelnia Badawcza”. Rozstrzygnięcie projektu zakładane jest na 3-4 kwartał roku 2019.

3. Zakres technologii w obszarze produkcji i przetwarzania materiałów w woj. śląskim

Identyfikacja zakresu obszaru technologicznego produkcji i przetwarzania materiałów opiera się na tradycyjnym rozumieniu podstawowych grup materiałów inżynierskich, w ramach których wyróżniono tworzywa metaliczne, polimerowe i ceramiczne. Taki układ przyjęto w poprzednim Programie Rozwoju Technologii, co w odniesieniu do nowych trendów i założeń programowych, a jednocześnie formalnych zapisów (np. wg PKD) pozwoliło w ramach grup wskazać szczegółowe technologie, które rozwijają się w woj. śląskim. Podstawą do takiego wskazania były seminaria prowadzone w ramach projektu, dla którego opracowywana jest ekspertyza. Wśród trzech podstawowych grup technologii wyróżnia się:

- a) technologie w obszarze produkcji i przetwarzania materiałów metalicznych:
- technologie produkcji stali
 - technologie przetwórstwa stali
 - technologie odlewnictwa
 - technologie produkcji metali nieżelaznych i stopów

- technologie przetwórstwa metali nieżelaznych
- technologie procesów hydrometalurgicznych
- technologie konstrukcji metalowych i innych gotowych wyrobów metalowych
- technologie obróbki metali i nakładania powłok na metale
- technologie produkcji kompozytów z metalami
- technologie recyklingu odpadów metalicznych
- b) technologie w obszarze produkcji i przetwarzania polimerów
 - technologie produkcji wyrobów z gumy
 - technologie produkcji wyrobów z tworzyw sztucznych
 - technologie produkcji kompozytów z polimerami
 - technologie recyklingu polimerów
- c) technologie w obszarze produkcji i przetwarzania wyrobów ceramicznych
 - technologie produkcji i obróbki szkła
 - technologie produkcji wyrobów ogniotrwałych
 - technologie produkcji ceramicznych wyrobów budowlanych
 - technologie produkcji wyrobów z porcelany i ceramiki
 - technologie produkcji wyrobów z betonu, cementu i gipsu
 - technologie produkcji włókien światłowodowych
 - technologie produkcji kompozytów z zastosowaniem ceramiki.

Za istotne uznać należy zakres powiązań technologii produkcji i przetwarzania materiałów szczególnie z takimi technologiami jak:

- technologie inżynierii medycznej
- wytwarzanie skojarzone - kogeneracja i poligeneracja
- technologie wytwarzania ogniw paliwowych
- wytwarzanie energii ze źródeł odnawialnych i poprawa efektywności pozyskiwania energii z OZE,
- technologie magazynowania energii,
- inteligentne i energooszczędne budownictwo,
- technologie ekologicznego, bezpiecznego i efektywnego postępowania z odpadami oraz zarządzanie odpadami,
- technologie ograniczające emisję zanieczyszczeń do atmosfery,
- technologie środowiskowe różnych gałęzi przemysłu,
- technologie telekomunikacyjne
- geoinformacja i jej zastosowanie,
- modelowanie i symulacje procesów i zjawisk,
- technologie telekomunikacyjne i informacje wspierające przemysł 4.0,
- technologie projektowania i wytwarzania maszyn i urządzeń górniczych oraz energetycznych,
- technologie projektowania i wytwarzania w przemyśle lotniczym,
- technologie projektowania i wytwarzania w przemyśle motoryzacyjnym,

- przemysł obronny i zbrojeniowy,
- przemysł kosmiczny,
- nanomateriały i kompozyty.

Powiązania technologii produkcji i przetwarzania materiałów z innymi technologiami świadczy o szerokich i horyzontalnych zastosowaniach tychże. Wynikiem tego są propozycje, które zostały wskazane jako przyszłościowe dla woj. śląskiego []:

- nowe materiały dla „zielonej energetyki”,
- materiały SMART (ciecze i proszki magnetyczne) np. w medycynie,
- niekonwencjonalne materiały dedykowane do druku 3D,
- technologia niemetalicznych materiałów wielofunkcyjnych,
- materiały na bazie renu - przemysł zbrojeniowy, lotniczy,
- wyroby kompozytowe,
- nowe materiały w górnictwie (kompozyty, nanobariery),
- niskoemisyjne i energooszczędne technologie obróbcze wyrobów metalowych,
- komponenty do maszyn dla przemysłu wydobywczego i energetyki,
- nowoczesne powłoki materiałowe,
- uszlachetnione wyroby hutnicze,
- energooszczędne technologie utylizacji odpadów metalowych,
- materiały wzmacniane nanorurkami węglowymi,
- produkty z przetwarzania metali nieżelaznych (druty, kształtowniki, pręty itp.).

W tym zakresie niezbędnym wydaje się pogłębienie badań w zakresie wyróżnionych – horyzontalnych technologii.

Wykorzystane źródła

1. Barton J., Niemczyk A., Czaja K., Korach Ł., Sacher-Majewska B., Kompozyty, biokompozyty i nanokompozyty polimerowe. Otrzymywanie, skład, właściwości i kierunki zastosowań. CHEMIK 2014, 68, 4, 280–287.
2. EUROPA 2020 – Strategia na rzecz inteligentnego i zrównoważonego rozwoju sprzyjającego włączeniu społecznemu. Rada Europejska, 17 czerwca 2010 r.
3. German J.: Materiały kompozytowe w budownictwie. Kalejdoskop Budowlany PWB 2000, 6, 14–17.
4. <http://www.fpiec.pl/moto/najwazniejsze-technologie-2018-mit>
5. <https://innovation.mit.edu/event/mit-technology-reviews-10-breakthrough-technologies-2018/>
6. <https://mechanika-obrobka.pl/podstawowe-materialy-inzynierskie2/>
7. <https://www.ncbr.gov.pl/programy/programy-strategiczne/nowoczesne-technologie-materialowe-techmatstrateg/>
8. Krajowe Inteligentne Specjalizacje. Ministerstwo Przedsiębiorczości i Technologii

9. Stan aktualny i możliwości rozwojowe regionalnych i inteligentnych specjalizacji województwa śląskiego – raport końcowy. IBnGR, Gdańsk 2015.
10. Strategia na rzecz Zrównoważonego Rozwoju. Warszawa 2017.
11. Work W.J., Horie K., Hess M., Stepto R.F.T.: Definition of terms related to polymer blends, composites and multiphase polymeric materials. Pure and Applied Chemistry 2004, 76, 1985.
12. <https://www.obserwatorfinansowy.pl/tematyka/makroekonomia/dluga-droga-do-gospodarki-zamknietego-obiegu/>