

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)

**Studia prospektywne dla obszarów technologicznych,  
identyfikacja technologii węzłowych i technologii przyszłości**

## **Ekspertyza 4.4.**

# **Technologie węzłowe i przyszłości w obszarze wytwarzania kompozytów**

Opracował: dr inż. Piotr Sakiewicz

Katowice, marzec 2019

## Technologie węglowe i przyszłości w obszarze wyrobów kompozytowych

Rozwój technologii węglowych powinien być efektem prac i analiz z zakresu określenia perspektyw rozwoju przemysłu na danym terenie oraz winien obejmować działania polegające na identyfikacji specjalizacji kluczowych dla rozwoju danego regionu oraz wyznaczenia technologii, w tym materiałowych, pozwalających na rozwój lub zdobycie przewagi wśród innych obszarów. Określenie i uszczegółowienie w oparciu o literaturę [1-19] specyfikacji technologii węglowych w dziedzinie inżynierii materiałowej, w tym w szczególności technologii dotyczących kompozytów oraz sposobów ich wytwarzania pozwoli na efektywne finansowanie inwestycji w tych obiecujących i przyszłościowych dziedzinach, które mogą przynieść rzeczywiste wymierne efekty ekonomiczne.

Materiały inżynierskie to takie, które nie występują w naturze, dla ich wytworzenia wymagane jest zastosowanie złożonych procesów wytwórczych. Dzielimy je na [1,16]: metale i ich stopy, materiały polimerowe, materiały ceramiczne oraz materiały kompozytowe. Materiały kompozytowe obejmują bardzo liczną i różnorodną grupę materiałów, a znajdują zastosowanie bezpośrednio lub pośrednio we wszystkich gałęziach przemysłu. Kompozyty (łac. compositus = złożony) są jedną z podstawowych grup materiałów inżynierskich, powstają w wyniku połączenia przynajmniej dwóch komponentów o różnych własnościach. Są to materiały o strukturze niejednorodnej, a własności wykazywane przez te materiały są odmienne od własności zastosowanych do ich wytwarzania komponentów. Według prof. L.A. Dobrzańskiego [1] „Materiał kompozytowy jest kombinacją dwóch lub więcej materiałów (elementy wzmacniające, wypełniacze i lepiszcze stanowiące osnowę kompozytu) różniących się rodzajem lub składem chemicznym w skali makroskopowej. Składniki materiału kompozytowego zachowują swoje tożsamości, ponieważ całkowicie nie rozpuszczają się w sobie, jak również nie łączą się w inne elementy, natomiast oddziałują wspólnie. Zwykle składniki te mogą być identyfikowane fizycznie i wykazują powierzchnie rozdziału między sobą”. Klasyfikacja materiałów kompozytowych obejmuje głównie ich podział ze względu na osnowę i rodzaj zastosowanej fazy zbrojącej. W zależności od rodzaju osnowy materiały kompozytowe można podzielić na: kompozyty o osnowie metalowej, kompozyty o osnowie niemetalewej tj. polimerowej (tzw. PMC - polymer matrix composites) lub ceramicznej (tzw. CMC - ceramic matrix composites). Materiały kompozytowe o osnowie polimerowej są najbardziej różnorodne wśród wszystkich grup kompozytów [10]. Natomiast ze względu na rodzaj fazy zbrojącej wyróżniamy głównie kompozyty: zbrojone włóknami (ciągłymi, krótkimi), zbrojone cząsteczkami oraz zbrojone dyspersyjnie.

W najbliższych latach istotne znaczenie dla wzmocnienia pozycji konkurencyjnej w zakresie strategicznych technologii węglowych, czyli takich, które są silnie zależne od rozwoju innych technologii dominujących w regionie lub warunkujących rozwój innych technologii w województwie śląskim, a stanowiących równocześnie kluczowe elementy technologii przyszłości, w obszarze materiałów kompozytowych i produktów wytwarzanych przy użyciu lub na bazie materiałów kompozytowych będą miały technologie dla [8-15]:

- przemysłu motoryzacyjnego,
- przemysłu lotniczego,
- przemysłu opakowaniowego,

- przemysłu ochrony środowiska,
- technologie dla energetyki,
- technologie w obszarze zastosowań biomedycznych.

Materiały kompozytowe jako grupa materiałów inżynierskich jest stale rozwijana przez np. wprowadzanie nowych komponentów, modyfikacje, udoskonalanie lub opracowywanie nowych technologii ich wytwarzania oraz przetwórstwa. Żadna inna grupa materiałów nie osiągnie nigdy takiej różnorodności i rozpiętości typów i odmian jak materiały kompozytowe [4]. Należy pamiętać, iż własności wynikowe materiałów kompozytowych nie są prostą sumą własności materiałów składowych, w grupie tej często można zauważyć efekt synergii, a własności wynikowe są odmienne, a często bardziej pożądane od własności materiałów składowych.

Szansą dla przedsiębiorstw woj. śląskiego jest zastosowanie, przy projektowaniu i wytwarzaniu materiałów kompozytowych, nowych technologii związanych ze sztuczną inteligencją np. sztucznymi sieciami neuronowymi. Z uwagi na złożoność wielu czynników wspólnie warunkujących określone, często wysoce specyficzne własności wynikowe kompozytów oraz istotny wpływ określonych kombinacji warunków technologicznych (będących często silnie nieliniowymi funkcjami dużej liczby parametrów procesowych) dla systematycznej analizy uwarunkowań procesowych i ich skorelowania z oczekiwanymi własnościami kompozytów, konieczne staje się systematyczne analizowanie, uaktualnianie i ukierunkowana interpretacja wyników badań. Zasadniczym elementem celowego i racjonalnego poszukiwania optymalnych warunków wytwarzania i ukierunkowań na pożądane efekty i własności charakterystyki materiałowej jest umiejętność stworzenia adekwatnego do obserwowanej rzeczywistości modelu procesu, umożliwiającego np. wykorzystanie gradientowych algorytmów optymalizacyjnych w przyspieszeniu poszukiwań najlepszych kombinacji parametrów materiałowo-technologicznych. Z uwagi na złożoność procesów i mnogość niezidentyfikowanych dotąd sprzężeń procesowych i synergistycznych w analizowanym układzie, najbardziej przydatną techniką obliczeniową do analizy i kontroli procesowej tej klasy złożonych obiektów są sztuczne sieci neuronowe. Model neuronowy nie wymaga możliwie precyzyjnego określenia funkcyjnego wszelkich znanych zależności pomiędzy parametrami procesowymi i ich efektami, a jedynie przygotowania danych pomiarowych typu wejście-wyjście opisujących zachowanie się obiektu w zróżnicowanych warunkach. Na podstawie tak zakodowanej wiedzy o obiekcie (materiale / produkcie) sieci stwarzają strukturę obliczeniową zdolną do uogólnienia tak podanej wiedzy i dającą możliwość prawidłowej predykcji zachowania obiektu poddanego kombinacji określonych warunków procesowych. Sztuczne sieci neuronowe (Artificial Neural Networks – ANN) stosowane mogą być jako predyktor funkcji wielu zmiennych, informujący o potencjalnym wpływie złożonych kombinacji parametrów procesowych na efekty np. wytrzymałościowe lub strukturalne materiału / wyrobu, określenie optymalnej trajektorii procesowej dla jego wytwarzania, a także podające informacje wskazujące możliwości celowego oddziaływania parametrami technologicznymi procesu w kierunku uzyskania pożądanych specyficznych cech materiału. Ta sama struktura, zintegrowana z systemem sterującym procesu technologicznego, jest w stanie automatycznie (zgodnie z założeniami Industry 4.0) kompensować wahania cech jakościowych surowców dla zapewnienia stabilnej jakościowo produkcji gotowego

wyrobu / materiału, co ma kluczowe znaczenie przy produkcji materiałów kompozytowych.

Określenie inteligentnych specjalizacji [8-15] na poziomie krajowym i regionalnym jest skorelowane z szeregiem programów mających na celu zwiększenie nakładów na badania naukowe, rozwój technologiczny i innowacje. Są one ujęte w kryteriach warunkujących wsparcie w programach operacyjnych na lata 2014-2020. Województwo śląskie, jako pierwsze posiadało przyjętą przez Sejmik w 2012 roku "Regionalną Strategię Innowacji Województwa Śląskiego na lata 2013–2020 (RIS)" wraz z zidentyfikowanymi inteligentnymi specjalizacjami regionu. W pierwszej kolejności były to: energetyka, technologie informacyjno-komunikacyjne oraz medycyna. W 2018 r Zarząd Województwa Śląskiego podjął uchwałę o aktualizacji „Modelu Wdrożeniowego Regionalnej Strategii Innowacji Województwa Śląskiego na lata 2013 - 2020”. Trzy dotychczasowe inteligentne specjalizacje zostały poszerzone (nr uchwały V/50/1/2018 z dnia 19 marca 2018 r) o dwa nowe obszary, tj. przemysł wschodzące i zieloną gospodarkę. Założeniem wprowadzenia inteligentnych specjalizacji było przyczynienie się do przeobrażenia gospodarki regionu przez jej zmodernizowanie i przekształcanie strukturalne, dążące do poszerzenia oferty produktowej oraz wprowadzenie lub rozwój usług oraz kreowanie i tworzenie innowacyjnych rozwiązań społeczno-gospodarczych, mających na celu ułatwić transformację w kierunku gospodarki racjonalnie i efektywnie wykorzystującej dostępne zasoby.

Obowiązujące specjalizacje regionalne, które znalazły się w Programie Rozwoju Technologii województwa śląskiego 2010 - 2020, obejmowały: produkcję i przetwarzanie materiałów, technologie medyczne, technologie dla ochrony środowiska, technologie dla energetyki i górnictwa, technologie informacyjne i telekomunikacyjne, transport i infrastrukturę transportową, przemysł maszynowy, samochodowy, lotniczy i górniczy, a także nanotechnologie i nanomateriały. Lista inteligentnych specjalizacji ma obowiązywać w trwającej perspektywie finansowej 2014-2020, a także w kolejnej, tzw. perspektywie "2021 plus". Z punktu widzenia rozwoju przemysłu na terenie województwa śląskiego kluczowe jest wyznaczenie odpowiednich technologii materiałowych pozwalających na rozwój przemysłu bezpośrednio i pośrednio związanych z wytwarzaniem produktów masowych lub przynoszących jak najwyższą wartość dodaną [8-15]. Obecnie lista „Inteligentnych Specjalizacji Województwa Śląskiego” zawiera pięć specjalizacji. W prawie wszystkich technologiach wykorzystujących materiały kompozytowe można spotkać powiązania umożliwiające wykorzystanie nowatorskich i innowacyjnych materiałów kompozytowych lub technologii ich wytwarzania (mogące potencjalnie być oparte m.in. na rozpoznaniu numerycznym obiektu i określeniu na podstawie zebranych danych procesowych modelu ANN). Wykorzystują one materiały kompozytowe w wytwarzaniu szeregu produktów, związane są one przede wszystkim z inżynierią materiałową, inżynierią biomedyczną, ekotechnologiami, inżynierią chemiczną i procesową oraz możliwościami modelowania tej klasy złożonych procesów za pomocą nowoczesnej techniki analizy i przetwarzania danych. Powiązania występują także z energetyką poprzez materiały specjalne oraz technologie recyklingu energetycznego związanego z wytwarzaniem energii z odpadów oraz paliw alternatywnych. W grę wchodzi także energooszczędne budownictwo, a także rozwój technologii materiałowych opartych o kompozyty pozwalające na zwiększenie efektywności energetycznej budynków przez poprawę izolacyjności przegród budowlanych.

W technologiach związanych z medycyną mamy do czynienia z zastosowaniem szeregu innowacyjnych rozwiązań z zakresu materiałów kompozytowych, np. w inżynierii biomedycznej i biotech-

nologii, Są to np. biomateriały, protezy oraz technologie ich wytwarzania i modyfikacji oparte m.in. o druk 3D, kompozytach bioresorbowalnych, bioprotezach czy implantach biomedycznych.

Unia Europejska stawia na zieloną gospodarkę oraz promowanie działań sprzyjających ochronie środowiska. Takie podejście ma na celu racjonalniejsze gospodarowanie zasobami oraz promowanie rozwoju zrównoważonej konsumpcji, a także produkcji. W tej kategorii mieszczą się m.in. odnawialne źródła energii, ochrona bioróżnorodności, technologie czystej produkcji, efektywność energetyczna i materiałowa oraz społeczna odpowiedzialność biznesu, a także recykling i gospodarka odpadami. Dla województwa śląskiego zielona gospodarka to czołowy obszar ze względu na politykę środowiskową, gospodarczą, społeczną oraz innowacje zapewniające społeczeństwu efektywne wykorzystanie zasobów w procesach produkcji i konsumpcji. Pozwala to na wytwarzanie produktów zgodnie z założeniami Gospodarki o Obiegu Zamkniętym. Z punktu widzenia województwa śląskiego istotne jest także zaangażowanie w rozwój przemysłów wschodzących, czyli takich, które są dla tego regionu nowe lub już istnieją, lecz rozwiną się w nowe gałęzie przemysłu, kluczowe dla przyszłości regionu. Można do nich zaliczyć tzw. przemysły kreatywne, łączące gospodarkę z technologią i kulturą. Do przemysłów wschodzących zaliczyć można także mobilność i usługi mobilne, medycynę spersonalizowaną oraz ekoprzemysł.

Polityka Gospodarki o Obiegu Zamkniętym jest istotną strategią Unii Europejskiej mającą na celu ograniczenie nadmiernej, nierównoważonej eksploatacji surowców naturalnych. Unia Europejska za podstawę wprowadzania i unowocześnienia inteligentnych specjalizacji uznała proces przedsiębiorczego odkrywania, mający na celu integrację różnych interesariuszy w celu identyfikacji priorytetów w zakresie prac badawczo-rozwojowych, innowacji oraz ich komercjalizacji, pozwalając na wzajemną współpracę sektora prywatnego oraz instytucji państwowych oraz samorządowych. Proces identyfikacji i rozwoju inteligentnych specjalizacji oraz technologii węzłowych powinien integrować władze, partnerów przemysłowych oraz naukowych w celu rozwoju dziedzin, branż i technologii, w których region może się liczyć.

Podstawą oceny współzależności technologii są wzajemne powiązania między nimi lub ich grupami. Technologie te pozwalają na osiągnięcie efektu synergii dzięki integracji wiedzy, umiejętności i kompetencji niezbędnych w inicjowaniu, wdrażaniu takich rozwiązań. Technologie dotyczące materiałów kompozytowych są ściśle związane z rozwojem przemysłu ich komponentów, a z racji ich zaawansowania technologicznego – także z projektowaniem i wytwarzaniem maszyn oraz linii technologicznych do produkcji wyrobów na nich opartych. Szereg technologii związanych z materiałami kompozytowymi możemy zaliczyć do technologii węzłowych, ponieważ są one silnie zależne od rozwoju innych technologii w regionie lub warunkujące rozwój innych technologii w województwie śląskim. Istotnym z elementów wskazujących na powiązanie przemysłu materiałów i technologii mogącym mieć znaczenie dla technologii węzłowych są podstawowe elementy wpływające na własności kompozytów, a mianowicie ich komponenty – poszczególne materiały używane do ich wytwarzania [1-7].

Zastępowanie elementów metalowych, polimerowych oraz ceramicznych strukturami kompozytowymi może przynosić szereg korzyści, np.: uzyskanie złożonych i nieregularnych kształtów w jednym procesie lub uniknięcie kosztownej obróbki elementów, obniżenie masy produktów, zwiększenie

ich funkcjonalności i własności eksploatacyjnych. Zalety technologii kompozytowych sprawiają, że są one coraz częściej brane pod uwagę zarówno podczas projektowania procesów wytwórczych, jak i nowych produktów. Dlatego zakres stosowania technologii węzłowych w sferze wyrobów kompozytowych jest niezmiernie szeroki [1-7].

Szczególną uwagę należałoby poświęcić technologiom węzłowym wykorzystującym materiały kompozytowe w branżach zidentyfikowanych jako „wschodzące”. W województwie śląskim perspektywy rozwoju mają technologie wspierające ekoprzemysł, np. technologie materiałów kompozytowych dla sorpcji i filtracji oraz membran. Przykładami takich technologii mogą być mokra inwersja faz lub metody zol – żel, electrospinning, a także wytwarzanie spieków ceramicznych lub materiałów otrzymywanych przy wykorzystywaniu metalurgii proszków. Na uwagę zasługują tu także nowoczesne technologie recyklingu i przetwarzania materiałów poużytkowych zawierających kompozyty i odpady wielomateriałowe. Technologie recyklingu i przetwórstwa odpadów materiałów inżynierskich w tym kompozytowych z ich ukierunkowaną konwersją umożliwiającą przetwarzanie do nowych materiałów w tym kompozytowych. Technologie te powinny uwzględniać także zawrócenie ubocznych produktów spalania pochodzących z recyklingu energetycznego materiałów inżynierskich do produkcji materiałów kompozytowych.

Do technologii węzłowych w sektorze wyrobów i technologii kompozytowych o strategicznym znaczeniu dla województwa śląskiego można zaliczyć technologie wytwarzania i przetwarzania kompozytów na osnowie polimerów termoplastycznych, opartych o np. zaawansowane technologię wytłaczania, wtryskiwania, termoformowania lub laminowania. Jedną z kluczowych technologii węzłowych dla przemysłu materiałów kompozytowych jest rozwój kompozytów wykorzystujących osiągnięcia nanotechnologii, co pozwoli na rozwój nowych kategorii materiałów oraz zastosowanie ich w nowych aplikacjach. Umożliwi to wytwarzanie innowacyjnych produktów na bazie materiałów kompozytowych zawierających np. modyfikatory, warstwy, powłoki lub domieszki zawierające nanomateriały. Do istotnych kategorii technologii wytwarzania materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej możemy zaliczyć technologie przetwarzania kompozytów na osnowie duroplastów oraz termoplastów, w których fazę rozproszoną stanowią mogą tkaniny, włókna oraz proszki. Coraz większą rolę odegrają także kompozyty warstwowe oraz hybrydowe.

Technologią będącą węzłową szczególnie w przemyśle automotive czy lotniczym jest pultruzja polegająca na wytwarzaniu sposobem ciągłym profili kompozytowych o różnych kształtach i przekroju. Otrzymane kompozyty zawierające włókna charakteryzują się wysokimi ukierunkowanymi własnościami wytrzymałościowymi. W celu uzyskania wyższej wytrzymałości poprzecznej do urządzenia formującego wprowadzane są, oprócz pasm rovingu, taśmy z tkanin lub ciągłych mat. Techniki SMC - sheet moulding compound - oraz BMC - bulk moulding compound - stanowią dość atrakcyjną alternatywę dla materiałów konwencjonalnych, składając się z trzech podstawowych komponentów, połączonych w preprocessingu (żywice chemoutwardzalne, włókna wzmacniające i wypełniacze) pozwalając na szybkie kształtowanie wyrobów kompozytowych. Na uwagę zasługują także metody: RTM, infuzja, R-RIM i S-RIM, zaś na szczególną uwagę zasługuje infuzja, która jest zaawansowanym procesem pozwalającym na uzyskanie bardzo dobrych własności mechanicznych i wytrzymałościowych. Metoda ta ma zastosowanie np. przy produkcji jachtów, samolotów, jak i turbin wiatrowych. Nie bez

znaczenia pozostają także technologie przyrostowe, wykorzystujące materiały kompozytowe pozwalające na zastosowanie zaawansowanych materiałów, np. w druku 3D [1-7,16].

Istotne dla przemysłu kompozytów są technologie powiązane, bez których wytwarzanie materiałów kompozytowych nie byłoby możliwe. Zaliczamy do nich technologie produkcji włókien, np. szklanych, węglowych, naturalnych, metalowych, polimerowych, klejów oraz spoiw, np. środków adhezyjnych, klejących, zwilżających, smarujących, wypełniaczy np. proszków: talk, mika, węglan wapnia, krzemionka,  $Al_2O_3$ , glinokrzemiany np. haloizyt, granulki i mikrosfery, dodatki oraz modyfikatory, np. środki pomocnicze przy obróbce, środki służące do modyfikacji własności, katalizatory, farby, lakiery, barwniki oraz pigmenty, utwardzacze, osnowy kompozytowe, materiały rdzeniowe kompozytów np. struktury piankowe, struktury „plastra miodu”, materiały naturalne stanowiące napełniacze lub modyfikatory - w tym materiały nanostrukturalne takie jak np. nanomodyfikatory, nanocząsteczki. Istotnymi są także technologie pozwalające na wykorzystanie specyficznych własności nanomateriałów. Na uwagę zasługują tu technologie wytwarzania nanokompozytów polimerowych zawierających np. montmorylonit lub haloizyt. Technologią powiązaną jest także technologia wytwarzania prepregów - tkanin będących półproduktami do wytwarzania kompozytów polimerowych wzmacnianych najczęściej włóknami węglowymi - CFRP (Carbon Fibers Reinforced Polymeric matrix), rzadziej szklanymi - GFRP (Glass Fibers Reinforced Polymeric matrix). Jako spoiwo polimerowe do wytwarzania prepregów stosowane są żywice epoksydowe lub ich mieszaniny z innymi matrycami polimerowymi, np. materiały izocyjanianowo-epoksydowe, poliimidowo-epoksydowe [1-7,16].

Jedną z kluczowych grup kompozytów na osnowie metalowej stanowią materiały o osnowie stopów aluminium tzw. AIMCs. Często są one substytutem stopów aluminium, stopów żelaza czy stopów tytanu. Charakteryzują się one korzystnymi właściwościami, m.in. takimi jak: duża wytrzymałość na ścinanie, niska masa, dobre przewodnictwo cieplne, odporność na ścieranie oraz dają się obrabiać i formować przy wykorzystaniu konwencjonalnych urządzeń. Dzięki temu kompozyty o osnowie stopów Al mogą zastępować materiały monolityczne, takie jak np. stopy: żelaza, aluminium, tytanu, czy kompozyty o osnowie polimerowej. Technologie wytwarzania takich kompozytów można zaliczyć do technologii węzłowych dla woj. śląskiego. Należy nadmienić, iż powiązane są z nimi technologie „net shape” lub „near net shape”, pozwalające ograniczyć lub całkowicie pominąć obróbkę wykończeniową [1-7,16].

Ważną grupą nowoczesnych materiałów kompozytowych są także kompozyty wieloskładnikowe, tzw. heterofazowe, a także hybrydowe, składające się z trzech lub większej liczby komponentów, zawierające jako zbrojenie różne cząstki lub włókna. Istotną technologią w przyszłości staną się także kompozyty gradientowe, charakteryzujące się zmianą własności w przekroju. Ważne staną się także technologie wytwarzania kompozytów sfunkcjonalizowanych, dedykowanych dla danych aplikacji docelowych [2].

Istotne z punktu widzenia regionu są także technologie wytwarzania kompozytów strukturalnych oraz konstrukcyjnych, a także kompozytów metalowych. Możemy do nich zaliczyć np. odlewane kompozyty dyspersyjne, kompozyty syntaktyczne, gazary, lekkie metalowe kompozyty komórkowe, kompozyty wzmacniane np. węglnikami, kompozyty wytwarzane przy wykorzystaniu technologii metalurgii proszków, kompozytów na bazie ceramiki, zwłaszcza kompozytów typu węgiel-węgiel. Warte

uwagi wydają się także technologie RTM - resin transfer molding, AFP- automated fiber placement, naparowywanie próżniowe np. na włókna SiC. Do warty uwagi możemy zaliczyć także technologie wykorzystujące metalurgię proszków, walcowanie i zgrzewanie dyfuzyjne, infiltrację oraz wtrysk pod ciśnieniem, a także napylanie plazmowe.

Jedną z obiecujących dla przemysłu naszego regionu jest technologia wytwarzania materiałów kompozytowych o osnowie ceramicznej otrzymanych w technologii np. prasowania na gorąco. Są to materiały o kruchej osnowie ceramicznej, np.  $Al_2O_3$ , SiC, w której zdyspergowane są ziarna drugiej fazy o wymiarach zarówno mikrometrów, jak i nanometrów. Kolejną grupą będą ceramiczne kompozyty zbrojone włóknami, odznaczające się m.in. wysoką wytrzymałością, a także stosunkowo dużym odkształceniem przy zniszczeniu. Wytwarzane są one przy użyciu technologii infiltracji cieczy oraz infiltracji fazy gazowej. Ważnym rodzajem kompozytów ceramicznych są laminaty, charakteryzujące się różnymi własnościami, wynikającymi najczęściej z różnego składu fazowego warstw np. warstwy grafitu oraz SiC. Istotne technologicznie ze względu na wysoką odporność na kruche pękanie są kompozyty oparte na dwutlenku cyrkonu. Niebagatelne z punktu widzenia rozwoju pozostałych gałęzi przemysłu są także technologie wytwarzania kompozytowych materiałów wysokotemperaturowych, kompozyty szklane i szklano-ceramiczne kompozytowe szkła spienione oraz kompozyty węgiel-węgiel [1-7,16].

Na uwagę zasługują także technologie wytwarzania kompozytów mających zastosowanie w przemyśle budowlanym, przykładem może być np. kompozyt zwany fibrobetonem, powstający na skutek połączenia włókien polimerowych służących jako zbrojenie betonu.

Z punktu widzenia Circular Economy istotne są także technologie rozwoju biokompozytów jako materiałów alternatywnych dla wyrobów konwencjonalnych. Ich rozwój pozwoli na zrównoważoną gospodarkę odpadami, zmniejszenie emisji dwutlenku węgla, a także ułatwi procesy recyklingu. Przykładem mogą być technologie związane z materiałami kompozytowymi na bazie polimerów biodegradowalnych, np. PLA, PCL itp., ale także kompozyty z udziałem materiałów pochodzenia roślinnego, np. WPC lub zbrojonych włóknami naturalnymi zawierającymi celulozę, hemicelulozę i ligninę.

Wszystkie wymienione w opracowaniu materiały oraz technologie można uznać jako węzłowe i kluczowe dla rozwoju przemysłu na terenie woj. śląskiego, ponieważ ze względu na kryterium współzależności oraz kryterium oddziaływania na rozwój regionu stanowią one potencjał do otrzymywania zaawansowanych produktów i uzależniają rozwój innych, mniej lub bardziej zależnych technologii w regionie.

Technologie węzłowe w obszarze wyrobów kompozytowych związane są z wytwarzaniem wielu grup produktów. Szczególną uwagę dla przemysłu funkcjonującego na terenie woj. śląskiego powinno się zwrócić na technologie związane z materiałami wysoko przetworzonymi, charakteryzującymi się specyficznymi własnościami oraz wysoką wartością dodaną. Technologie związane z materiałami kompozytowymi, jak żadne inne, wiążą ze sobą wielu producentów oraz szereg instytucji, pozwalając na ocenę przydatności tych technologii według kryterium współzależności i kryterium oddziaływania na rozwój regionu.



Działania determinujące optymalny rozwój regionu, zarówno w zakresie społecznym, ekonomicznym, jak i technologicznym, w tym także z uwzględnieniem technologii materiałowych i informatycznych (przetwarzanie danych ANN, data mining), muszą być zsynchronizowane z postępowaniem zachodzącym w gospodarce globalnej, co powinno pozwolić na uzyskanie efektu synergii. Takie podejście, z uwzględnieniem opłacalności ekonomicznej procesów technologicznych oraz bilansu ekologicznego jako całości, umożliwi opracowanie innowacyjnych rozwiązań materiałowych także w dziedzinie materiałów kompozytowych. Zapewni to zamknięty obieg surowców i materiałów oraz wpłynie bezpośrednio na ograniczenie powstawania odpadów trudnoprzetwarzalnych. W takim, zgodnym z założeniami Circular Economy, podejściu do materiałów kompozytowych istotne jest uwzględnianie w ich projektowaniu i wytwarzaniu materiałów użytkowych, a także przetworzonych odpadów. Nieodzowne jest również opracowanie nowych, ewentualnie modyfikacja istniejących materiałów kompozytowych, odpowiednie planowanie konstrukcji wyrobów, właściwa realizacja procesów materiałowych i produkcyjnych umożliwiających przygotowywanie wyeksploatowanych wyrobów / produktów zawierających materiały kompozytowe do ponownego użycia lub/i recyklingu. Istotne jest także projektowanie nowych materiałów i produktów na bazie materiałów kompozytowych, w tym także biodegradowalnych, uwzględniających opracowywanie nowych lub ulepszanie istniejących technologii ich recyklingu materiałowego. Dopiero na końcu skierowanie frakcji trudnoprzetwarzalnych do odzysku, np. w formie odzysku energetycznego oraz unieszkodliwiania odpadów i substancji niepożądanых. Szczególnie istotne dla rozwoju regionu będą technologie związane z recyklingiem materiałowym odpadów wielomateriałowych oraz trudnoseparatoralnych, ze szczególnym uwzględnieniem kompozytów szczególnie na bazie tworzyw sztucznych.

## Bibliografia

- [1] L.A. Dobrzański, „Niemetalowe materiały inżynierskie”, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2008.
- [2] A. J. Dolata, M. Dyzia, Metalowe Materiały Kompozytowe – wybrane przykłady wdrożeń, nowe rozwiązania, Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej i Metalurgii 2018.
- [3] W. Królikowski, Polimerowe kompozyty konstrukcyjne, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 1, 2012.
- [4] A. Boczkowska, Grzegorz Krzesiński Kompozyty i techniki ich wytwarzania, Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej 2016.
- [5] Ch. Lu, S. Pilla, Design of Automotive Composites, SAE International 2014, ISBN of 978-0-7680-8132-9.
- [6] M. Balasubramanian, Composite Materials and Processing, CRC Press 2017, ISBN 9781138076877.
- [7] L. Ye Y.-W. Mai Z. Su, Composite Technologies for 2020, Proceedings of the Fourth Asian-Australasian Conference on Composite Materials, eBook ISBN: 9781845690625.
- [8] R. Wolniak, Redakcja Naukowa Tomu: Gembalska-Kwiecień A., Inteligentne Specjalizacje w woj. Śląskim, Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji 2016, Z. 4(16).

[9] Program Rozwoju Technologii Województwa Śląskiego na Lata 2010–2020, Wydawca: Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego Wydział Europejskiego Funduszu Społecznego, ISBN: 978-83-7328-267-4.

[10] Raport JEC Group "The Global Composites Market 2017", dostęp 1 marca 2019

<http://www.jecomposites.com>.

[11] M. Kruczek, Logistyka jako Potencjalna, Inteligentna Specjalizacja Województwa Śląskiego, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej 2016, Seria: Organizacja I Zarządzanie Z. 89.

[12] Regionalna Strategia Innowacji Województwa Śląskiego na lata 2003-2013, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, Katowice 2003.

[13] Program Rozwoju Technologii Województwa Śląskiego na lata 2010–2020, Zarządu Województwa Śląskiego, Katowice 2011.

[14] Regionalna Strategii Innowacji Województwa Śląskiego na lata 2013-2020, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, Katowice 2012.

[15] Strategia rozwoju województwa śląskiego „Śląskie 2020+”. Wydział Planowania. Strategicznego i Przestrzennego. Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, Katowice 2013.

[16] L.A. Dobrzański, Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo, WNT 2002.

[17] GUS Rocznik Statystyczny Przemysłu 2017, Warszawa 2017.

[18] Uchwała Nr 729/35/IV/2011 Zarządu Województwa Śląskiego z dnia 29 marca 2011 roku w sprawie: zatwierdzenia Programu Rozwoju Technologii województwa śląskiego na lata 2010-2020.

[19] T. W. Clyne; D. Hull, An Introduction to Composite Materials, Cambridge University Press 2019, ISBN: 9780521860956