

Raport 3W

Węgiel - materiał przyszłości



Spis treści

1.	INSPIRUJĄCE INICJATYWY Z OBSZARU TECHNOLOGII WĘGLOWYCH	8
1.1	Graphene Flagship, UE	8
1.2	Graf-Tech, Polska	11
1.3	Composites United, Niemcy	12
1.4	START.nano - MIT accelerator, USA.	12
1.5	The Chinese Graphene Industry Association (CGIA), Chiny	13
2.	POLSKIE PROJEKTY I INNOWACJE	14
2.1	Filament do drukarek 3D na bazie grafenu – Prografen, AGP S.A.	14
2.2	Druk 3D węglem szklistym, Sygnis S.A.	17
2.3	SmartHEAL, Politechnika Warszawska	18
2.4	Memrystory modyfikowane węglem, AGH	18
3.	RYNEK MATERIAŁÓW WĘGLOWYCH – POLSKA I PERSPEKTYWA ŚWIATOWA	24
3.1	Dane rynkowe	24
3.2	Analiza patentowa materiałów węglowych	36
3.3	Aplikacje technologii węglowych	39
4.	3W – WĘGIEL W KONTEKŚCIE CZARNYCH ŁABĘDZI I WYZWAŃ SPOŁECZNO-GOSPODARCZYCH	44
4.1	Technologie węglowe a jakość życia społeczeństwa - medycyna	45
4.2	Technologie węglowe a COVID-19	48
4.3	Technologie węglowe do walki ze zmianami klimatycznymi.	48
4.4	Technologie węglowe w przemyśle kosmicznym	49
4.5	Technologie węglowe w przemyśle obronnym i zbrojeniowym.	50
5.	ANALIZA MOŻLIWOŚCI APLIKACJI NANOMATERIAŁÓW W OBSZARZE 3W – WODA I WODÓR	52
5.1	Synergia zasobów	52
5.2	Wykorzystanie technologii węglowych w obszarze wody	52
5.3	Wykorzystanie technologii węglowych w obszarze wodoru	53
5.4	Polskie gniazda innowacji w obszarze technologii węglowych	57
6.	ANALIZA POSZCZEGÓLNYCH KRAJÓW INICJATYWY TRÓJMORZA W KONTEKŚCIE PROJEKTÓW 3W – WĘGIEL	58
6.1	Ogólny zarys krajów Trójmorza w kontekście rozwoju technologii węglowych i nanotechnologii (z uwzględnieniem współpracy między krajami na styku technologiczno-wdrożeniowym)	58
6.1.2	Analiza statystyczna	62
7.	ROLA POLSKI W STRATEGII 3W – WĘGIEL	64
7.1	Przegląd aktualnych dokumentów strategicznych UE i Polskich uwzględniających węgiel	64
7.2	Czy Polska potrzebuje strategii dla węgla, czy węgiel stanie się substytutem pierwiastków strategicznych?	67
8.	REKOMENDACJE DLA STRATEGII 3W W OBSZARZE WĘGLA	68
8.1	Rekomendacje – decydenci i administracja publiczna.	68
8.2	Rekomendacje – biznes i nauka.	68
	PODSUMOWANIE	69

Raport opracowany we współpracy z Bankiem Gospodarstwa Krajowego, inicjatorem Idea 3W. BGK to polski bank rozwoju wspierający zrównoważony rozwój społeczno-gospodarczy kraju. Idea 3W jest inicjatywą Banku, która umożliwia firmom i organizacjom budowanie przewagi konkurencyjnej w obszarach wody, wodoru i węgla.

Autor:



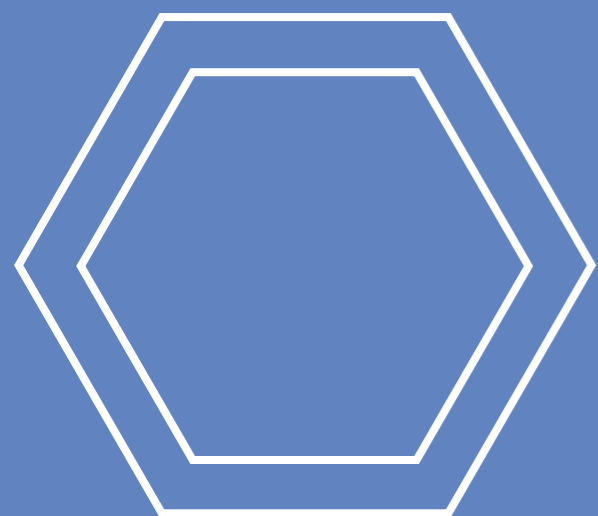
Fundacja Wspierania Nanonauk i Nanotechnologii Nanonet

Zespół:

Magdalena Cholewińska-Falarz, Michał Macha, Dorota Kosmalska, Marcin Knutelski, Agnieszka Piekara, Agnieszka Kłapcia, Wojciech Orłowski, Nel Broda

Grafika:

Magda Ociepka-Maik (MOM Studio sp.z o.o.)



Raport 3W – Węgiel

Zaawansowane materiały są projektowane, aby spełniać precyzyjnie określone funkcje w nowoczesnym przemyśle. To właśnie w laboratoriach powstają inteligentne i funkcjonalne materiały, które posiadają szczególne właściwości fizyczne, chemiczne, optyczne, elektryczne a nawet biologiczne. Zaawansowane materiały wyznaczają kierunki rozwoju głównych gałęzi gospodarki na świecie, jak np. energetyka, elektronika czy medycyna.

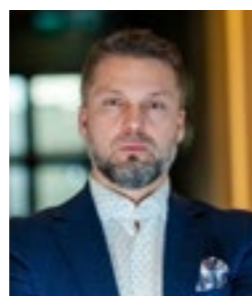
W ostatnich latach dynamicznie rozwijającą się grupę zaawansowanych materiałów stanowią nowoczesne materiały węglowe, takie jak grafen, nanorurki węglowe, fulereny czy też włókna węglowe. Te niewielkie struktury prezentują niezwykle właściwości, które otwierają przed nami nieograniczone możliwości innowacyjnych zastosowań. Materiały węglowe są odpowiedzią na poszukiwanie rozwiązań o podwyższonej wydajności, trwałości i zgodności z priorytetami zrównoważonego rozwoju.

Czy Polska odgrywa znaczącą rolę w ich rozwoju? Zdecydowanie tak! Zajmujemy czołowe miejsce wśród krajów europejskich, a nasi naukowcy i przedsiębiorcy nie tylko tworzą, ale również wdrażają rozwiązania na światowym poziomie.

Węgiel to jeden z trzech zasobów życia tworzących Ideę 3W – inicjatywę Banku Gospodarstwa Krajowego. Jej celem jest m.in. wspieranie rozwoju, podnoszenie konkurencyjności polskiej gospodarki, właśnie w obszarze tych trzech zasobów: wody, wodoru i węgla.

Przedstawiamy Państwu raport, w którym zagłębiamy się w technologie węglowe, aby pokazać potencjał jaki drzemie w węglu i dlatego jest powszechnie nazywany materiałem przyszłości.

Jestem przekonany, że to opracowanie stanie się cennym źródłem wiedzy dla czytelników - inspirującym do dalszych poszukiwań i refleksji nad tym, w jaki sposób innowacyjne materiały węglowe zmieniają naszą rzeczywistość.



dr inż. Adam Szatkowski, MBA
Prezes Fundacji Nanonet
Koordynator Śląskiego Klastra Nano,
Krajowego Klastra Kluczowego

Raport przedstawia analizę i ocenę materiałów węglowych – zasobu o niezwykłym znaczeniu w dzisiejszym świecie. Materiały węglowe stanowią szeroką kategorię substancji, których głównym składnikiem jest powszechnie znany pierwiastek – węgiel.

W niniejszym raporcie, ze względu na wyjątkową głębość pojęcia "rynek technologii węglowych", nie bierzemy pod uwagę przemysłu związanego z wydobywaniem i przetwórstwem węgla oraz z metalurgią i odlewnictwem. Przez pojęcie "technologie węglowe" rozumiemy tutaj pozostałe zastosowania i technologie wykorzystujące węgiel w jednej z jego molekularnych i chemicznych postaci a także materiały kompozytowe zawierające alotropowe formy węgla.

Materiały węglowe odgrywają coraz większą rolę w różnych dziedzinach życia. Zależnie od rodzaju technologii, postaci czy stanu chemicznego węgla, rynek technologii węglowych obejmuje obszary tak szeroko zdefiniowane jak na przykład:

- elektronika (np. wyświetlacze, półprzewodniki),
- energetyka (np. panele fotowoltaiczne, baterie),
- branża wytwórcza (np. materiały konstrukcyjne, polimery do druku 3D),
- środowisko (np. filtrowanie wody lub oczyszczanie powietrza),
- chemia (np. farby),
- medycyna (np. nośniki leków) i wiele innych.

Wyjątkowe właściwości fizyczne i chemiczne różnych odmian węgla sprawiają, że węgiel staje się niezastąpionym materiałem przyszłości.

W zależności od zastosowania i stopnia innowacji, typowe polskie przedsiębiorstwa i projekty R&D skupiają się wokół wykorzystywania węgla i budowania technologii, usług oraz produktów bazujących na węglu w postaci:

- grafenu w postaci warstwy,
- tlenku grafenu w postaci płatków (proszków),
- nanorurek węglowych,
- cząstek i nanocząstek węgla,
- węgla amorficznego,
- grafitu,
- diamentów w postaci warstw lub proszków,
- włókien węglowych.

W tym raporcie skoncentrujemy się na zastosowaniach oraz perspektywach rozwoju materiałów węglowych. Analiza ta pomoże zrozumieć w jaki sposób możemy wykorzystać potencjał tych materiałów w dzisiejszym dynamicznym, dążącym do zrównoważonego rozwoju i odpowiedzialnie korzystającego z zasobów świecie.

W pierwszej części raportu zaprezentujemy inicjatywy podejmowane w Polsce, Europie i na świecie, które mają na celu wsparcie rozwoju technologii węglowych oraz przyspieszenie ich komercyjnego wykorzystania. Skoncentrujemy się na działaniach podejmowanych przez różne instytucje, firmy oraz inicjatywy międzynarodowe, które mają kluczowe znaczenie dla postępu w tej dziedzinie.

Rozdział drugi przedstawia wybrane technologie węglowe rozwijane przez polskie firmy i jednostki naukowe. Pokażemy projekty, w których opracowano innowacyjny filament do drukarek 3D na bazie grafenu, technologie druku węglem szklistym, czy memrystory modyfikowane węglem.

W trzeciej części dokładnie zweryfikujemy wielkość polskiego i światowego rynku materiałów węglowych, a także oszacujemy tempo wzrostu na najbliższe lata. Przedstawimy wyniki badań, prognozy i trendy, które pozwalają lepiej rozumieć perspektywy branży. Dodatkowo, zaprezentujemy konkretnie przykłady aplikacji wybranych materiałów węglowych i ich zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu.

W czwartej części raportu skupimy się na wykorzystaniu materiałów węglowych w dziedzinach życia, które przechodzą obecnie rewolucję pod wpływem rozwoju technologii i nowych odkryć naukowych. Przyjrzymy się, jak grafen, nanorurki węglowe oraz inne zaawansowane technologie węglowe wpływają na społeczeństwo.

W rozdziale piątym przedstawimy efekt synergii z zasobami wody i wodoru, które w połączeniu tworzą trzy główne zasoby przyszłości. Skoncentrujemy się na innowacyjnych rozwiązaniach, które mogą wynikać z połączenia tych zasobów z materiałami węglowymi, a które mają kluczowe znaczenie dla zrównoważonego i przyszłościowego rozwoju społeczeństwa.

Szósta część raportu podejmuje próbę analizy działań w obszarze węgla w krajach Inicjatywy Trójmorza. Zweryfikujemy jakie znaczenie mają nowoczesne technologie węglowe w tych krajach i czy istnieje potencjał, aby Polska zyskała miano lidera regionu.

Dalsza część obejmuje rozważania na temat konieczności opracowania dokumentów strategicznych na poziomie krajowym dla tej grupy materiałów i wskazuje rekomendacje w zakresie działań jakie należy podjąć, aby możliwy

był dalszy rozwój materiałów na bazie węgla w Polsce.

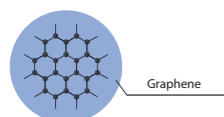
Cały raport skupia się na roli materiałów węglowych w kontekście dzisiejszych wyzwań technologicznych i ekologicznych. Dzięki niemu czytelnicy będą mogli lepiej zrozumieć potencjał i znaczenie tych zaawansowanych materiałów oraz jakie stwarzają możliwości dla różnych branż i dalszego rozwoju naszej cywilizacji.

Zapraszamy do dalszej lektury, która pozwoli odkryć i zrozumieć rolę materiałów węglowych we współczesnym rozwoju technologicznym i naukowym.

Słowniczek materiałów węglowych

Zanim przejdziemy do dalszej części raportu poznamy bliżej najczęściej pojawiające się w raporcie materiały węglowe i ich właściwości.

Grafen



Grafen, to fascynujący materiał, który od momentu swojego odkrycia przyciąga ogromną uwagę naukowców i inżynierów. Jest to pierwszy syntetycznie wytworzony dwuwymiarowy kryształ atomowy, który posiada właściwości stanowiące atrakcyjną alternatywę dla konwencjonalnych materiałów charakteryzujących się mniej korzystnymi parametrami. Grafen posiada na przykład niesamowitą wytrzymałość, sztywność i elastyczność, co oznacza, że może być z powodzeniem poddawany ekstremalnym warunkom i przeciążeniom. Można go rozciągać, zaginać i skręcać, a mimo to pozostaje wciąż mocny i nienaruszony. W kontekście jego sztywności i elastyczności, badacze przez długie lata uzyskiwali sprzeczne wyniki. Niemniej jednak, obecnie dowiedziono, że jego parametry ulegają zmianie w zależności od kąta wygięcia – wraz z jego zwiększaniem, wzrasta elastyczność grafenu.

Dzięki tym doskonałym właściwościom mechanicznym, grafen jest idealnym materiałem konstrukcyjnym.

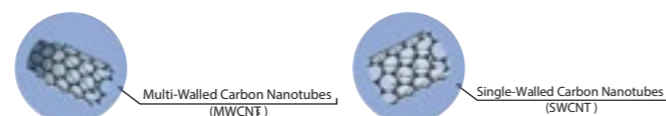
Jego przewodność cieplna i ruchliwość elektronów są wyjątkowe. Oznacza to, że grafen doskonale przewodzi ciepło oraz prąd elektryczny z wysoką efektywnością. Te właściwości sprawiają, że grafen jest obiecującym materiałem w dziedzinie elektroniki, a także otwierają nowe możliwości w dziedzinie energetyki, fotowoltaiki i wielu innych.

Istnieje wiele zastosowań, w których grafen może zastąpić tradycyjne materiały i przynieść przełomowe rozwiązania. Na przykład, w elektronice, grafen może pomóc stworzyć bardziej wydajne, mniejsze i szybsze urządzenia. W dziedzinie energetyki przyczynić się do stworzenia lepszych baterii mających większą pojemność i krótszy czas ładowania, a w materiałach konstrukcyjnych może

sprawić, że samochody i samoloty będą lżejsze, a przez to bardziej wydajne. Dodanie grafenu do mieszanki betonowej umożliwi stworzenie bardziej wytrzymałej i odpornej na korozję infrastruktury w branży budowlanej.

Można śmiało powiedzieć, że grafen to materiał, który ma potencjał zmienić naszą przyszłość. Jego niezwykle właściwości czynią go idealnym kandydatem do zastosowań w wielu dziedzinach, a naukowcy na całym świecie intensywnie badają jego właściwości i szukają nowych sposobów wykorzystania. Dzięki grafenowi możemy spodziewać się w najbliższej przyszłości przełomów technologicznych, które mogą zmienić nasze życie na lepsze

Nanorurki węglowe



Nanorurki węglowe (CNT ang. carbon nanotubes) to jednowymiarowe struktury tubularne, składające się z cienkich ścianek węglowych o średnicy rzędu kilku nanometrów i długości od kilku mikrometrów do kilku milimetrów. Powierzchnia ścianki w nanorurce węglowej ma strukturę złożoną z atomów węgla ułożonych w formie sześciokątów i pięciokątów.

To jedna z najbardziej fascynujących struktur węglowych, posiadająca unikatowe właściwości mechaniczne, elektryczne i magnetyczne. Wyróżniamy nanorurki jednościennne (SWCNT ang. single-walled carbon nanotubes) oraz wielościennne (MWCNT, ang. multi-walled carbon nanotubes). Unikalna struktura nanorurek zapewnia im doskonałe właściwości wewnętrzne, takie jak duża aktywna powierzchnia, wysoka stabilność chemiczna i mechaniczna oraz wysoka przewodność elektryczna. Dlatego mają one ogromny potencjał do wykorzystania jako sensory i elementy elektroniczne w zastosowaniach biomedycznych jako kompozyty oraz w procesach adsorpcji.

Fulereny

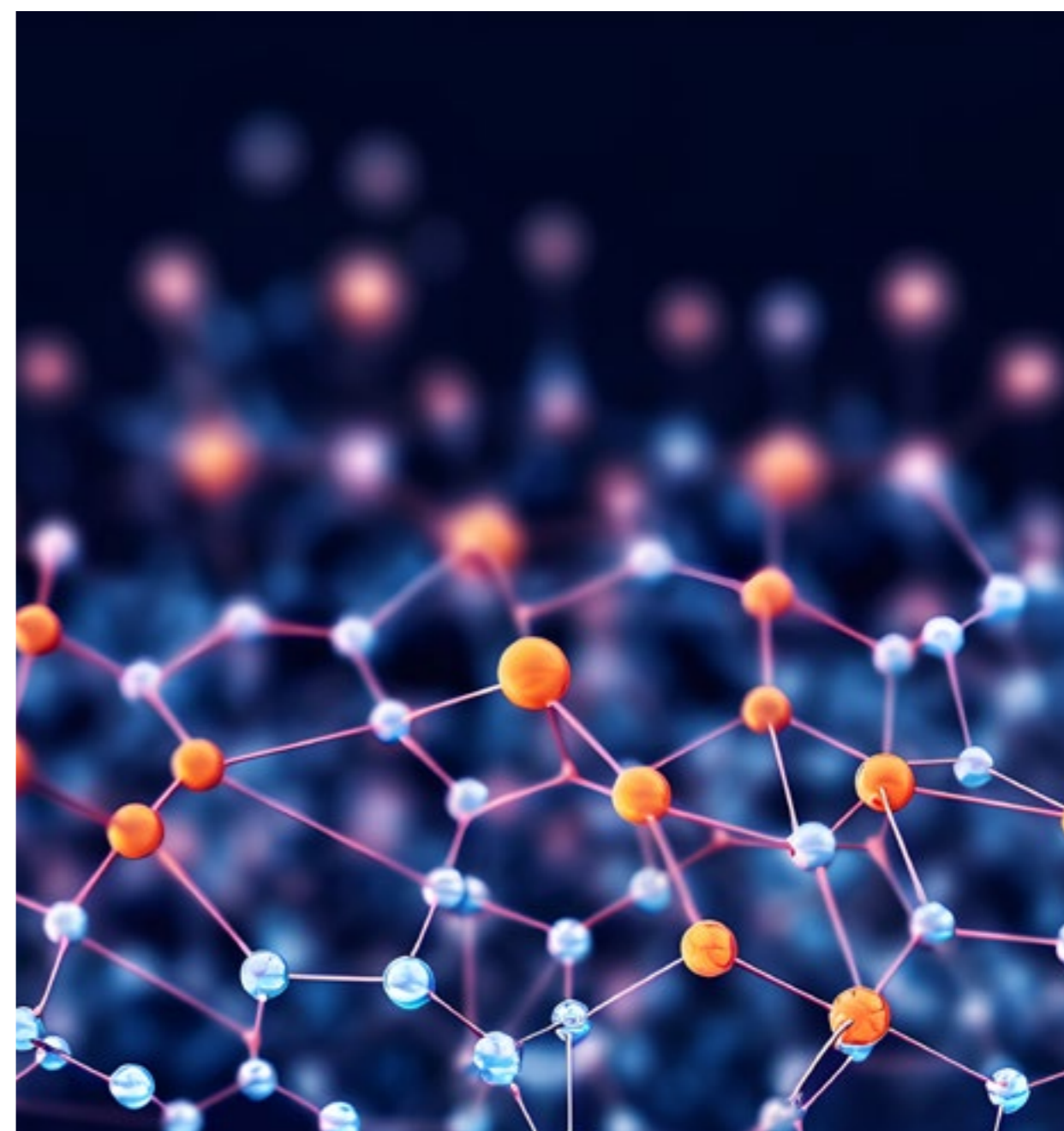


Fulereny są zbudowane z cząsteczek węgla w formie sześci- i pięciokątów ułożonych w sferyczny kształt lub innych pełnych form geometrycznych. Najbardziej znanym fulerem jest C₆₀ będący trzecią izomerią węgla i posiadający strukturę przypominającą piłkę nożną. Jego unikalna struktura odpowiada za jego interesujące właściwości fizyczne i chemiczne. Pod względem fizycznym cząsteczki C₆₀ są niepolarne, mają kulistą strukturę i stosunkowo łatwo rozpuszczają się tylko w rozpuszczalnikach aromatycznych, takich jak benzen czy toluen. C₆₀ pozostaje w stałej formie przy temperaturze pokojowej i ciśnieniu atmosferycznym.

Włókna węglowe

Włókna węglowe to zaawansowany materiał kompozytowy składający się z węgla w formie długich, cienkich i niezwykle wytrzymałych włókien. Są one wytwarzane w procesie zwanym karbonizacją lub pirolizą – procesie skomplikowanym, wymagającym stałej kontroli temperatury i atmosfery, a także kosztownym.

Włókna węglowe znajdują szerokie zastosowanie w przemyśle lotniczym, kosmicznym, samochodowym, sportowym, a także branży obronnej. Są wykorzystywane do produkcji rakiet, samochodów wyścigowych, rowerów, kadłubów samolotów i łodzi.



1. INSPIRUJĄCE INICJATYWY Z OBSZARU TECHNOLOGII WĘGLOWYCH

Rozwój technologii węglowych, wzrost komercyjnego wykorzystania tego materiału, a także liczne możliwości zastosowania i aplikacji sprzyjają powstawaniu inicjatyw na szczeblu krajowym i międzynarodowym, których celem jest integracja branży, wymiana dobrych praktyk i doświadczeń oraz przyspieszenie rozwoju gospodarczego.

Dzięki tego typu inicjatywom podmioty prowadzące działalność badawczą mogą znaleźć partnera do współpracy, dostęp do wiedzy, a także do aparatury badawczej i laboratoryjnej. Współdziałanie w ramach inicjatyw jest szczególnie ważne w dziedzinie zaawansowanych materiałów, ponieważ rozwój tych materiałów i procesów z nimi związanych wymaga zaangażowania dużego potencjału eksperckiego. Dzięki wspólnym wysiłkom można osiągnąć większy postęp i przyspieszyć wykorzystanie technologii węglowych w skali przemysłowej przyczyniając się jednocześnie do zrównoważonego i odpowiedzialnego rozwoju gospodarczego.

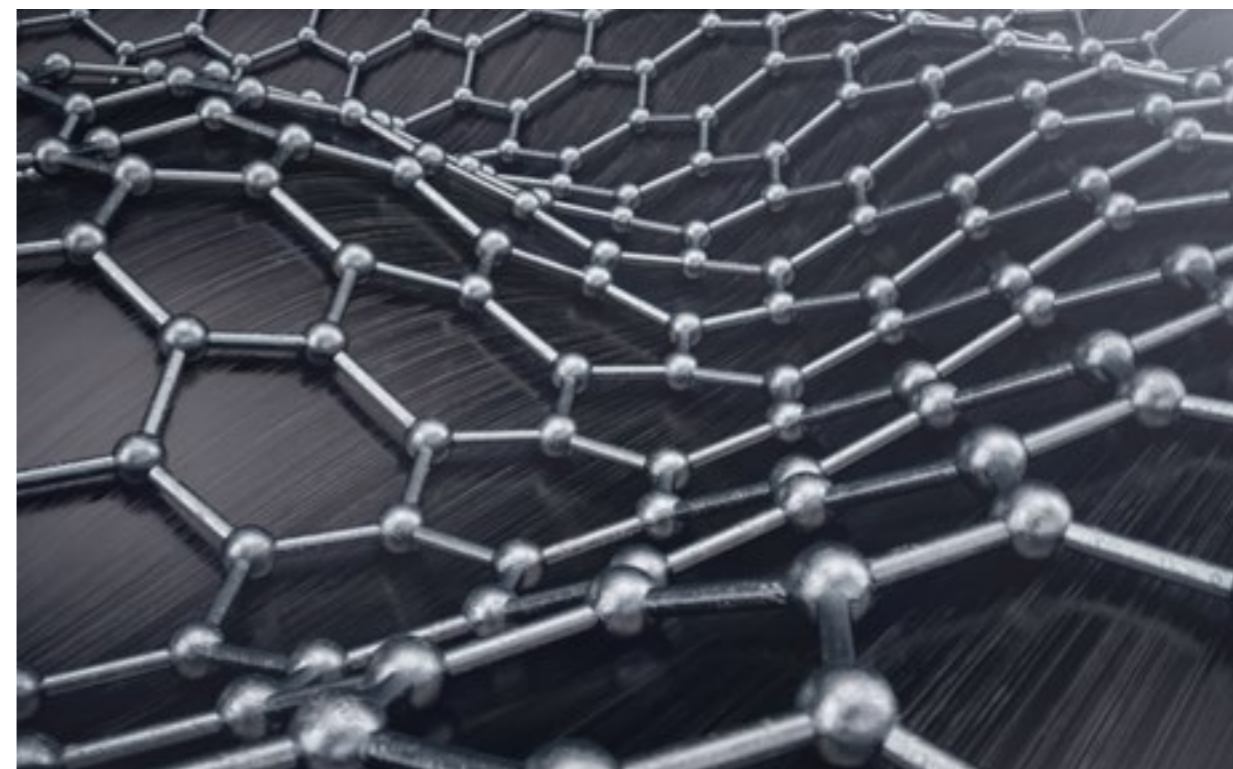
Sieci współpracy w postaci zrzeszeń, stowarzyszeń i klastrów, inicjatyw badawczych czy programów wsparcia to tylko niektóre z form animowania środowiska w branży technologii węglowych. Zainteresowanie ośrodków naukowych oraz przedsiębiorstw członkostwem i udziałem w takich przedsięwzięciach dowodzą, że rozwój gospodarczy i postęp technologiczny możliwy jest dzięki współpracy i dzieleniu się wiedzą.

Poniżej przedstawiono najciekawsze inicjatywy w branży nie tylko w Polsce, ale również w Europie i na świecie.

1.1 Graphene Flagship, UE.

Graphene Flagship to program badawczo-rozwojowy, zainicjowany przez Unię Europejską w 2013 roku z budżetem w wysokości 1 miliarda Euro. Była to jedna z pierwszych, szeroko zakrojonych inicjatyw organizowanych w ramach programu Future and Emerging Technologies wraz z Human Brain Project i Quantum Technologies Flagship. Jego celem jest skoordynowanie i przyspieszenie badań nad grafenem oraz innymi materiałami dwuwymiarowymi. Program ten jest największym jak dotychczas unijnym przedsięwzięciem poświęconym badaniom nad grafenem.

Graphene Flagship skupia się na rozwijaniu i wdrażaniu grafenu w praktycznych zastosowaniach, między innymi takich jak: magazynowanie energii, transport leków, sensory gazowe czy ultrawytrzymałe materiały. Program obejmuje szeroki zakres badań, które mają na celu zrozumienie właściwości grafenu, opracowanie nowych technologii produkcji, opracowanie metod charakterystyki i modyfikacji grafenu oraz badanie jego zastosowań w różnych obszarach: energetyka, elektronika, biomedycyna.



Dzięki dodatkowym inwestycjom w wysokości 20 mln EUR Komisja Europejska sfinansowała utworzenie eksperymentalnej linii pilotażowej dla elektroniki, optoelektroniki i czujników opartych na grafenie.



W ramach programu Graphene Flagship działa sieć ponad 170 partnerów z sektora akademickiego i przemysłowego z całej Europy. Partnerstwo to obejmuje uniwersytety, instytuty badawcze, firmy technologiczne, instytucje otoczenia biznesu i inne podmioty zainteresowane badaniami nad grafenem. Współpraca między partnerami pozwala na wymianę wiedzy, doświadczeń i infrastruktury badawczej, co przyspieszyło postęp w poznaniu natury grafenu oraz umacnia pozycję Europy na tle świata pod względem badań i innowacji. Do polskich członków partnerstwa Graphene Flagship należy Sieć Badawcza Łukasiewicz Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki oraz Politechnika Warszawska.

Jednym z kluczowych celów projektu Graphene Flagship jest tworzenie komercyjnego ekosystemu dla grafenu i powiązanych materiałów, pomagającego w rozwoju europejskiej gospodarki poprzez tworzenie nowych gałęzi przemysłu i miejsc pracy. Analiza wpływu projektu i osiągniętych rezultatów wskazała, że w oparciu o inwestycje w europejskie projekty dotyczące grafenu i materiałów pokrewnych o łącznej wartości 1,4 mld Euro, program wniósł wartość dodaną brutto w wysokości 5,8 mld Euro i pomógł w utworzeniu niemal 82 tysięcy miejsc pracy w Europie.

Dzięki inicjatywie Graphene Flagship, Europa ma szansę zostać światowym liderem w dziedzinie grafenu i materiałów dwuwymiarowych.

W efekcie programu Graphene Flagship powstał szereg spółek technologicznych typu spin-off, które wyznaczają kierunki dalszego rozwoju badań w tej dziedzinie.

Tabela 1 poniżej zawiera listę najciekawszych przedsiębiorstw, a pełny opis został zamieszczony w Aneksie 1. W portfolio spin-offów programu znajdziemy polską firmę NanoEMI, zajmującą się m.in. produkcją płatków grafenu i rozwojem materiałów do ekranowania przed promieniowaniem elektromagnetycznym.

Nazwa firmy		Strona internetowa
Emberion		www.emberion.com
BeDimensional		www.bedimensional.com
InBrain		www.inbrain-neuroelectronics.com
Bramble Energy		www.brambleenergy.com
nanoEMI		www.nanoemi.com
HQ Graphene		www.hqgraphene.com
Sixonia Tech		www.sixonia-tech.de
Cambridge Raman Imaging		www.cambridgeranimaging.com
CamGraPhIC		www.camgraphic-technology.com
BioGraph Solutions		www.biographsolutions.com
Qurv Technologies		www.qurv.tech

1.2 Graf-Tech, Polska.

GRAF-TECH to jeden ze strategicznych programów wsparcia prac B+R realizowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w latach 2012 - 2016. Program z budżetem 60 mln PLN zapewniał wsparcie finansowe w postaci dotacji na realizację projektów badawczych związanych z wykorzystaniem grafenu w różnych dziedzinach nauki i technologii.

GRAF-TECH miał na celu podniesienie konkurencyjności polskiej gospodarki poprzez zastosowanie wyników badań, opracowania i wdrożenia innowacyjnych rozwiązań opartych na wykorzystaniu grafenu, a także wzmocnienie współpracy i integracji jednostek naukowych i przedsiębiorstw prowadzących badania w obszarze zastosowań grafenu.

Beneficjentami wsparcia w programie były konsorcja złożone z jednostek naukowych, centrów naukowo-przemysłowych oraz co najmniej jednego przedsiębiorstwa.

Tak skomponowane partnerstwo zgodnie z założeniami NCBR miało zwiększyć transfer wiedzy z nauki do biznesu, zacieśnić współpracę między tymi środowiskami, a także umożliwić wdrożenie opracowanego rozwiązania w praktyce gospodarczej. W 2012 zorganizowano konkurs, w którym złożono 33 wnioski o dofinansowanie o wartości ponad 200% zakładanego budżetu programu. Do fazy finansowania i realizacji wybrano 12 najciekawszych projektów. Realizacja wszystkich projektów zakończyła się w latach 2015 i 2016. Duże zainteresowanie programem potwierdziło zapotrzebowanie branży na tego typu wsparcie.

NCBR oczekiwał, że w wyniku realizacji projektów zwiększy się wdrażalność wyników badań naukowych w gospodarce. W latach realizacji programu widoczny był „grafenowy boom” w polskich ośrodkach naukowych i badawczych. Założeniem programu było przekucie efektów tych badań na konkretne produkty i rozwiązania dla rynku.

Obszary tematyczne programu:

		
wykorzystanie grafenu w materiałach kompozytowych dla przemysłu energetycznego, samochodowego, lotniczego i kosmicznego	magazynowanie wodoru	ekrany dotykowe, elastyczne wyświetlacze i przezroczyste elektrody do zastosowań w fotowoltaice
		
membrany np. do separacji DNA	super-kondensatory w samochodach elektrycznych	czujniki, np. grafenowe biosensory DNA (diagnostyka chorób, wykrywanie toksyn w żywności)
		
opakowania i warstwy ochronne	nowe nano-elektryczne agregaty prądowłórcze	fotodetektory i tranzystory grafenowe
		
materiały medyczne w protetyce, farmakologii i bakteriologii (np. w oparciu o właściwości bakteriobójcze tlenu grafenu)	przewodzące tworzywa sztuczne i farby	materiały do zastosowań w ochronie środowiska (np. zmiana właściwości sorbentów usuwających zanieczyszczenia chemiczne i biologiczne, materiały ochronne)

Zestawienie projektów zrealizowanych w ramach programu przedstawiono w Aneksie 2.

Przeprowadzenie programu GRAF-TECH pokazało, że Polska posiadała duży potencjał w obszarze badań nad grafenem, skupiony w głównej mierze na produkcji, a nie na transferze wiedzy na potrzeby opracowania i komercjalizacji nowych, innowacyjnych produktów.

W przypadku programu GRAF-TECH, jedynie połowa projektów zakończyła się wdrożeniem wyników. Wdrożenia te miały miejsce zarówno wśród partnerów projektów, jak i w jednostkach naukowych i badawczych pełniących rolę liderów. W przypadku większości projektów realizowanych w programie współpraca konsorcjantów była kontynuowana w celu dalszego rozwoju opracowanej technologii. Niestety w dużej mierze wdrożenie rezultatów do oferowanych produktów nie przyniosło zakładanych zysków. Potencjał rynkowy jest na dal wysoki i w przeciągu kolejnych lat można spodziewać się wzrostu zainteresowania produktami na bazie opracowanych technologii.

Przykładem projektu, którego wyniki zostały skomercjalizowane jest GraphRoll (realizowany w konsorcjum: Politechnika Łódzka i firma Seco/Warwick S.A.). Za komercjalizację grafenu opracowanego metalurgiczną metodą HSMG (High Strength Metallurgical Graphene), odpowiada spółka Advanced Graphene Products S.A.

Do sukcesów programu możemy zaliczyć również wzrost wymiany wiedzy i doświadczenia pomiędzy beneficjentami programu. Wszyscy beneficjenci upubliczniali wyniki swoich projektów podczas konferencji naukowych lub za pośrednictwem czasopism naukowych lub technicznych. Warto podkreślić, że po zakończeniu programu partnerzy projektów kontynuują współpracę i podejmują dalsze przedsięwzięcia z konsorcjantami naukowymi lub prywatnymi. W większości przypadków program GRAF-TECH przyczynił się do rozwoju zespołów projektowych, które z powodzeniem rozpoczęły współpracę przy innych przedsięwzięciach.

Program GRF-TECH był pierwszym i jedynym dotychczas programem, którego celem było wsparcie w opracowaniu produktu, którego główną składową jest grafen. Należy zwrócić uwagę, że program ujawnił potrzebę tworzenia dodatkowych źródeł finansowania, które byłyby przeznaczone na realizację kolejnych etapów projektów oraz opracowanie strategii rozwoju rynku grafenu w Polsce.

1.3 Composites United, Niemcy.

Composites United e. V. (Niemcy) to jedna z największych na świecie sieci współpracy w zakresie technologii lekkich konstrukcji opartych na włóknach i zaawansowanych materiałach, w tym również włóknach węglowych.

Organizacja została założona przez dwa stowarzyszenia Carbon Composites e.V. i CFK Valley e.V. Obecnie około 350 członków łączy się, tworząc to stowarzyszenie branżowo-badawcze, aby wspólnie opracowywać innowacyjne produkty. Stowarzyszenie jest skoncentrowane na zrównoważonym wykorzystaniu i tworzeniu wielomateriałowych, lekkich konstrukcji i hybrydowych, wysoko-wydajnych, lekkich kompozytów konstrukcyjnych jako ekologicznych innowacji.

Stowarzyszenie koncentruje swoje działania na pozyskiwaniu projektów krajowych i międzynarodowych dla swoich członków poprzez promowanie firm na arenie krajowej i międzynarodowej. Działania obejmują również szkolenia i programów edukacyjnych dla jego członków.

Dotychczas zrealizowano ponad 60 projektów wspólnych dla klastra i jego członków. Obecnie Composites United to rozpoznawalna w branży marka mająca swoje biura w Niemczech, Austrii, Szwajcarii, a także Japonii, Korei Południowej, Chinach i Indiach.

Sieć promuje i wspiera innowacyjne technologie, pomaga nawiązać kontakty biznesowe, a także działa jako rzecznik branży na rzecz polityk krajowych i europejskich.

1.4 START.nano - MIT accelerator, USA.

Niezwykle interesującym przykładem wsparcia dla projektów na wczesnym etapie rozwoju jest akcelerator START.nano.

START.nano działający w ramach Massachusetts Institute of Technology, wiodącej uczelni technicznej w USA, to akcelerator start-upów działających w zakresie zaawansowanych rozwiązań w tym nanotechnologii węglowych.

Z uwagi na to, że przedsiębiorstwa technologiczne napotykać zazwyczaj poważne przeszkody na drodze do sukcesu, zwłaszcza na wczesnych etapach rozwoju, START.nano oferuje im dostęp do najnowocześniejszych laboratoriów, w tym nanoprodukcji i fizyko-chemicznej charakteryzacji materiałów. Celem powołania akceleratora była minimalizacja kosztów wdrożenia rodzącego się pomysłu, zwiększenie szans przetrwania dla nowopowstałych, obiecujących firm oraz skrócenie czasu wprowadzania innowacji na rynek.

Start-upy przystępujące do programu akceleratornego MIT.nano otrzymują:

- dostęp do najnowocześniejszych obiektów laboratoryjnych, dzięki czemu zmniejszona jest potrzeba inwestowania we własną infrastrukturę badawczą.
- wsparcie ze strony personelu i techników MIT.nano w zakresie wykorzystania sprzętu i procesów planowania.
- warsztaty aby pomóc start-upom zbadać wykonalność i skalowalność ich pomysłów oraz zaprojektować modele biznesowe i plany wdrożenia.

W ciągu dwóch lat działalności programu wsparcie otrzymało 10 projektów start-upowych.

START.nano jest przykładem inicjatywy, będącej ważnym elementem wsparcia dla początkujących firm z obszaru zaawansowanych materiałów, pozwalającej im na przyspieszenie wzrostu, zdobycie nowych kompetencji, nawiązanie kluczowych kontaktów oraz wprowadzenie na konkurencyjny rynek. Osadzenie tego typu inicjatywy w strukturach uczelni daje również motywację młodym naukowcom do podejmowania działalności gospodarczej.

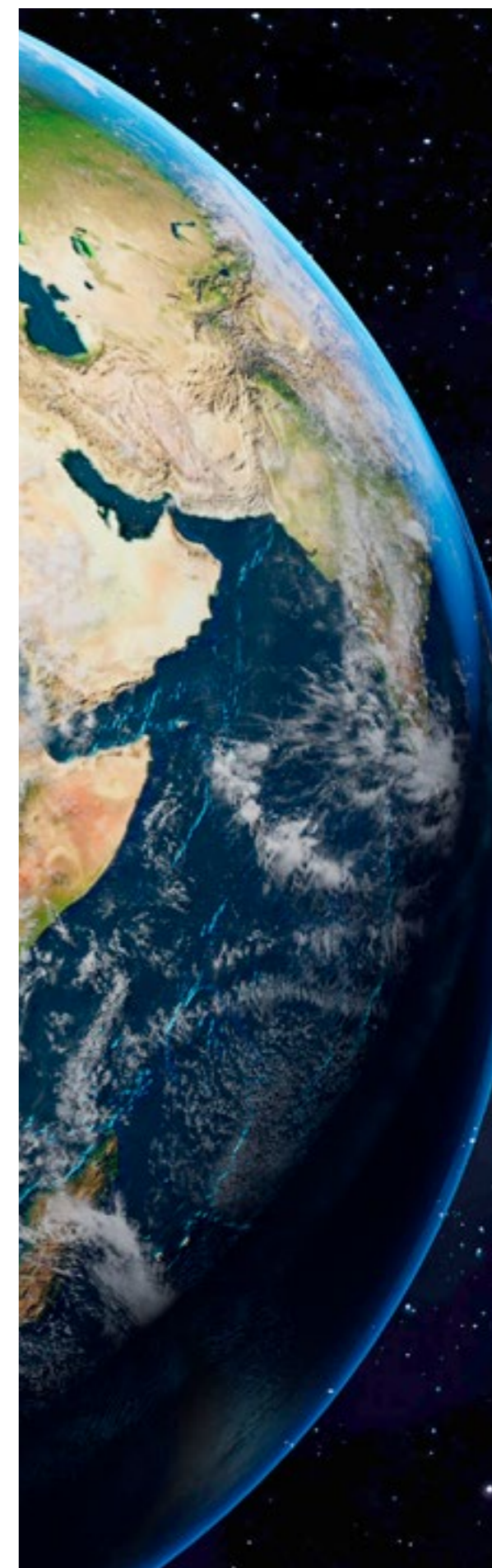
1.5 The Chinese Graphene Industry Association (CGIA), Chiny.

The Chinese Graphene Industry Association (CGIA) powołana w celu promocji przemysłu grafenowego jest zrzeszeniem, które aktywnie działa na rzecz przyspieszenia innowacyjności i rozwoju branży w Chinach. Członkami zrzeszenia jest obecnie ponad 150 podmiotów – uniwersytetów, instytutów naukowo-badawczych, przedsiębiorstw chińskich, jak i zagranicznych, które tworzą kompletny łańcuch wartości przemysłu grafenowego. CGIA stanowi platformę wymiany wiedzy i kompetencji budując pomost między jednostkami badawczo-rozwojowymi, przedsiębiorstwami produkującymi grafen, przedsiębiorstwami aplikacyjnymi, start-upami oraz instytucjami finansującymi. Powstały łańcuch innowacji wpływa na komercjalizację i promocję chińskiego przemysłu grafenowego na szczeblu krajowym i międzynarodowym.

Efektom dziesięcioletniej działalności CGIA są:

- 4 bazy demonstracyjne przemysłu grafenowego na szczeblu krajowym,
- 1 krajowe centrum innowacji w zakresie grafenu,
- 2 ośrodki innowacji w zakresie produkcji grafenu na poziomie prowincji,
- współpraca międzynarodowa (w tym UE, UK, USA, Korea Południowa, Japonia, Australia),
- organizacja corocznej konferencji GRAPHCHINA będącej jedną z największych imprez o branżowych o takim profilu na świecie.

Przedstawiliśmy powyżej przykłady wybranych inicjatyw, których celem było lub wciąż jest, wspieranie innowacyjności i rozwoju technologii węglowych. Tego typu działania są bez wątpienia potrzebne i mają pozytywny wpływ na upowszechnienie zastosowań węgla pierwiastkowego.



Polska może również pochwalić się sukcesami w rozwoju technologii węglowych. O dużym potencjale tej branży w kraju świadczy liczba i wartość realizowanych w ostatnich latach projektów badawczo-rozwojowych. Warto podkreślić, że mowa tu wyłącznie o projektach finansowanych ze środków publicznych. Działalność finansowana ze środków własnych firm i instytucji nie była brana pod uwagę w naszym Raporcie. Rodzime projekty obejmują cały szereg rozwiązań wykorzystujących odmiany węgla pierwiastkowego. Niemal połowa z nich rozwija technologie grafenowe.

Duże znaczenie materiałów węglowych dla rozwoju gospodarki zostało wyrażone również poprzez bezpośrednie wskazanie alotropowych odmian węgla, grafenu i nanostrukturalnych materiałów węglowych wśród obszarów Krajowych Inteligentnych Specjalizacji Zaawansowane Materiały i Nanotechnologie (KIS 8. Wg wersji obowiązującej od 13.02.2023 r). Krajowe Inteligentne Specjalizacje są elementem polityki innowacyjnej Polski, wskazują obszary najbardziej perspektywiczne z punktu widzenia rozwoju gospodarki i warunkują otrzymanie wsparcia w zakresie B+R+I w programach krajowych finansowanych z funduszy europejskich (w perspektywie finansowej 2021 – 2027 – Program Fundusze Europejskie dla Nowoczesnej Gospodarki, Fundusze Europejskie dla Polski Wschodniej). Jako jeden z obszarów zainteresowania w ramach KIS8 można wymienić „wielofunkcyjne nanomateriały kompozytowe o osnowie lub wzmocnieniu z nanostrukturalnych materiałów węglowych oraz innych nanowłókien, nanodrutów i nanorurek i ich technologie”.

Poniżej przedstawiamy ciekawe przykłady polskich innowacji na światowym poziomie.

2.1 Filament do drukarek 3D na bazie grafenu – Prografen, AGP S.A.

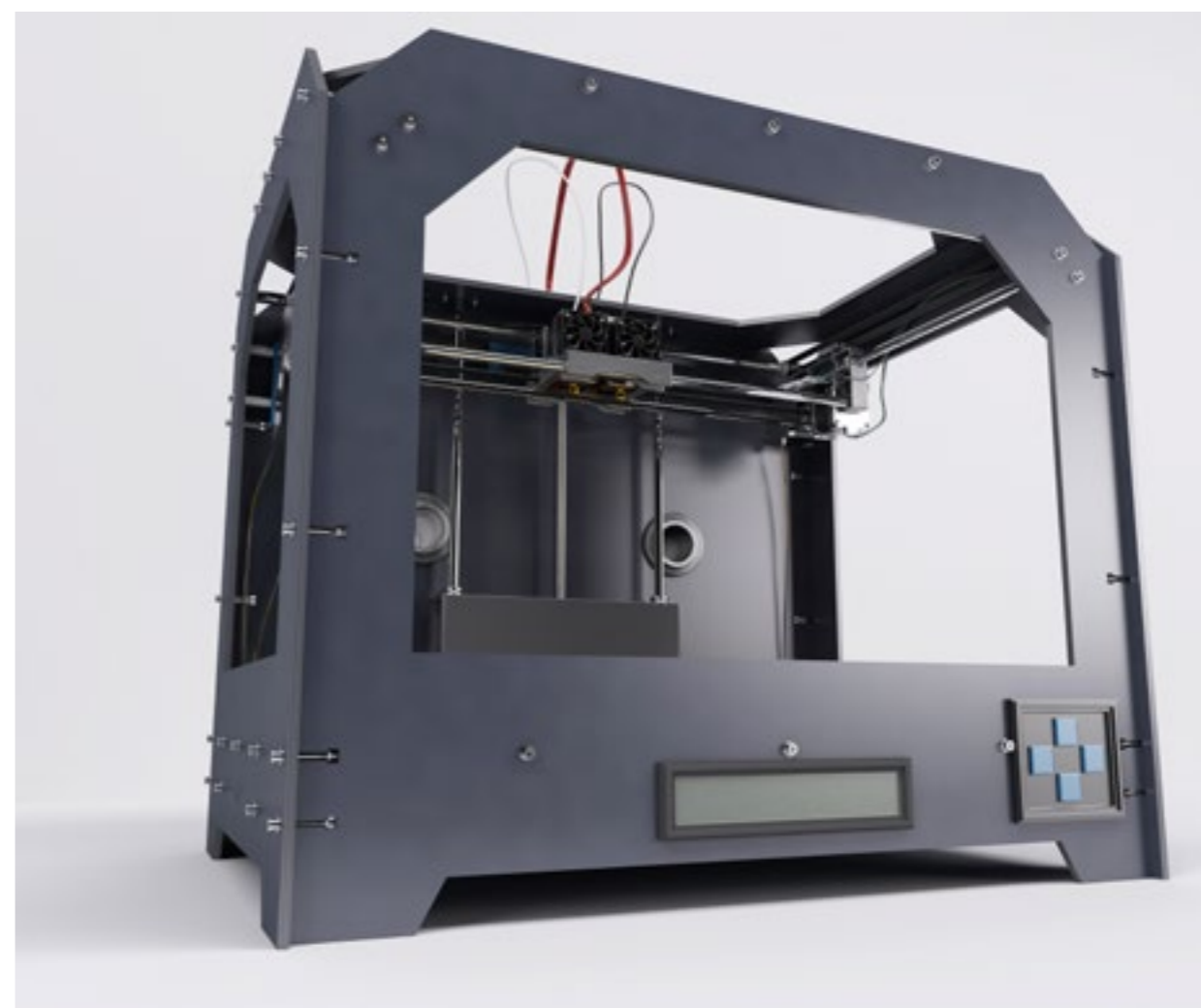
Advanced Graphene Products S.A. (AGP) to innowacyjna spółka, która od 2012 roku zajmuje się produkcją grafenu i rozwojem jego zastosowań. Obecnie firma prowadzi liczne prace badawczo-rozwojowe nad wypracowaniem nowych obszarów aplikacji swoich produktów.

Metody prototypowania przyrostowego z wykorzystaniem drukarek 3D są jednym z najszybciej rozwijających się sektorów na świecie. W roku 2022, Advanced Graphene Products S.A., będący producentem grafenu powierzchniowego i płatkowego, opracował filamenty (materiały, którymi drukarka 3D tworzy wydruk) PLA Graphene i PET-G Graphene wzbogacone płatkami grafenu, które charakteryzują się lepszymi właściwościami mechanicznymi w porównaniu do materiałów bazowych. Filament PLA Graphene wyróżnia się znacznie wyższym modułem sprężystości i wytrzymałością na rozciąganie od bazowych polimerów. Jednocześnie, zachowuje on łatwość drukowania. Z kolei wydruki wykonane z PET-G

z grafenem są odporne na wilgoć, a przy odpowiednich ustawieniach wydruku w zakresie dobrej przyczepności między warstwami, zapewniają wodoszczelność. Filamenty mogą również być stosowane w długopisach 3D.

Kolejne generacje filamentów zawierające m.in. zwiększoną ilość grafenu cechują się wyższymi parametrami mechanicznymi i wytrzymałościowymi w porównaniu do znacznie droższych i trudniejszych w użyciu filamentów nylonowych.

Dzięki właściwościom supersmarującym i wysokiemu przewodnictwu cieplnemu nanocząstek grafenu, pozwalają na kilkukrotnie szybszy druk od standardowych polimerów.



Filament Prografen znajduje zastosowanie w branży telekomunikacyjnej, przemyśle samochodowym, lotniczym, kosmicznym oraz medycynie, głównie do produkcji krótkoseryjnej czy serwisie części zamiennych. Poza tym, nadaje się do drukowania elementów konstrukcyjnych, prototypów, zabawek i przedmiotów codziennego użytku. Obecnie trwają badania dotyczące wytworzenia filamentu przewodzącego prąd, na potrzeby wyspecjalizowanej elektroniki.



Zdjęcie 1 zdjęcie prezentujące przykładowy wydruk z wykorzystaniem filamentu Prografen

2.2 Druk 3D węglem szklistym, Sygnis S.A.

Sygnis S.A. to wiodąca polska firma badawczo-rozwojowa, która specjalizuje się w opracowywaniu technologii i wdrażaniu rozwiązań z obszaru energetyki, biokonwergencji, nanotechnologii i druku 3D. Pracuje obecnie nad technologią drukowania węglem szklistym, która umożliwia wydruk niekorodujących złączy z węgla na folii metalicznej.

Projekt DEPO 3D, stanowi innowacyjną inicjatywę firmy, która koncentruje się na wydruku 3D przy użyciu węgla szklistego bezpośrednio przechodząc od fazy gazowej do fazy stałej. W obecnej fazie projektu możliwe jest drukowanie półprzewodników węglowych, co stanowi jedynie początek jej potencjalnych zastosowań.

Możliwości tej technologii są imponujące i obejmują szeroki zakres dziedzin od przemysłu, obróbki skrawaniem po biotechnologię. przykładowo druk 3D węglem szklistym może znaleźć zastosowanie w ogniwach elektrycznych, jako alternatywna metoda wykonywania elektrod z węgla o bardziej skomplikowanych kształtach.

Projekt DEPO 3D to krok naprzód w dziedzinie materiałów węglowych i wydruku 3D – otwiera drzwi do nowych możliwości i innowacyjnych rozwiązań w dziedzinie inżynierii, elektroniki i nie tylko.



Komentarz Prezesa AGP Artura Wiechczyńskiego

„Filamenty Graphene STRONG zakończyły już fazę testową i są obecnie produkowane pierwsze ich partie, które już są dostępne w sprzedaży. Firma AGP liczy na dotarcie z tym materiałem do najbardziej wymagających zastosowań, takich jak szybkie prototypowanie na drukarkach najnowszej generacji typu Voron/Prusa Mk.4/Bambu Lab, przemysł, elektronika czy zastosowania wojskowe.”





Komentarz Prezesa Sygnis S.A. Andrzeja Burgsa:

„Inwestycja w rozwój technologii druku 3D węglem szklistym jest przejawem zaangażowania w zrównoważony rozwój polskiej gospodarki. Projekt DEPO 3D będzie stanowił nową oś technologiczną polskiego hi-techu skoncentrowanego na wysokoprzewodzącej elektronice węglowej. Obecnie jesteśmy na etapie wytwarzania czujników, grzałek i elementów podstawowych. Jednak w przyszłości, gdy uda nam się zakończyć projekt DEPO 3D, będziemy w stanie wykonywać dowolne komponenty węgla połączonego z np. krzemem, co aktualnie jest bardzo ciekawym i pożądanym kierunkiem rozwoju elektroniki wytrzymałej na wysokie temperatury. Jest to interesująca perspektywa dla m.in. przemysłu, ponieważ docelowo będziemy mogli zainstalować czujniki w środku silnika i uzyskiwać dane bezpośrednio z komory.”

2.3 SmartHEAL, Politechnika Warszawska

Młodzi naukowcy z Politechniki Warszawskiej opracowali inteligentny opatrunek z precyzyjnym, skalowalnym i elektronicznym czujnikiem pH. Pomiar pH w SmartHEAL opiera się na sensorze elektrochemicznym. Wysięk z rany dostaje się do dwóch elektrod: elektrody referencyjnej oraz elektrody wskaźnikowej z warstwą czułą na zmiany poziomu współczynnika. Kwasowość lub zasadowość odczynu jest wyznaczana na podstawie różnicy potencjałów elektrod. Następnie wynik jest odczytywany przez pacjenta lub personel medyczny przy użyciu anteny RFID.

SmartHEAL to proste w obsłudze, nieinwazyjne i niedrogie narzędzie diagnostyczne przeznaczone do oceny ran przewlekłych. Pozwala ono na natychmiastowe wykrycie zmian w pH, które są powiązane ze stanem zapalnym rany, co umożliwia lekarzom dostosowanie właściwego leczenia bez konieczności usuwania opatrunku.

SmartHEAL stanowi alternatywę dla tradycyjnych metod oceny procesu gojenia ran, które często opierają się na subiektywnej ocenie rozmiaru, koloru czy zapachu rany. Innowacyjny opatrunek dostarcza bardziej obiektywnych i precyzyjnych danych, eliminując potrzebę kosztownych badań laboratoryjnych tkanki pobranej prosto z rany.

W trakcie prac badawczych, zespół SmartHEAL opracował autorskie kompozyty wykorzystujące nanorurki węglowe, grafen oraz płatki srebrne w procesie wytwarzania elektroniki techniką sitodruku i termotransferu. To niekonwencjonalne podejście pozwoliło na integrację sensora bezpośrednio na powierzchni opatrunku, umożliwiając tym samym skalowalną produkcję w przystępnej cenie. To rozwiązanie ma potencjał, by stać się dostępnym dla szerszego grona odbiorców.

Dzięki wykorzystaniu technologii RFID (Radio-Frequency Identification), możliwe jest monitorowanie stanu rany oraz wykrywanie infekcji bez konieczności zdejmowania opatrunku, co jest nie tylko wygodne, ale także pozwala uniknąć naruszenia gojących się tkanek.

2.4 Memrystory modyfikowane węglem, AGH.

Memrystory modyfikowane węglem i ich potencjał w rewolucji obliczeniowej.

Innowacyjne badania prowadzone w Akademickim Centrum Materiałów i Nanotechnologii oraz na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH w Krakowie skupiają się na tworzeniu sztucznych neuronów z wykorzystaniem węgla. Ta obiecująca technologia, rozwijana przez naukowców, może mieć ogromne znaczenie dla przyszłości sztucznej inteligencji i uczenia maszynowego.

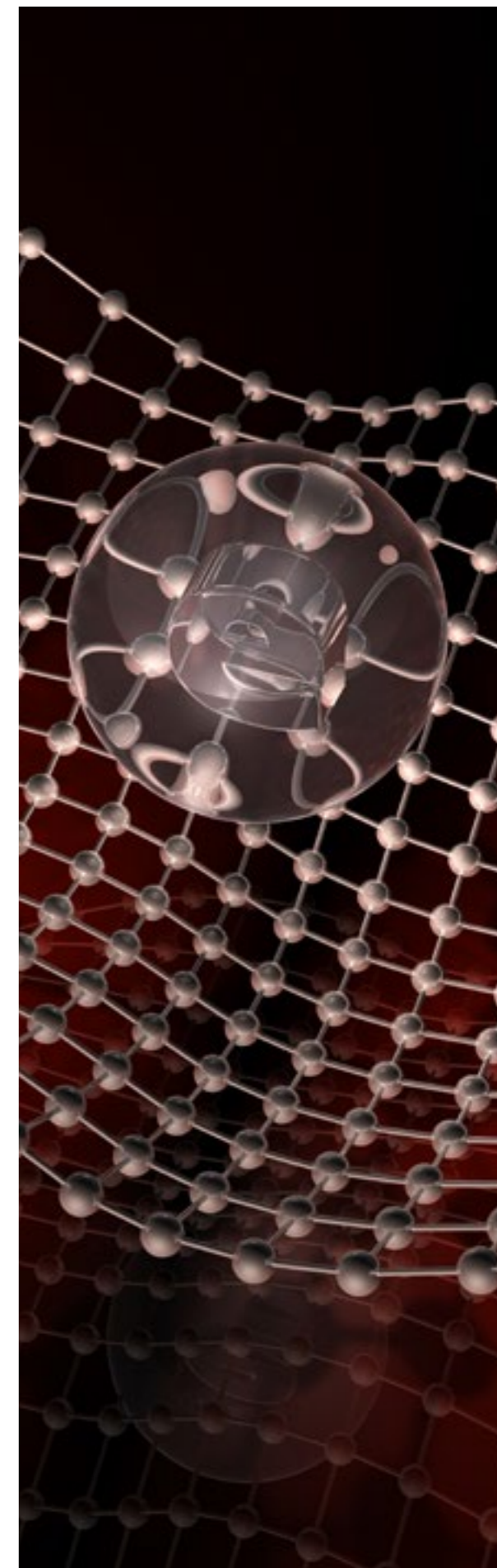
Memrystor to element elektroniczny, który może zmieniać swoją rezystancję lub przewodnictwo poprzez zmianę napięcia i prądu, a po odłączeniu zasilania pamięta swój stan. W przeciwieństwie do binarnych tranzystorów, memrystory mogą przechowywać więcej niż dwa bity informacji.

Sztuczne sieci neuronowe są szeroko stosowane w uczeniu maszynowym, naśladując sposób działania mózgu. Neurony w tych sieciach komunikują się za pomocą neurotransmiterów, regulując połączenia synaptyczne. Sieci te składają się z warstw neuronów, które przetwarzają i przekazują informacje poprzez synapsy. Jednak trening sieci neuronowych wymaga ogromnej ilości danych,

co generuje wyzwanie związane z mocą obliczeniową i prędkością. Dlatego coraz większą popularność zdobywa koncepcja zastępowania tradycyjnych tranzystorów memrystorami.

Obecnie badania AGH koncentrują się na wykorzystaniu węgla do tworzenia rewolucyjnych memrystorów, które przypominają działanie neuronów. Perowskity (grupa minerałów), reagujące na sygnały elektryczne tak jak neurony, są kluczowym elementem tej technologii. Urządzenia składają się z dwóch elektrod: jedna jest przezroczysta, wykonana z przewodzącego tlenku indowo-cynowego, a druga jest metaliczna. Między nimi tworzy się cienka warstwa perowskitu, reagującego na prąd. Perowskity z roztworów mają niezwykłą zdolność do modyfikacji składu i właściwości optoelektronicznych. Nanorurki węglowe i heptazyny, czyli analogi płatków grafenu, są przykładami takich modyfikatorów, które zmieniają czas trwania pamięci memrystorów i zwiększają ich oddziaływanie ze światłem. Światło generuje prąd w próbce, co umożliwia osiągnięcie analogicznych efektów do obserwowanych przy zastosowaniu napięcia elektrycznego.

Opisywane materiały reprezentują obiecującą technologię neuromorficzną, która umożliwia fizyczną implementację sieci neuronowej. W przeciwieństwie do tradycyjnych implementacji opartych na oprogramowaniu i binarnych tranzystorach, te materiały precyzyjniej odwzorowują zachowanie neuronów. W sieci memrystorów operacje matematyczne są przetwarzane bezpośrednio, eliminując konieczność nieefektywnego przesyłania informacji do pamięci. To prowadzi do redukcji zapotrzebowania na moc obliczeniową. Co więcej, perowskity, w przeciwieństwie do krzemowej elektroniki, mogą być nanoszone na elastyczne podłoża, takie jak folia, co otwiera nowe możliwości zastosowań w obszarze elektroniki elastycznej (flexible electronics). Istnieje również perspektywa wykorzystania tej technologii w przemyśle odzieżowym, gdzie ubrania mogą być wyposażone w inteligentne czujniki, które przetwarzają informacje analogicznie do systemu nerwowego.

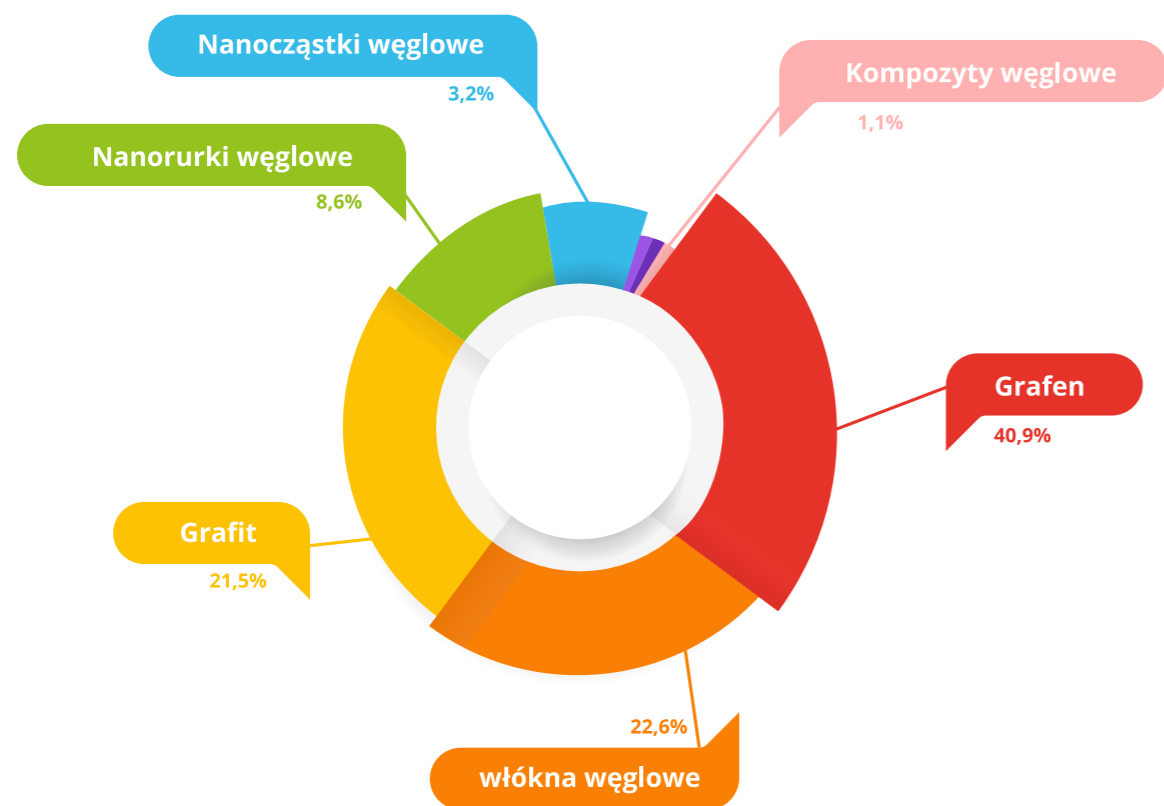


Rozwój innowacyjnych technologii, których przykłady zostały opisane wyżej nie byłby możliwy bez publicznego wsparcia finansowego dla firm i jednostek naukowych. Działalność badawczo-rozwojowa wymaga znaczących inwestycji, które bez odpowiednich zachęt mogłyby być realizowane w mniejszej skali.

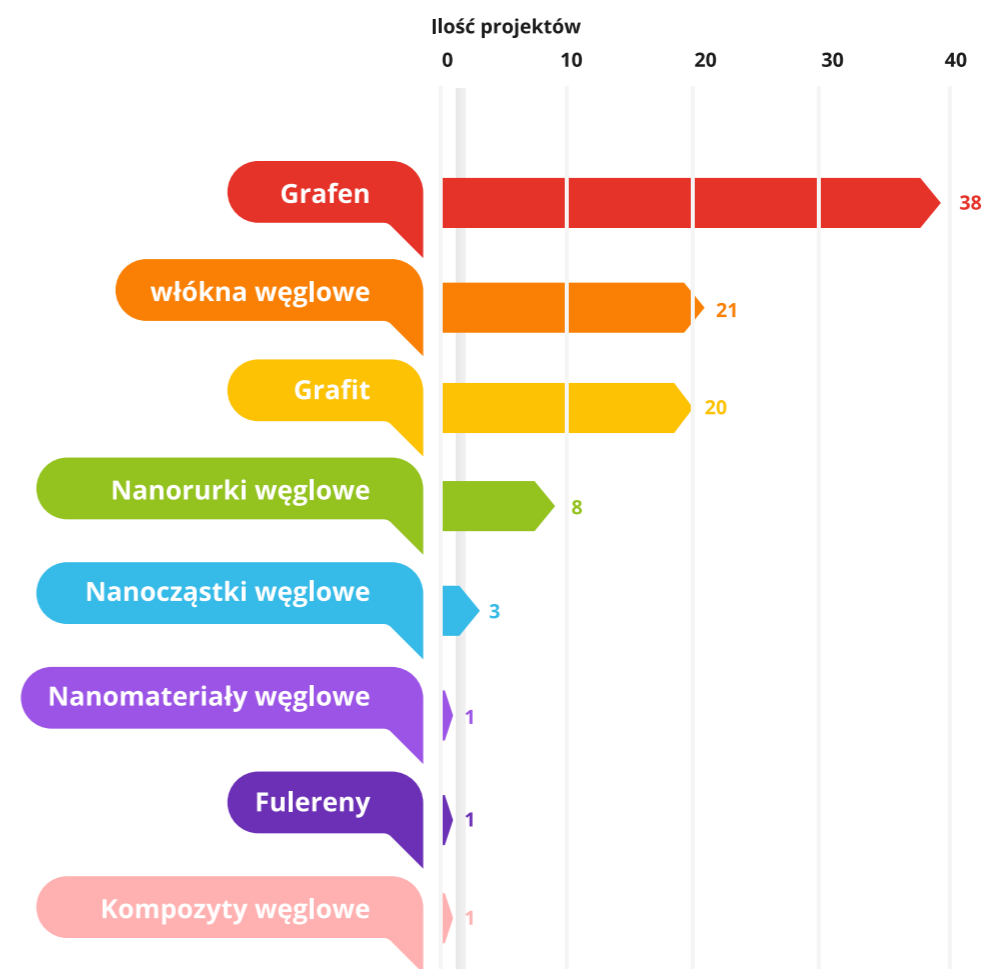
W latach 2014-2021 dzięki wsparciu z funduszy europejskich w ramach Programu Innowacyjna Gospodarka oraz Regionalnych Programach Operacyjnych udało się sfinansować 93 projekty badawczo-rozwojowe i innowacyjne związane z materiałami węglowymi. Łączna wartość tych projektów wynosi ponad 592 mln zł.

Największy odsetek projektów koncentrował się na badaniach z zakresu grafenu oraz włókien węglowych. W ramach realizowanych projektów mniejszym zainteresowaniem cieszyły się nanomateriały węglowe, fulereny, czy kompozyty węglowe. Świadczy to o zróżnicowanym podejściu i poszukiwaniu innowacyjnych zastosowań w dziedzinie materiałów węglowych. Wsparcie finansowe działalności badawczo-rozwojowej i innowacyjnej tak szerokiego spektrum projektów przyczynia się do tworzenia nowatorskich rozwiązań i wzrostu potencjału polskiej gospodarki w zakresie materiałów węglowych.

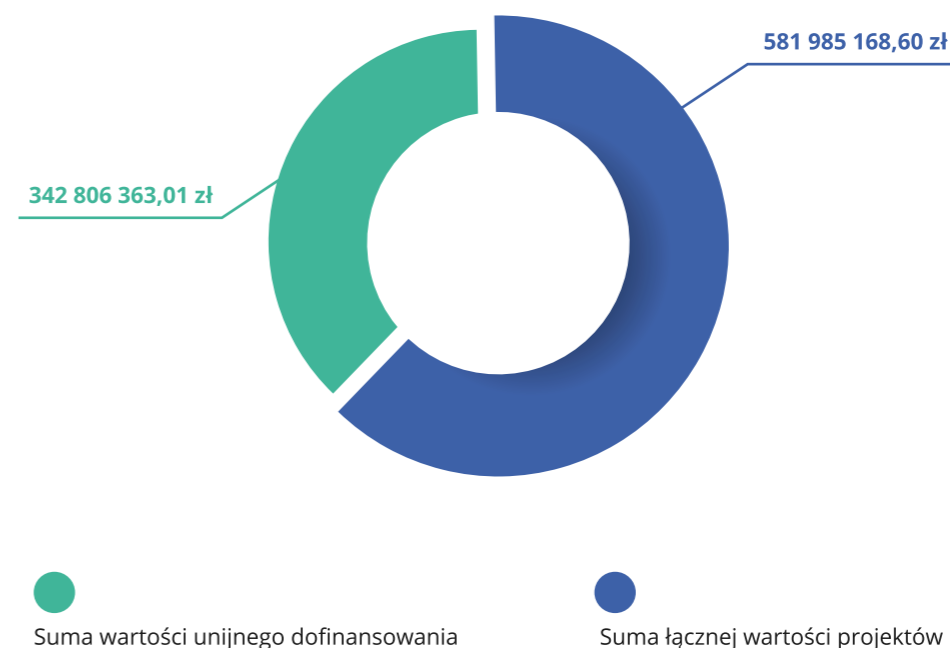
Wykres 1. Procentowy udział projektów dotyczących danego typu technologii



Wykres 2. Wykres przedstawia ilościowy udział projektów dotyczących danego typu technologii



Wykres 3. Udział unijnego dofinansowania w projektach z obszaru materiałów węglowych



3. RYNEK MATERIAŁÓW WĘGLOWYCH – POLSKA I PERSPEKTYWA ŚWIATOWA

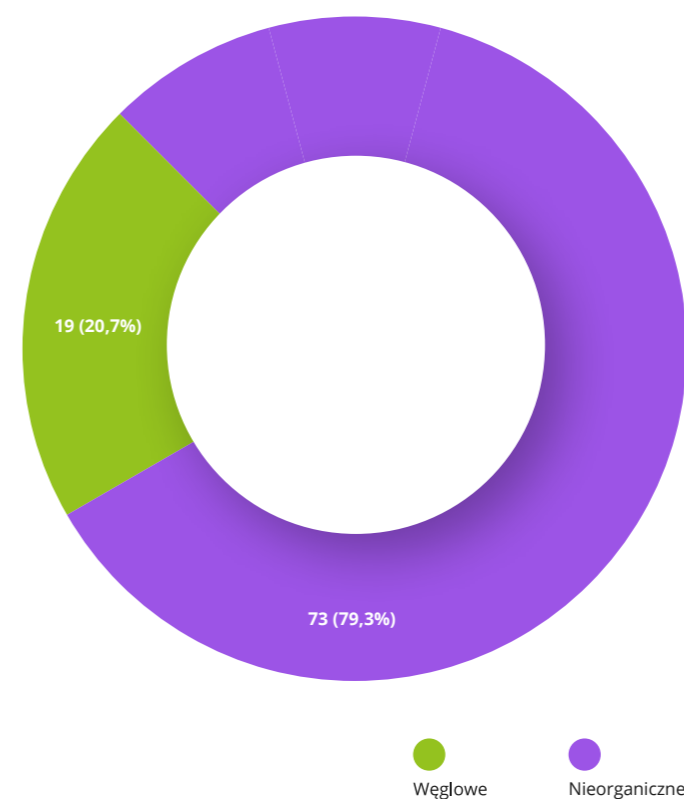
3.1 Dane rynkowe.

Branża nanomateriałów węglowych odnotowuje dynamiczny wzrost w ostatnich latach, co wynika z rosnącej innowacyjności i coraz większego potencjału zastosowań technologii opartych na nanomateriałach węglowych. Ten trend jest w dużej mierze wynikiem komercjalizacji projektów i prac badawczych. Choć rynek nanomateriałów węglowych rozwija się najintensywniej w Azji, szczególnie w Chinach, Japonii i Korei Południowej, Europa również posiada znaczny potencjał rozwoju w tej dziedzinie.

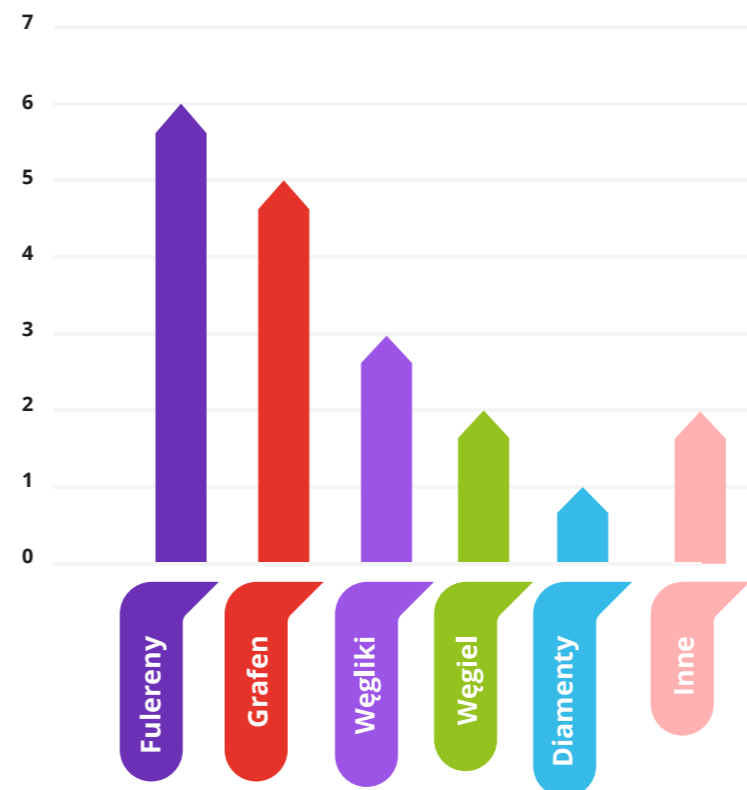
Jednym z wyzwań w analizie rynku nanomateriałów jest określenie, co dokładnie definiuje materiał "nano". W celu rozwiązania tego problemu, można korzystać z zaleceń Komisji Europejskiej z 2011 roku (2011/696/EU), które identyfikują 92 materiały, substancje i mieszaniny spełniające definicję nanomateriałów. Z tego zestawienia wynika, że ponad 20% z tych materiałów bazuje na węglu, w tym fulereny, grafen, węgliki, materiały bazowane na węglu i diamenty.

Agencja Europejska ds. Chemikaliów (ECHA) przeprowadziła ciekawą analizę rynku nanomateriałów, uwzględniając kraje Europejskiego Obszaru Gospodarczego (EOG) i Szwajcarię. Według danych z 2020 roku, całkowity rynek nanomateriałów, obejmujący nie tylko nanomateriały węglowe, oszacowano na 140 000 ton i 5,2 miliarda euro. To dowodzi znacznego wpływu tej branży na gospodarkę. W dalszej części przyjrzymy się wartości rynku wybranych materiałów.

Wykres 4. Rodzaje nanomateriałów



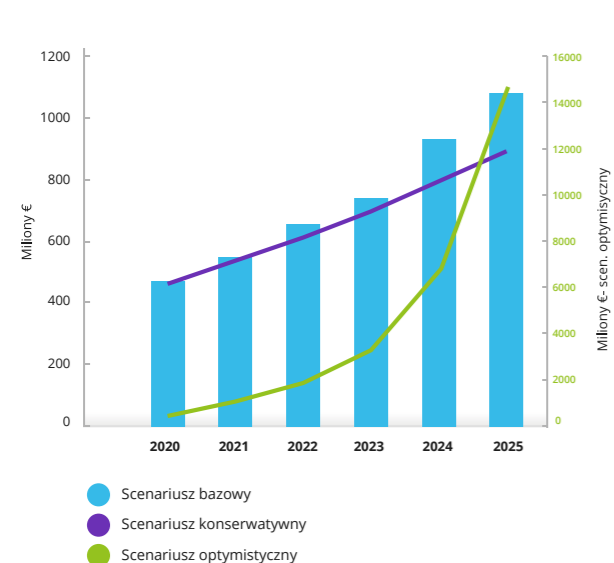
Wykres 5. Podsumowanie rynku poszczególnych materiałów węglowych



Nanorurki węglowe

W 2020 roku wyprodukowano 790 ton nanorurek węgla, co pozwala oszacować ówczesną wartość rynku na poziomie 452,47 milionów Euro. W najbliższych latach szacowany jest dynamiczny wzrost tego rynku, osiągający CAGR (skumulowany roczny wskaźnik wzrostu) na poziomie nawet 120% w perspektywie kolejnych 5 lat.

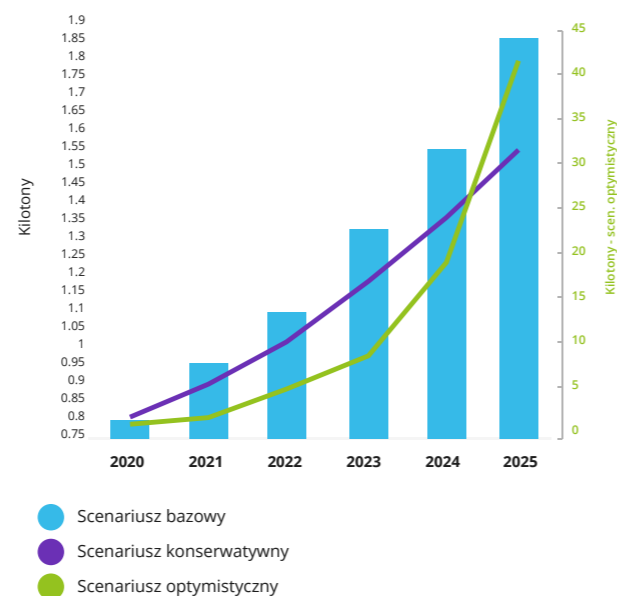
Wykres 6. Oszacowanie europejskiego rynku CNT w wartości na lata 2021-2025.



Z uwagi na swoje właściwości nanorurki węglowe znajdują coraz szersze zastosowanie w medycynie. Możliwość ich funkcjonalizacji szerokim zakresem leków, białek, antyciał, DNA czy enzymów umożliwia opracowywanie terapii i leków o wyższej skuteczności. Duża ilość zastosowań oraz Europejskie i krajowe programy wspierające skutkują dużym prognozowanym wzrostem rynku tego materiału. Jedynym wyzwaniem mogącym blokować rozwój nanorurek jest potencjalne zagrożenie dla zdrowia i środowiska połączone z metodami produkcji. Nanorurki węglowe często dążą do tworzenia aglomeratów (skupisk) w bardziej skomplikowanych środowiskach. Aby temu zapobiec producenci osadzają na powierzchni takich rurek sadzę techniczną, która ma niekorzystny wpływ na ludzkie zdrowie.

W poniższej analizie ten wynik został oznaczony jako wariant optymistyczny. Wariant najbardziej konserwatywny został oszacowany na CAGR = 14.4%

Wykres 7. Oszacowanie europejskiego rynku CNT w kilotonach na lata 2021-2025.

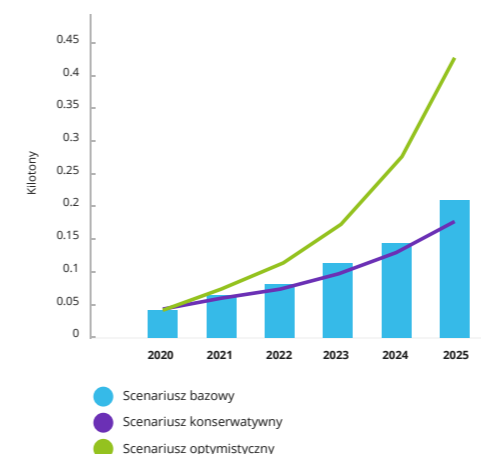


Grafen

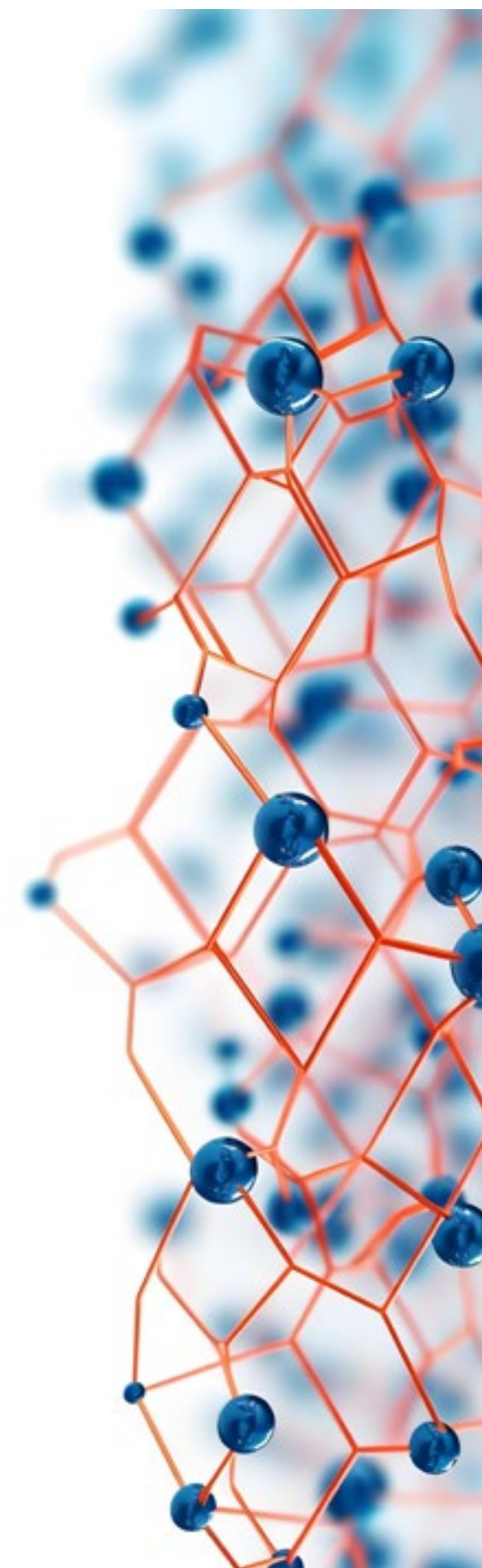
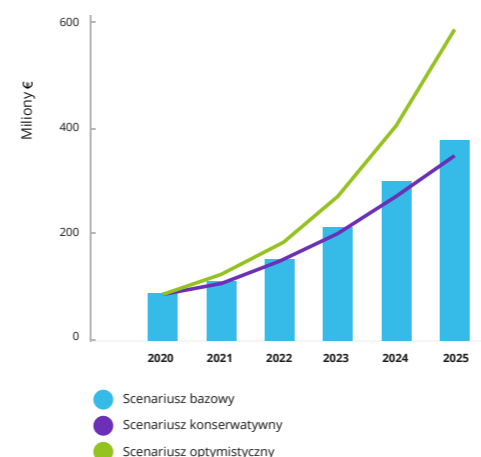
Rynek grafenu jest najprawdopodobniej najbardziej dynamiczny na tle pozostałych nanomateriałów węglowych. Rosnące zainteresowanie grafenem w ostatnich latach jakie można było zaobserwować jest tego dowodem. Ogromna kwota inwestycji (1 miliard Euro) została przekazana ze środków europejskich w celu komercjalizacji grafenu. W wyniku tych inwestycji Europa jest aktualnie liderem, jeżeli chodzi o rynek grafenu, jednak inne regiony także dynamicznie się rozwijają w tym kierunku, a szczególnie rynek azjatycki (Chiny, Japonia, Korea Płd.).

W 2020 roku Europejski rynek grafenu został oszacowany na 40 ton, co odpowiada 92.9 milionom Euro.

Wykres 8. Oszacowanie europejskiego rynku grafenu w kilotonach na lata 2021 - 2025.



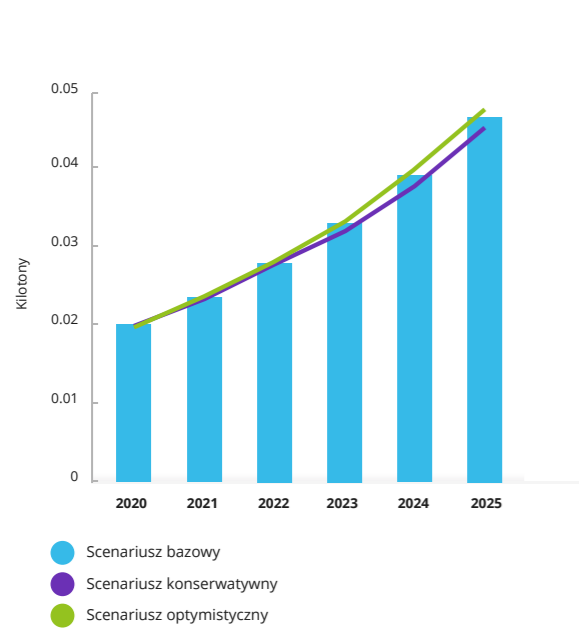
Wykres 9. Oszacowanie wartości europejskiego rynku grafenu na lata 2021 - 2025.



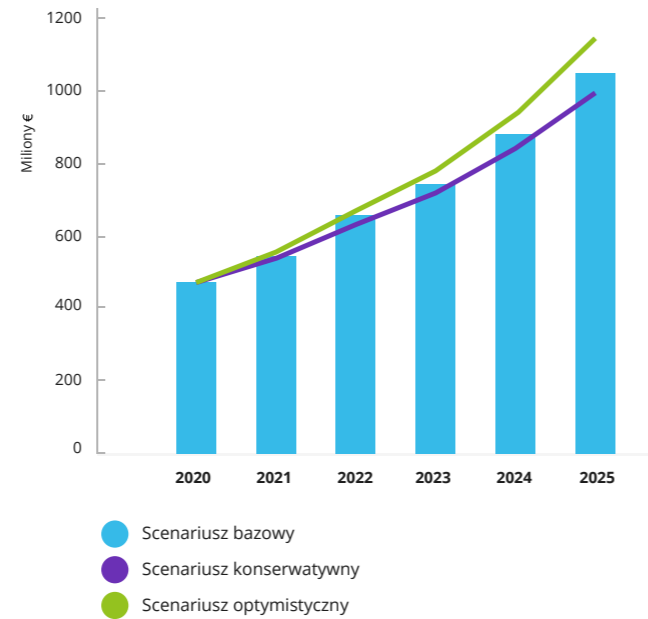
Fulereny

W przypadku fulerenów można przewidzieć pewien potencjał rozwoju, choć może być on nieco mniejszy niż w przypadku innych nanomateriałów. Niemniej jednak, fulereny cechuje wyższy poziom stabilności.

Wykres 10. Oszacowanie europejskiego rynku fulerenów w kilo-tonach na lata 2021 - 2025.

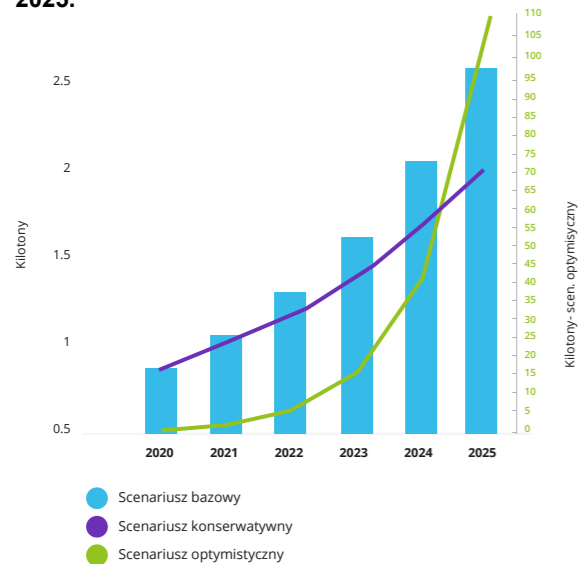


Wykres 11. Oszacowanie wartości europejskiego rynku fulerenów na lata 2021-2025.

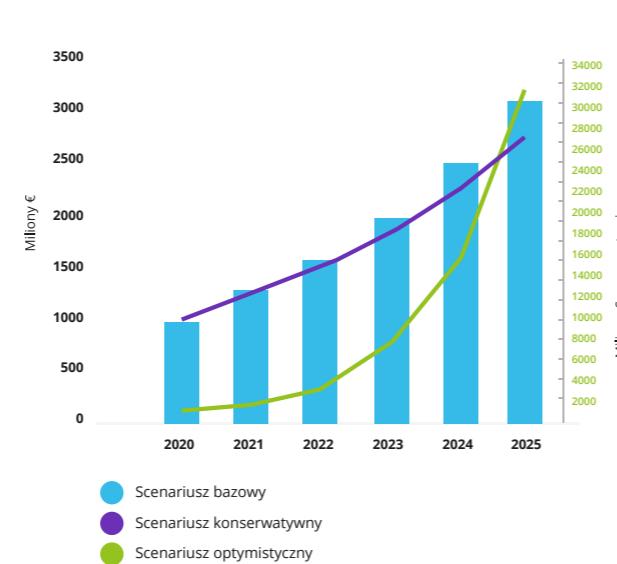


Obserwujemy prognozowany wzrost produkcji i wartości rynku podstawowych nanomateriałów węglowych wytwarzanych w Europie. Według dostępnych danych, całkowity wzrost wartości rynku wynosi co najmniej 2,283 miliarda euro. Możemy także oszacować ogólny rozwój rynku europejskich nanomateriałów węglowych na podstawie danych podsumowanych na wykresach 12 i 13, które zostały przedstawione poniżej:

Wykres 12. Oszacowanie europejskiego rynku nanomateriałów węglowych w kilotonach na lata 2021 - 2025.



Wykres 13. Oszacowanie wartości europejskiego rynku nanomateriałów węglowych na lata 2021-2025.

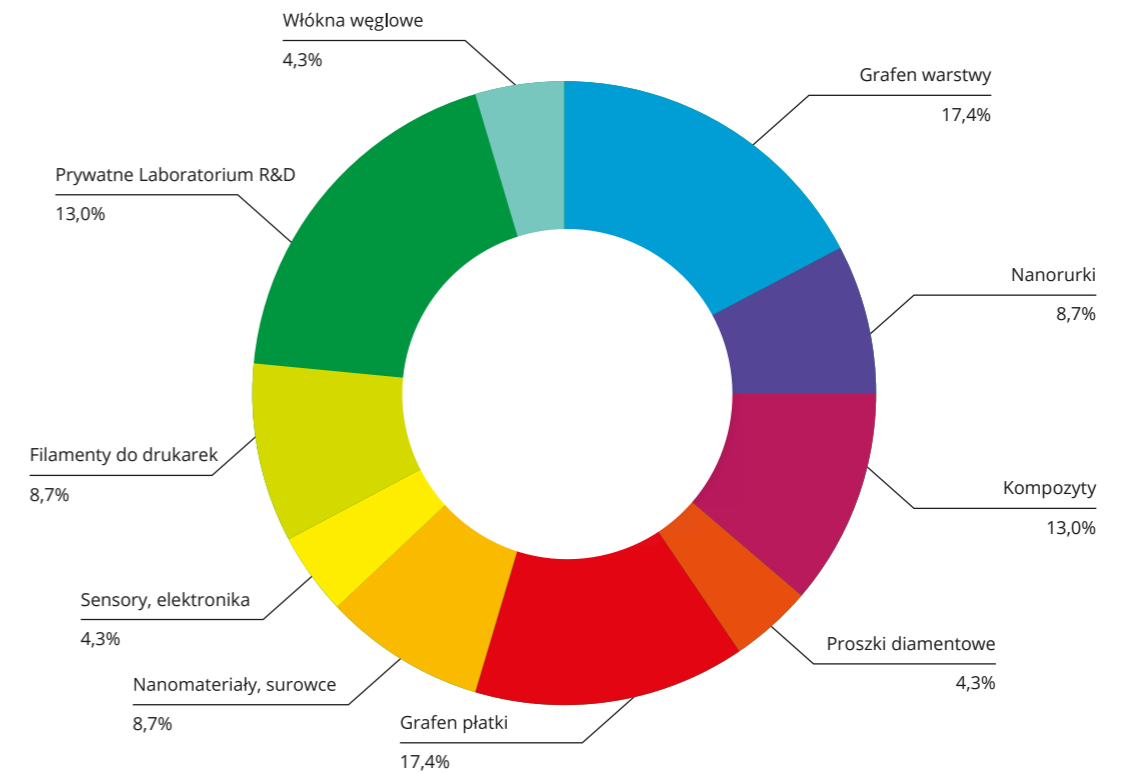


Scenariusz optymistyczny przewiduje niezwykle dynamiczny wzrost, głównie z uwagi na oczekiwany rozwój rynku nanorurek węglowych.

Wielkość i charakterystyka Polskiego rynku technologii węglowych.

W Polsce, w pierwszym kwartale 2023 funkcjonowało ok. **90 spółek** rozwijających działalność i prowadzących projekty z wykorzystaniem lub przy wsparciu technologii opartych o różne formy węgla i nanowęgla. Spośród tych przedsiębiorstw, **tylko 20 specjalizuje się bezpośrednio w obszarze węgla pierwiastkowego** i rozwija technologie i innowacji w tym zakresie. Są to głównie małe i średnie przedsiębiorstwa oraz start-upy.

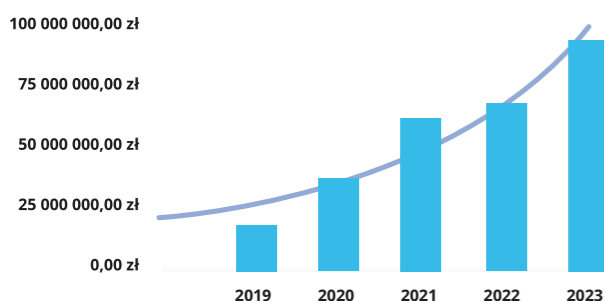
Wykres 14. Obszary zainteresowań Polskiego przemysłu technologii węglowych, 2023



źródło: Kanaly informacyjne poszczególnych spółek.

Z uwagi na charakterystykę projektów R&D, większość firm skupia się wokół branży wytwórczej - produkując chemiczne surowce np. grafen warstwowy, płatki grafenu, nanorurki węglowe, nanoproszki, proszki węgla itp. Chociaż część z przedsiębiorstw koncentruje się jedynie na produkcji surowców, znaczna większość otwarcie szuka i rozwija projekty R&D oparte o własne, często unikatowe, metody wytwarzania materiałów węglowych. Najczęściej znajdujące zastosowanie są materiały grafenowe, często wykorzystywane w produkcji kompozytów, filamentów do druku, materiałów konstrukcyjnych czy w dedykowanych projektach R&D skupiających się na elektronice i zastosowaniach high-tech.

Wykres 15. Polski rynek technologii węglowych i nanowęglowych.



źródło: dane PARP oraz informacji finansowych publikowanych na kanałach informacyjnych poszczególnych spółek. *dane z 2023 roku oparte są o informacje z pierwszego kwartału 2023.

Biorąc pod uwagę wycenę firm i skalę rozwijanych projektów, wielkość Polskiego rynku technologii węglowych i nanowęglowych w pierwszym kwartale 2023 r. szacowana jest na ok. 80mln zł z wykładniczym trendem wzrostowym sugerującym dalszy dynamiczny wzrost w latach 2024- 2030.

Polski grafen - koncepcja marketingowa zapoczątkowana w 2011 roku spin-offem Instytutu Technologii Materiałów Elektronicznych (ITME) - spółką Nano Carbon. Rozgłos medialny wzbudził przekonanie o spodziewanym światowym sukcesie polskiej technologii i polskiej produkcji grafenu warstwowego. Niestety z uwagi na brak funduszy na R&D oraz ze względu na niegospodarność², Nano Carbon ogłosiło upadłość w 2019 roku, kończąc grzebiąc przy okazji nadzieje na "polski grafen" oraz weryfikując marzenia o globalnym przywództwie w światowym wyścigu po grafen.

Co ciekawe, w 2023 roku polski grafen ma się całkiem dobrze, a lista producentów grafenu warstwowego nie jest krótka. Co równie ważne, jakość dostarczanych produktów jest na najwyższym światowym poziomie:

• **Advanced Graphene Products** - spółka akcyjna, od 2012 roku specjalizuje się w wytwarzaniu i sprzedaży

grafenu warstwowego syntezowanego na podstawie autorskiej metody produkcji oraz grafenu płatkowego. Produkowany grafen znajduje zastosowanie m.in. w kompozytach polimerowych (np. filamenty do druku 3D, powłoki lub materiały konstrukcyjne).

• **BeeGraphene** - startup działający od 2020 roku. Zajmuje się syntezą grafenu warstwowego na potrzeby zastosowań w elektronice i optoelektronice. Poza produkcją surowców grafenowych aktywnie działa w obszarze R&D związanym z grafenem warstwowym.

• **Nanoemi** - firma zajmująca się syntezą grafenu warstwowego i płatkowego, skoncentrowana na opracowywaniu nowych materiałów i kompozytów 2D do wydajnego ekranowania promieniowania elektromagnetycznego. NanoEMI to startup ukierunkowany na rozwiązanie problemu zakłóceń elektromagnetycznych (EMI) lub kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) urządzeń.

Część przedsiębiorstw związanych z materiałami i nanomateriałami węglowymi skupia się na **syntezie i produkcji surowców węglowych** takich jak płatki grafenu w postaci proszku lub zawiesiny, nanorurki węglowe czy cząstki lub nanocząstki grafitu, diamentu lub węgla amorficznego.

Warte uwagi przedsiębiorstwa:

Smart Nanotechnologies, Spektrochem, 3D-Nano (pośrednik materiałów węglowych niemieckiej spółki Plasmachem).

Odrębną gałęzią rynku węglowego jest **rynek włókien węglowych i kompozytów na bazie włókna węglowego**. Konwencjonalne i szeroko dostępne rozwiązania technologiczne pozwoliły na rozwój przedsiębiorstw produkcyjnych i wytwórczych dostarczających materiały kompozytowe na zamówienie klienta. Z uwagi na relatywną dojrzałość rynku włókien węglowych przedsiębiorstwa operujące w tym obszarze zazwyczaj są bardziej rozwinięte i skupione na sprzedaży i dopiero w mniejszym stopniu na projektach badawczo-rozwojowych. Produkowane w Polsce kompozyty na bazie włókien węglowych znajdują zastosowanie w projektach i realizacjach w branży automotive, lotniczej, konstrukcyjnej czy budowlanej.

Warte uwagi przedsiębiorstwa:

TMBK, Sinograf, Carbon Center, Trigger Composites, Dexcraft.

Jednym z czynników wpływających na dynamikę i wzrost innowacji na rynku węglowym jest **otwartość i dostępność ekosystemu start-upowego, biznesowego i naukowego** wspierającego rozwój nowych technologii i ambitnych projektów. Niemal każde polskie miasto lub region, w którym rozwijana jest nauka o materiałach węglowych (np. poprzez uczelnie jak Uniwersytet Warszawski, Politechnika Śląska, Uniwersytet Śląski,

Politechnika Łódzka, Akademia Górniczo-Hutnicza czy Uniwersytet Jagielloński, Instytuty Sieci Badawczej Łukasiewicza, a także instytuty Polskiej Akademii Nauk – Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych, Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych) oferuje dostęp do takiego ekosystemu.

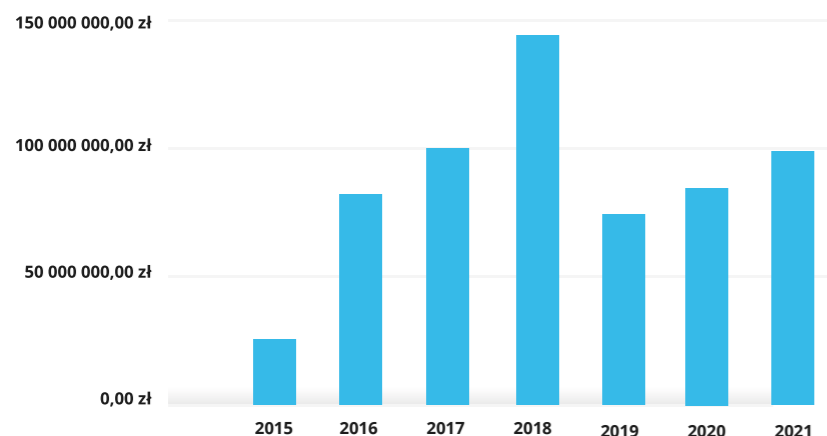
Interesującym przykładem jest Nanores, studio start-upów specjalizujące się we wsparciu technologii i biznesu opartego o rozwiązania nanotechnologii. W swoim portfolio uruchomionych start-upów, aż 3 z 7 inicjatyw skupia się wokół wykorzystania technologii węglowych w projektach o łącznej wartości 16 mln zł.

(Źródło: Kanały informacyjne poszczególnych spółek).



Nakłady R&D

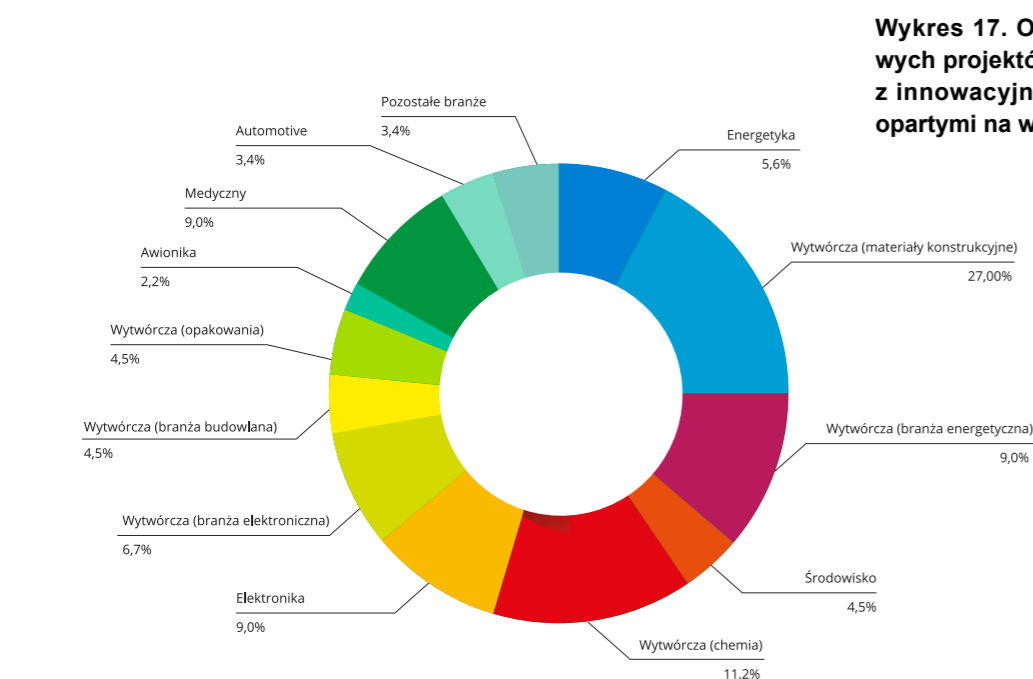
Na podstawie danych Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości (PARP), Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) oraz danych statystycznych publikowanych na kanałach informacyjnych poszczególnych spółek, wartość na kładów R&D na rozwój technologii węglowych wyniósł ok. 100 mln zł w 2021 roku.



Wykres 16. Nakłady R&D na rozwój technologii węglowych.

źródło: opracowanie własne na podstawie danych na temat realizowanych projektów z Funduszy Europejskich Ministerstwa Funduszy i Polityki Regionalnej z 2014-2020 roku oraz NCBR i PARP

Przedsiębiorstwa rozwijające projekty R&D z wykorzystaniem funduszy UE działają głównie w branżach wytwórczych (łącznie 62.9% przedsiębiorstw) - rozwijając metody produkcji surowców węglowych i nanowęglowych lub ich kompozytów dla wykorzystania w materiałach konstrukcyjnych, w branży elektronicznej, energetycznej, chemicznej czy budowlanej. Znacznie mniejszy odsetek (33.7% przedsiębiorstw) skupia się na bezpośrednich pracach badawczo-rozwojowych wdrażających produkty oparte o materiały węglowe lub ich kompozyty w zastosowaniach high-tech takich jak elektronika, awionika, automotive, energetyka, medtech (medycyna, protetyka i narzędzia medyczne) czy cleantech (ochrona środowiska). Ogólnie, materiały do zastosowań konstrukcyjnych, surowce chemiczne, elektronika i zastosowania medyczne to największy obszar zainteresowań Polskich, przemysłowych projektów R&D.

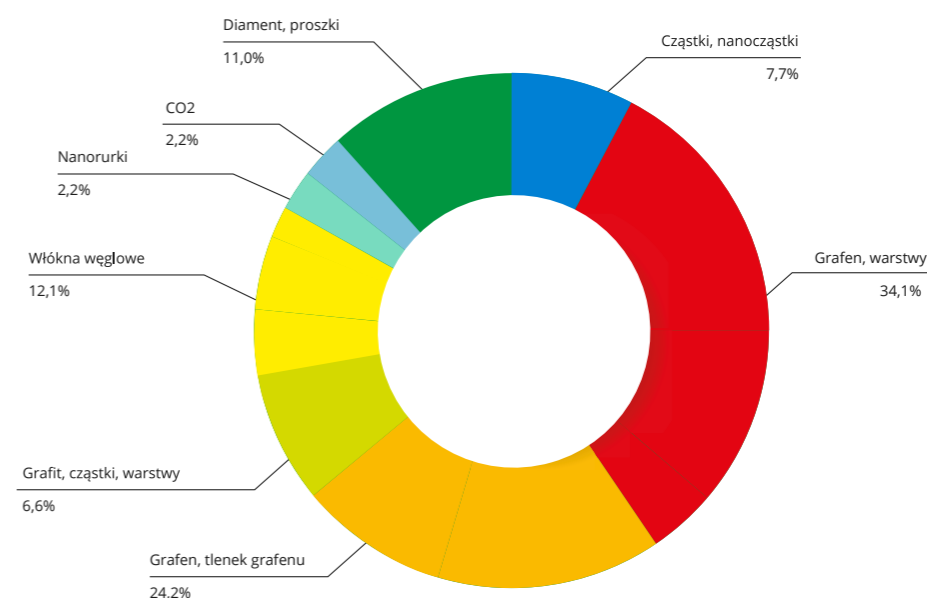


Wykres 17. Obszary przemysłowych projektów R&D związanych z innowacyjnymi technologiami opartymi na węglu.

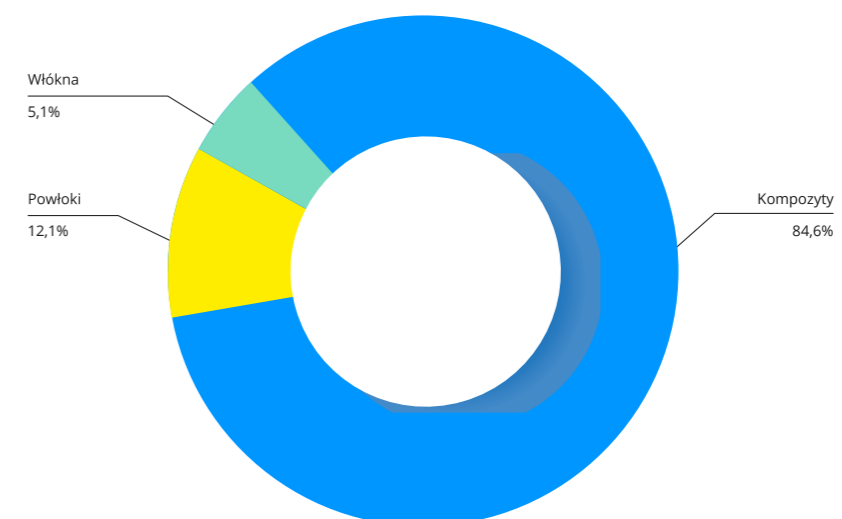
źródło: Opracowanie własne na podstawie danych realizowanych projektów z Funduszy Europejskich Ministerstwa Funduszy i Polityki Regionalnej z 2014-2020

Znaczna większość projektów R&D rozwija technologie i zastosowania grafenu warstwowego (34.1%) oraz płatkowego, w postaci proszku (24.2%) jako dodatku do materiałów kompozytowych. Co ciekawe, duża ilość projektów wykorzystuje innowacje związane z włóknami węglowymi (12.1%), po- włókami lub proszkami diamentowymi (11%) oraz cząstkami lub nanocząstkami węgla (7.7%) i grafitu (6.6%). Znaczna ilość projektów wykorzystuje węgiel i nanowęgiel jako dodatki do materiałów kompozytowych (84.6%) w celach wytworzenia materiałów funkcjonalnych o polepszonych własnościach mechanicznych, elektrycznych lub chemicznych. Przykładami kompozytów z dodatkami węgla są m.in. polimerowe filamenty do druku 3D, rury wzmacniane włóknami węglowymi, materiały ceramiczne z dodatkiem grafitu lub grafenu.

Wykres 18. Forma węgla lub nanowęgla rozwijana w projektach R&D



Wykres 19. Postać materiałów węglowych najczęściej rozwijana w projektach R&D



źródło: Opracowanie własne na podstawie danych realizowanych projektów z Funduszy Europejskich Ministerstwa Funduszy i Polityki Regionalnej z 2014-2020

Reasumując, Polski rynek technologii węglowych i nanowęglowych jest na względnie wczesnym stadium rozwoju. Firmy skupiają się w pierwszej kolejności na wejściu na rynek rozwijając metody syntezy/produkcji materiałów węglowych, które mogą przynieść bezpośredni zysk. Głównymi odbiorcami są tutaj instytuty badawcze i uczelnie pracujące nad badaniem nowoczesnych materiałów, oraz przedsiębiorstwa rozwijające wachlarz produktowy przez projekty R&D.

Kolejnym priorytetem pracy Polskich firm węglowych i nanowęglowych są projekty R&D skupione wokół wykorzystania syntezowanego materiału i produkcji nowych innowacji i wynalazków, które w przyszłości mogą być nowym produktem lub usługą. Ogromne nakłady na badania i rozwój dowodzą atrakcyjności polskich technologii węglowych, szerokiej świadomości na temat ich wykorzystania oraz rosnącego potencjału.

Rynek materiałów węglowych w poszczególnych regionach świata.

Azja

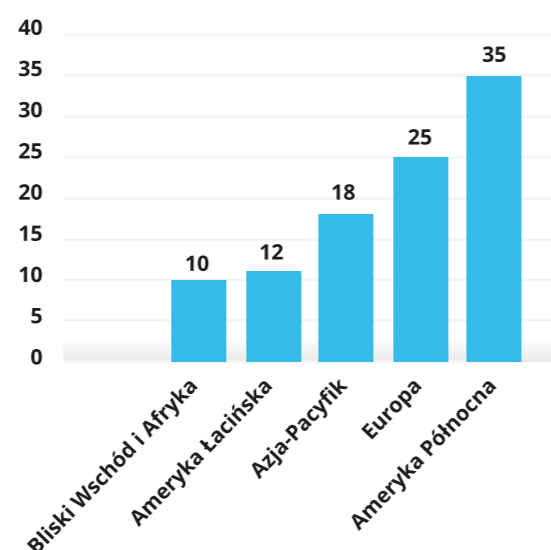
Bardzo szybko rozwijającym się rynkiem jest rynek dalekiego wschodu – chodzi przede wszystkim o kraje takie jak Chiny, Japonia, Indie, Korea Południowa, ale także Australia i Nowa Zelandia. Jest to bezpośrednio związane z wysokim popytem na nanomateriały do produkcji elektroniki w Chinach, która w różnych produktach trafia do konsumentów na całym świecie. Duża ilość nanomateriałów węglowych jest produkowana na potrzeby branży samochodowej (automotive), gdzie Chiny są jednym z wiodących producentów. Według szacunków Boeing'a, Chiny potrzebują ponad 8000 nowych samolotów do 2038 r. co ma bezpośrednie przełożenie na rosnący popyt na nanorurki węglowe, już dziś stosowane w produkcji m.in. kadłubów samolotów, czy łopatek silników lotniczych. Azja jest zdecydowanym liderem, jeżeli chodzi o produkcję nanorurek węglowych (źródło: <https://inkwoodresearch.com/reports/asia-pacific-carbon--nanotubes-market/>).

W innych państwach należących do tego obszaru zapotrzebowanie na nanomateriały węglowe takie jak nanorurki też będzie rosło wraz z rozwojem sektorów je wykorzystujących.

Ameryka Północna

Bezpośrednio z rynkiem azjatyckim konkuruje Ameryka Północna. Według niektórych źródeł, jest ona aktualnie nawet większym producentem nanorurek węglowych niż region Azji i Pacyfiku. Zgodnie z raportem Precedence Research w 2022 roku w Ameryka Północna miała udział w wysokości 35% całego rynku nanorurek węglowych. Według tych prognoz rynek azjatycki jednak szybko przegoni pozostałe, ze względu na wzrost produkcji w działach elektronicznych

Wykres 20. Udział w rynku nanorurek węglowych według regionu



Analizy rynkowe wyceniają światowy rynek grafenu na wartość ok. 180 mln USD w 2022 i szacuje się, że w latach 2023-2030 będzie rósł przy złożonej stopie wzrostu (CAGR) wynoszącej 46,6%. Oczekuje się, że rozwój rynku będzie możliwy dzięki rosnącemu przemysłowi elektronicznemu w gospodarkach wschodzących oraz rozwojem zastosowań kompozytowych grafenu. Znaczny wzrost zapotrzebowania na grafen przewidywany jest również wśród ośrodków badawczych i międzynarodowych centrów badawczo-rozwojowych.

Region Azji i Pacyfiku jest największym rynkiem, którego przychody wyniosły 67,8 mln USD w 2022 r. Jest to również najszybciej rozwijający się region z przewidywanym CAGR na poziomie 51% do 2030. Region ma szansę stać się kluczowym twórcą popytu w obszarze grafenu ze względu na obecność dużej liczby producentów i odbiorców materiału.

Chiny według szacunków osiągną CAGR na poziomie 60,9%, co związane jest z wprowadzeniem rządowego programu wsparcia inwestycji w sektorze produkcyjnym. Europa osiągnęła w 2022 r. przychody w branży grafenu w wysokości 48,1 mln USD. (<https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/graphene-industry>)





3.2 Analiza patentowa materiałów węglowych, w tym wskazanie liderów i miejsca Polski.

Zgłoszenia patentowe są ważnym wskaźnikiem obrazującym poziom zaawansowania R&D i mają duże znaczenie w rozwoju technologii opartych na węglu i jego różnych wariantach w skali nano. Stanowią one nie tylko dowód na kreatywność i odkrycia, ale również są istotnym narzędziem w ochronie praw własności intelektualnej. Analiza zgłoszeń patentowych z ostatniej dekady pokazuje, że rośnie zainteresowanie węglem i jego wariantami oraz wzrasta liczba odkryć i innowacji w tej dziedzinie. Kluczowe kraje, takie jak USA, Chiny, Japonia, Niemcy, Francja i Korea, są pionierami w zgłoszeniach patentowych dotyczących węgla, co świadczy o ich zaangażowaniu w rozwój tej dziedziny.



ANALIZA

Geopolityka odgrywa znaczącą rolę w kształtowaniu się konkurencji i współpracy między krajami w dziedzinie nanomateriałów węglowych. USA i Chiny, jako dwie największe gospodarki świata, konkurują o przewagę technologiczną i innowacyjność w tej dziedzinie. Współzawodnictwo to może prowadzić do zwiększenia inwestycji w badania i rozwój oraz przełożyć się na większą liczbę patentów.

USA do 2016 roku odgrywała wiodącą rolę pod względem liczby patentów w dziedzinie nanomateriałów węglowych. Od 2017 roku pomimo liczby patentów utrzymujących się na wysokim poziomie przestały być pionierem ustępując miejsca Chinom, które, rosna na znaczeniu i zaczynają dominować jako kluczowy gracz w dziedzinie nanomateriałów węglowych. Liczba patentów wzrosła znacząco od 2014 do 2022 roku. Choć odnotowano pewien spadek w ostatnich latach, Chiny stały się czołowym graczem w zakresie patentów związanych z nanomateriałami węglowymi, co świadczy o ich dynamice rozwoju i innowacyjności.

Niemcy i Francja utrzymują stabilną liczbę patentów na stosunkowo niskim poziomie w badanych latach. Mimo niewielkich fluktuacji, utrzymują swoją obecność w dziedzinie nanomateriałów węglowych.

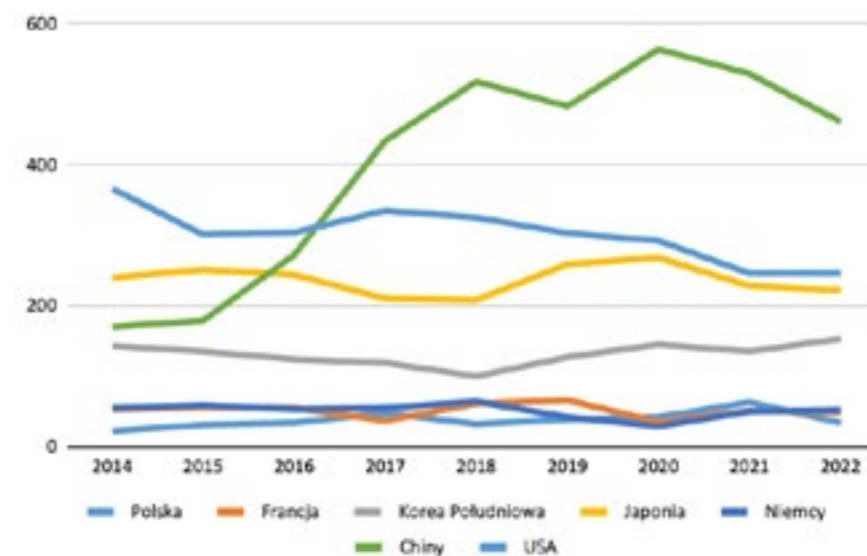
Japonia i Korea Południowa mają stałą liczbę patentów, choć z pewnymi wahaniami w badanych latach. Wydaje się, że oba kraje utrzymują swoje pozycje, jednak nie osiągają takiej skali jak USA i Chiny. Trzeba jednak odnotować, że liczba patentów jest wyraźnie wyższa niż w przypadku liderów europejskich.

Polska pozostaje nieco w tyle względem europejskich liderów. Liczba patentów oscyluje wokół 30-40 na przestrzeni badanych lat, z jednym wyjątkiem w 2021 roku, gdzie odnotowano wzrost do 63 patentów.

Wzrost liczby patentów w Chinach do 2018 roku może być częściowo wynikiem wcześniejszych inwestycji w badania i rozwój nanomateriałów, z którą pandemia COVID-19 wybuchła. Następnie, spadek liczby patentów od 2019 roku może odzwierciedlać skutki pandemii, takie jak ograniczenia w dostępie do zasobów, przerwane projekty badawcze czy ograniczenia w międzynarodowej współpracy.

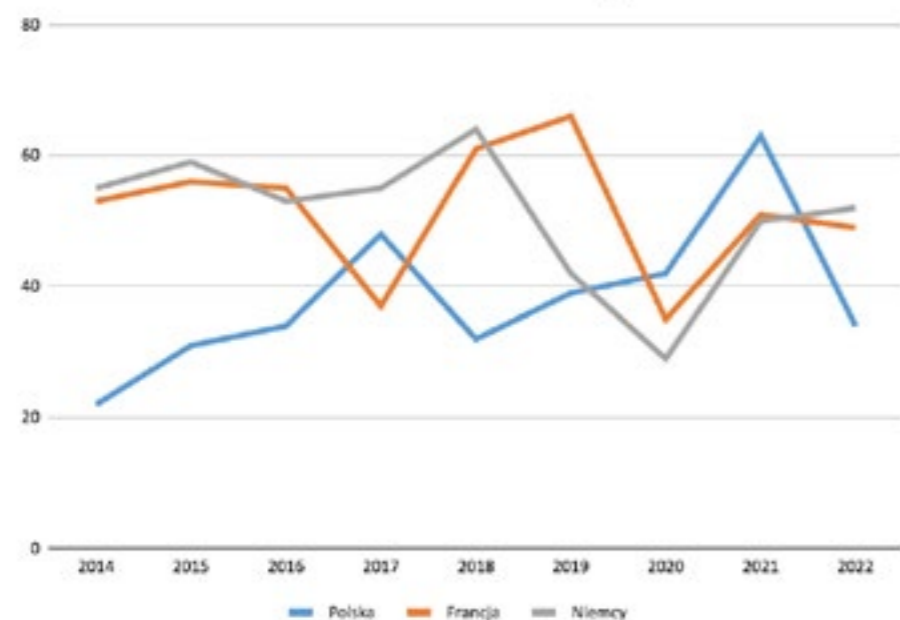
W przypadku Polski, niska liczba patentów związanych z nanomateriałami węglowymi może wynikać z mniejszej skali inwestycji i zaangażowania w badania naukowe i rozwój tej dziedziny.

Wykres 21. Liczba patentów w poszczególnych państwach w latach 2014-2023



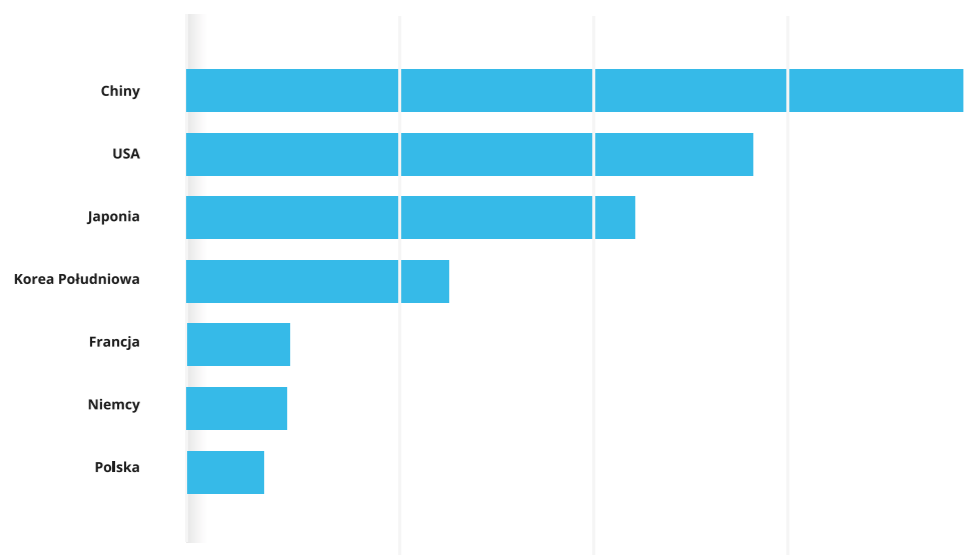
źródło: opracowanie własne na podstawie danych Patentscope

Wykres 22. Liczba patentów w Polsce na tle Niemiec i Francji



źródło: opracowanie Nanonet na podstawie danych Patentscope

Wykres 23. Liczba patentów w latach 2014-2023



3.3 Aplikacje technologii węglowych.

Nanotechnologia w ciągu ostatniej dekady doświadczyła niezwykłego postępu, przynosząc szeroki zakres zastosowań w różnych sektorach gospodarki. Jednym z najbardziej fascynujących i niezwykłych aspektów tego postępu jest rozwój zastosowania alotropowych form węgla takich jak nanorurki węglowe, grafen, tlenek grafenu, fullereny. Fizyko-chemiczne właściwości tych materiałów m.in. przewodnictwo, powierzchnia, aktywność elektryczna, wytrzymałość, rozciągliwość i wiele innych sprawiają, że stały się uosobieniem „cudownych materiałów”. Jakże konkretnie zastosowania znajdują lub mogą znaleźć w najbliższej przyszłości nanomateriały?

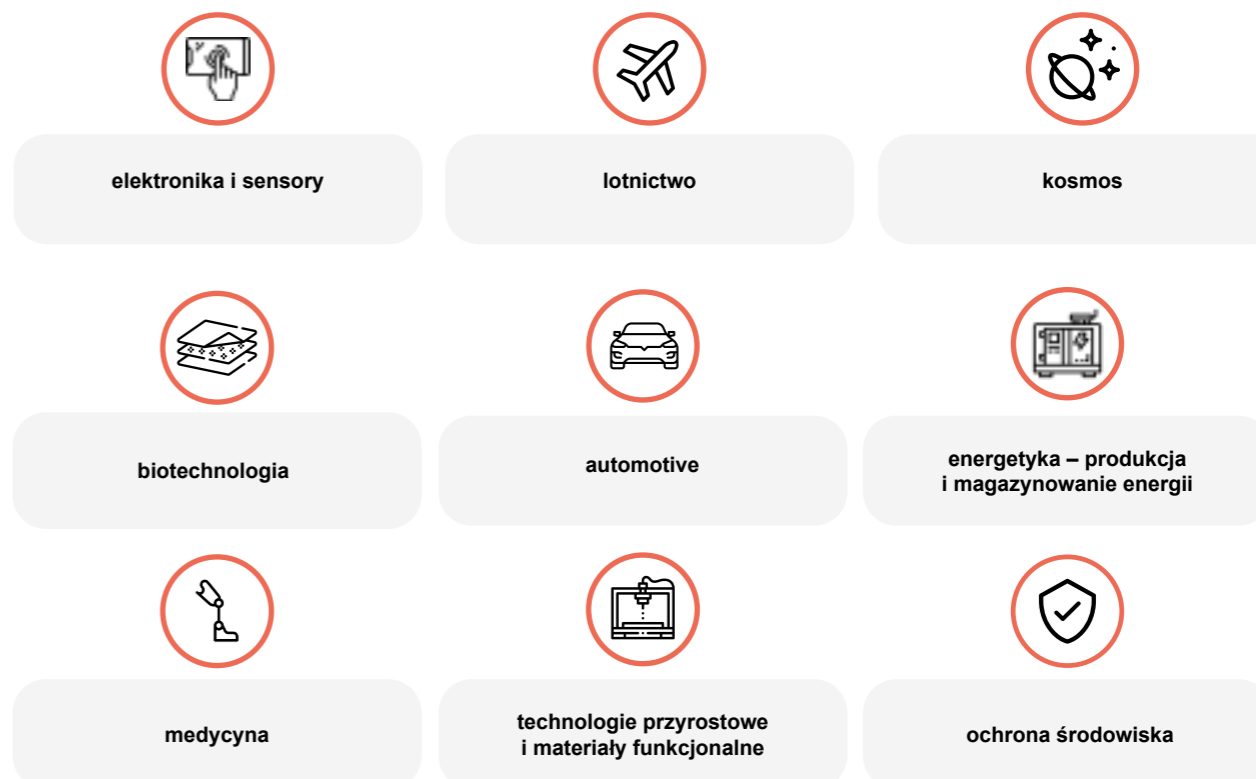


Materiały węglowe wykazują potencjał do zastosowania w wielu dziedzinach, co sprawia, że stanowią obiekt zainteresowania zarówno jednostek naukowych, jak i przemysłu. Przykładowe obszary, w których nanomateriały węglowe mają potencjał do zastosowania to m.in. branża elektroniki i sensorów (produkcja wydajnych układów elektronicznych, sensory do detekcji gazów), lotnictwie i kosmosie (produkcja lekkich i wytrzymałych konstrukcji), biotechnologii (dostarczanie leków, diagnostyka), automotive (powłoki antykorozyjne, wzmacniane materiały konstrukcyjne), energetyce do produkcji i magazynowania energii (panele fotowoltaiczne, baterie), medycynie (dostarczanie leków, terapia nowotworów), ochronie środowiska (oczyszczanie wody i powietrza), technologiach przyrostowych i materiałach funkcjonalnych (elektronika drukowana, produkcja materiałów o określonych właściwościach).

Warto jednak podkreślić, że wiele z tych zastosowań stanowi przedmiot prac badawczych i nie doczekało się jeszcze wdrożenia w dużej skali. Perspektywy dla rozwoju aplikacji nanomateriałów węglowych są szerokie i w ciągu najbliższej dekady mają szansę zmienić naszą codzienność.

W dalszej części przyjrzymy się wybranym zastosowaniom poszczególnych materiałów węglowych, co pozwoli lepiej zrozumieć, jak są wykorzystywane w różnych dziedzinach przemysłu.

Zastosowanie materiałów opartych na węglu



NANORURKI WĘGLOWE



Nanorurki węglowe to materiały o właściwościach hydrofobowych, które cechują się niejednorodnym rozpręstrzeniem się w środowiskach biologicznych jednak nadanie odpowiednich cech ich powierzchni może przewyciężyć to ograniczenie. Pod wpływem czynników utleniających, tworzą powierzchnie karboksylowane. Karboksylowane materiały CNT są równomiernie rozproszonymi i biokompatybilnymi materiałami, które można napełniać lekami.

Wielowarstwowe nanorurki węglowe (MWCNT) po zmodyfikowaniu (poprzez przyłączenie cząsteczek PEG (polietylenoglikolu)) uzyskują wyższą stabilność w środowisku biologicznym i wyższą tolerancję organizmu. Dzięki temu mogą być stosowane do celowanego dostarczenia leków w bardzo precyzyjnie wskazane miejsca organizmu.

Innym podejściem badawczym jest wykorzystanie jednościennej nanorurki węglowej (SWCNT) modyfikowanych przy użyciu polimeru. Ten kierunek badań daje potencjał do wykorzystania nanorurek do precyzyjnego podawania leków np. przeciwnowotworowych.

Badane są różne metody wykorzystywania nanorurek węglowych jako nośnika leków w terapiach i obrazowaniu chorób nowotworowych przez zespoły badawcze na całym świecie. Prace skupiają się na opracowaniu biokompatybilnych, nietoksycznych nanocząstek, które zapewnią bezpieczeństwo nowych metod leczenia nowotworów. Dzięki tym badaniom istnieje nadzieja na rozwinięcie metod terapii nowotworów, które będą bardziej efektywne i mniej inwazyjne dla pacjentów.

Utlenienie nanorurek węglowych za pomocą kwasu azotowego i siarkowego, a następnie pokrycie ich cząstkami tlenku żelaza nadaje im właściwości magnetycznych. Dzięki temu nanorurki mogą reagować na pole magnetyczne.

Ta właściwość jest przedmiotem badań nad zastosowaniem magnetycznych nanorurek w biomedycynie. Trwają prace nad zastosowaniem nanorurek do celowanego usuwania komórek nowotworowych za pomocą zewnętrznego pola magnetycznego. Naukowcy z Politechniki Łódzkiej opracowali metodę niszczenia rozsianych komórek nowotworowych jelią grubego oraz urządzenia do nagrzewania komórek falą elektromagnetyczną. Jednakże wprowadzenie tej techniki na rynek konieczne jest przeprowadzenie kosztownych i wieloletnich testów, w tym badań klinicznych.

Przykłady pokazują, że wykorzystanie nanorurek węglowych w różnych formach i modyfikacjach może być obiecującą strategią w dostarczaniu leków dla różnych problemów zdrowotnych. To otwiera nowe perspektywy dla skuteczniejszych terapii, które mogą zapewnić większą celowość i kontrolę w zwalczaniu chorób, a także ograniczyć potencjalne skutki uboczne terapii.

Oczyszczanie wody

Specjalna i stabilna porowata struktura nanorurek węglowych ma szeroki zakres potencjalnych zastosowań w zakresie oczyszczania wody, a zwłaszcza adsorpcji np. metali ciężkich, antybiotyków, ropy naftowej w środowisku wodnym.

Dzięki swoim właściwościom adsorpcyjnym nanorurki są stosowane jako membrany do oczyszczania i usuwania zanieczyszczeń. Filtry zawierające CNT mogą skutecznie zatrzymywać i dezaktywować bakterie i wirusy. CNT można również stosować do usuwania środków powierzchniowo czynnych.

Weterynaria

Przykładem badań nad wykorzystaniem nanorurek w weterynarii są prace chińskich naukowców opublikowane w American Society for Microbiology dotyczące opracowania metody celowanego dostarczenia leków przeciwwirusowych.

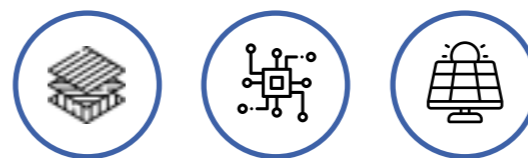
Wirusowa choroba martwicy nerwów, atakuje ośrodkowy układ nerwowy ryb. Dostęp do tej chorej tkanki za pomocą leków stanowi duże wyzwanie techniczne. W celu zwiększenia skuteczności dostarczania leków, naukowcy skonstruowali specjalny system oparty na nanorurkach węglowych.

To odkrycie otwiera nowe perspektywy w walce z wirusowymi chorobami nerwów u ryb. Prace prowadzone przez chińskich naukowców potwierdziły skuteczność terapii dla zainfekowanej tkanki nerwowej. Ta innowacyjna metoda może przyczynić się do ochrony populacji ryb i wspomóc hodowców ryb w zapobieganiu szerzeniu się wirusowych infekcji.

Nośniki szczepionki

CNT zostały również z powodzeniem wykorzystane do zwiększenia skuteczności szczepionki kąpielowej młodych osobników goryczki perłowej przeciwko irydowirowi. Skuteczność genów immunologicznych została poprawiona dzięki zastosowaniu CNT jako nośnika szczepionki.

GRAFEN



Elastyczne tranzystory grafenowe

Tranzystory oparte na grafenie to rewolucyjne urządzenia jednoelektronowe, działające na skali nanometrycznej, które pozwalają na przepływ tylko jednego elektronu na raz. Już od samego początku swojego istnienia, tranzystory te przyciągały ogromne zainteresowanie. Obecnie są szeroko dostępne na rynku i znalazły swoje miejsce w codziennych zastosowaniach.

Główną zaletą tranzystorów na bazie grafenu jest ich łatwość obsługi w temperaturze pokojowej, a także możliwość działania przy niskim napięciu przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej czułości. Te właściwości czynią je bardziej efektywnymi niż tradycyjne tranzystory krzemowe i przyczyniają się do rozwoju technologii mikroczipów. Dzięki swojej niezwyklej elastyczności, tranzystory na bazie grafenu posiadają nieograniczone możliwości adaptacji do różnych warunków i zastosowań. Ruch elektronów przez grafen odbywa się z niebywałą prędkością, która jest nawet 1000 do 10 000 razy większa niż w przypadku tradycyjnego krzemu.

Tranzystory na bazie grafenu mają ogromny potencjał do rewolucjonizowania przemysłu. Ich unikalne właściwości sprawiają, że stanowią kluczowy element w rozwoju nowoczesnych technologii, które będą miały ogromne znaczenie dla przyszłości cyfrowego świata. Prace nad komercyjnym zastosowaniem grafenowych tranzystorów są prowadzone przez liderów branży – firmy takie jak Samsung, czy TSMC.

Baterie grafenowe

Od ponad siedemdziesięciu lat na rynku dostępne są różnego rodzaju baterie, w tym baterie litowo-siarkowe, charakteryzujące się wysokim kosztem produkcji oraz krótkim okresem użytkowania.

Aby rozwiązać te wyzwania, naukowcy opracowali rozwiązania wykorzystujące grafen w konstrukcji zarówno anody (elektrody, do której kierowany jest prąd), jak i katody (elektrody, z której wypływa prąd) różnych typów baterii. Dzięki temu można zwiększyć wydajność baterii oraz częstotliwość cykli ładowania i rozładowania. Grafen, z uwagi na swoją doskonałą przewodność elektryczną, wysoki współczynnik kształtu oraz zdolność do efektywnego rozpraszania cząstek, przewyższa tradycyjne materiały stosowane w katodach i jest często wykorzystywany w bateriach litowo-jonowych litowo-siarkowych, superkondensatorach oraz innych komponentach

energetycznych. Dzięki zastosowaniu grafenu w bateriach, naukowcy mają nadzieję na stworzenie bardziej wydajnych i trwałych źródeł energii.

Baterie wykorzystujące grafen są opracowywane między innymi przez amerykańską firmę Hexalayer. Firma pracuje nad bateriami grafenowymi, które będą wykorzystywane w pojazdach autonomicznych, dronach czy samochodach elektrycznych.

Kolejnym producentem baterii wykorzystujących grafen jest firma NanoGraf (USA). Baterie tej firmy wykazują 50% wzrost czasu pracy w porównaniu z bateriami litowo-jonowymi, a także 25% spadek emisji dwutlenku węgla i połowę masy potrzebnej do zapewnienia takiej samej wydajności.

Wyświetlacze grafenowe

Grafen jest również doskonałym kandydatem do zastosowania w wyświetlaczach emisji elektronów (EED), z uwagi na wyjątkowo wysoki współczynnik kształtu, dzięki czemu już nawet niewielki dodatek grafenu prowadzi do wzrostu wytrzymałości na rozciąganie i zginanie. Badacze z Uniwersytetu Łódzkiego stworzyli wyświetlacz OLED (w którym za elektrodę służy warstwa grafenu z dodatkiem tlenku renu), które mogą okazać się dużym krokiem w kierunku stworzenia „plastycznej elektroniki”.

Warto zaznaczyć, że obecnie na rynku dostępne są wyświetlacze oparte na grafenie, dzięki którym możemy cieszyć się wyższą jakością obrazu, niższym zużyciem energii i zwiększoną trwałością. Przełomowe zastosowanie grafenu w EED wpływa na rozwój technologii, otwierając drzwi do kolejnych, jeszcze bardziej zaawansowanych rozwiązań w przyszłości.

Wśród firm, które pracują nad komercyjnym wykorzystaniem grafenu w elastycznych ekranach są potencjalni rywale – Samsung czy IBM. Pierwsza z nich bada możliwości zastosowania grafenu w produkcji bardziej trwałych i odpornych elastycznych ekranów. Z kolei IBM pracuje nad wykorzystaniem elastycznej elektroniki bazującej na grafenie w produkcji czujników i urządzeń medycznych.

Kompozyty strukturalne

Kompozyty strukturalne stanowią obszar, w którym grafen odgrywa coraz większą rolę. Jest on wykorzystywany szczególnie tam, gdzie jakość i masa są kluczowymi czynnikami, na przykład w przemyśle lotniczym. Dzięki dodaniu grafenu do wielu materiałów, można osiągnąć ich większą wytrzymałość, jednocześnie zachowując cienkość i lekkość.

Przemysł lotniczy rozwija technologie wykorzystujące właściwości grafenowych kompozytów. Materiały kompozytowe, które są znacznie lżejsze od stali, ale zapewniają

nawet wyższą wytrzymałość, stanowią kluczowy element oszczędności paliwa i obniżenia kosztów operacyjnych.

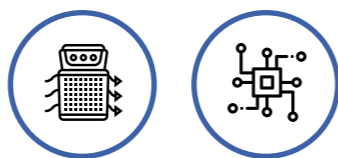
Podstawowe kompozyty oparte na grafenie posiadają ogromny potencjał do dalszego rozwoju i stworzenia alternatywy dla wielu obecnie stosowanych materiałów.

Przykładem próby wykorzystania grafenu w branży motoryzacyjnej jest projekt brytyjskiego producenta wyścigówek – firmy Briggs Automotive Company – BAC. Mono R to pierwszy na świecie samochód, w którym w każdym panelu nadwozia zastosowano w pełni włókno węglowe wzmocnione grafenem. Zastosowanie rewolucyjnego materiału poprawia właściwości strukturalne włókna, dzięki czemu panele są mocniejsze i lżejsze, a także mają ulepszone właściwości mechaniczne i termiczne.

Ciekawym przykładem wykorzystania grafenu w przemyśle motoryzacyjnym jest produkt polskiej firmy NanoSphere, która opracowała innowacyjną farbę antykorozyjną z dodatkiem grafenu. Farba ta znajduje zastosowanie w elementach układu przeniesienia napędu renomowanych producentów samochodów, m.in. BMW, Mini, Volkswagen. Do zabezpieczania półosi pojazdów.

Przykładowo, wykorzystanie grafenowych kompozytów może prowadzić do tworzenia nowoczesnych i zaawansowanych konstrukcji w sektorze motoryzacyjnym, energetycznym czy budowlanym.

FULERENY



Fulereny mają strukturę przypominającą piłkę nożną. Jego unikalna struktura odpowiada za jego interesujące właściwości fizyczne i chemiczne. Pod względem fizycznym cząsteczki te są niepolarne, mają kulistą strukturę i łatwo rozpuszczają się w rozpuszczalnikach aromatycznych, takich jak benzen czy toluen. Jeden z rodzajów fulerenów - C60 pozostaje w stałej formie przy temperaturze pokojowej i ciśnieniu atmosferycznym.

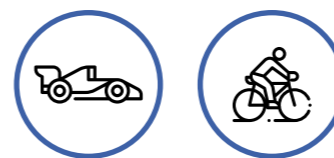
C60 jest również dobrym akceptorem elektronów zarówno w stanie podstawowym, jak i wzbudzonym (mającym większą energię niż stan podstawowy). Wykazuje także zdolność do nadprzewodnictwa. Obecnie, intensywne badania skupiają się na modyfikacji molekularnej C60. Badania nad C60 i jego pochodnymi wykazują obiecujące perspektywy ich zastosowania w elektronicznych urządzeniach światłoczułych, nadprzewodnikach, materiałach luminescencyjnych, magnesach molekularnych, katalizie, czy biomedycynie.

Filtry fulerenowe są stosowane w produktach firmy Zepter oferowanych pod marką BIOPTRON Medall. Urządzenia te wykorzystywane są do światłoterapii, która ma przyspieszać gojenie ran, regeneruje skórę, i zwiększa odporność organizmu. Dzięki zastosowaniu filtrów fulerenowych możliwe jest emitowanie światła hiperspolaryzowanego obejmującego różne długości fal światła widzialnego oraz niską podczerwień.

Fulereny posiadają właściwości aromatyczne oraz zdolność do absorpcji małych cząsteczek organicznych, co czyni je interesującym narzędziem do usuwania lotnych związków organicznych z atmosfery. Na przykład fuleren C60 może reagować z innymi substancjami podczas adsorpcji zanieczyszczeń atmosferycznych.

Te właściwości fulerenów były badane pod kątem możliwości ich zastosowania w układach klimatyzacji. Projekt NANO_GUARD (projekt badawczy finansowany przez UE, koordynowany przez Fundację Wydziału Nauk i Technologii Uniwersytetu Nova w Lizbonie) potwierdził skuteczność hamowania rozwoju patogenów przenoszonych w powietrzu, a jego wyniki powinny umożliwić wprowadzenie na rynek tanich i ekologicznych systemów uzdatniania powietrza.

WŁÓKNA WĘGLOWE



Włókna węglowe to lekkie i wyjątkowo wytrzymałe włókna wytwarzane w procesie pirolizy. Są szeroko stosowane w wielu dziedzinach przemysłu i w porównaniu do pozostałych materiałów węglowych są szeroko stosowane w skali komercyjnej. To z nich produkowane są m.in. części samochodowe, głównie w pojazdach sportowych, sprzętu sportowego, czy jako element konstrukcyjny w branży budowlanej.

Włókna węglowe znajdują również zastosowanie w branży budowy jachtów i katamaranów. Polska firma Sunreef Yachts oferuje luksusowe żaglowe jachty zbudowane całkowicie z kompozytów na bazie włókien węglowych. Dzięki zastosowaniu tych materiałów waga jachtu nie przekracza 45 ton, a specjalnie zaprojektowana odpowiednio zaprojektowana sylwetka jachtu minimalizuje opór powietrza i wody, co przekłada się na wyjątkową wydajność i osiągi.

Innym przykładem wykorzystania włókien węglowych jest polski producent rowerów – firma KROSS. Wykorzystuje on innowacyjne technologie na bazie włókien węglowych do produkcji ram swoich rowerów. Dzięki tym zastosowaniom kompozytów na bazie włókien węglowych rowery KROSS zyskały niższą masę i jednocześnie zwiększoną wytrzymałość. Zastosowanie ram kompozytowych umożliwia także projektowanie nowych kształtów ramy.



4. 3W – WĘGIEL W KONTEKŚCIE CZARNYCH ŁABĘDZI I WYZWAŃ SPOLECZNO-GOSPODARCZYCH

Zjawiskiem czarnych łabędzi określamy wydarzenia, które mogą w znaczący sposób wpłynąć na społeczeństwo, gospodarkę i inne aspekty życia. Występują niezwykle rzadko, są trudne do przewidzenia, ale mają konsekwencje długoterminowe. W ostatnich latach świat stał w obliczu niespodziewanych zdarzeń (np. COVID-19, rosyjska agresja na Ukrainę), które w efekcie wywarły silny, zmieniający wpływ na postrzeganie rzeczywistości, nasze przyzwyczajenia, zachowania społeczne i procesy gospodarcze.

Jako społeczeństwo stajemy w obliczu wielu wyzwań związanych z gwałtownym rozwojem technologicznym. Ten dynamiczny postęp, który obejmuje rozwój sztucznej inteligencji, proces cyfryzacji i automatyzacji, znacząco wpływa na naszą codzienność i przyszłość.

Warto również podkreślić, że postępujące zmiany klimatu stawiają nas w obliczu pilnej potrzeby wprowadzenia zmian w naszym stylu życia. Wysiłki na rzecz ograniczenia negatywnego wpływu na środowisko i przeciwdziałania zmianom klimatu stają się coraz bardziej istotne. Poszukiwanie rozwiązań przyjaznych dla środowiska, zrównoważony rozwój i inwestowanie w odnawialne źródła energii są kluczowe dla przyszłości naszej planety.

W obliczu tych wyzwań jako społeczeństwo musimy dążyć do równowagi między postępowaniem technologicznym a troską o przyszłość naszej planety. To wymaga współpracy na szczeblu globalnym, odpowiedzialności jednostek oraz podejmowania mądrych decyzji politycznych. Rozwój technologii powinien służyć ludzkości, jednocześnie respektując i chroniąc naszą planetę.

Pandemia koronawirusa wpłynęła na wszystkie obszary życia społecznego i gospodarczego. Odbiła również swoje piętno w ośrodkach naukowych prowadzących badania powodując nie tylko czasowe zamknięcie laboratoriów i wstrzymanie realizacji wielu projektów, ale przede wszystkim przesunięcie priorytetów badawczych i dostępność funduszy. Wiele projektów badawczych, które zostały rozpoczęte przed pandemią nigdy nie zostało ukończonych, a te które były kontynuowane wymagały wprowadzenia istotnych zmian.

Z drugiej strony okres pandemii wymusił współpracę naukowców w dziedzinie m.in. medycyny, epidemiologii w skali globalnej, co przyczyniło się do szybkiego znalezienia rozwiązań w zakresie diagnostyki, terapii i szczepień.

Pandemia to również wzrost zainteresowania społeczeństwa nauką i badaniami medycznymi.

Pandemia wywarła ogromny wpływ na ośrodki naukowe, zarówno w krótkim, jak i długim okresie. Przesunięcie priorytetów, zmiany w finansowaniu badań i zdolność do dostosowania się do nowych warunków pracy zdalnej były wyzwaniami, ale jednocześnie przyniosły także innowacje w metodach badawczych i bardziej globalne podejście do rozwiązywania problemów naukowych.

Konflikty zbrojne od zawsze budziły niepokój i obawy w społeczeństwie. Jednak to wojna w Ukrainie wyraźnie pokazała, jak realnym zagrożeniem mogą być dla nas

te wydarzenia. Obecnie obserwujemy gwałtowny rozwój technologii obronnych, a wydatki państw na zbrojenia systematycznie rosną.

Wojna na Ukrainie wywołała liczne dyskusje na temat bezpieczeństwa międzynarodowego i obronności. Wydarzenia te wskazują na konieczność dostosowania się do nowych wyzwań, jakie stawiają przed nami współczesne konflikty zbrojne. Rozwój technologii jest obecnie kluczowy, ponieważ nowoczesne uzbrojenie i środki obrony muszą być skuteczne w obliczu ewoluujących zagrożeń.

Kraje NATO, reagując na te wyzwania, zwiększają swoje wydatki na obronność, aby zapewnić swoim obywatelom bezpieczeństwo. Jednocześnie podejmują wspólne działania i inwestują w nowoczesne technologie, które pozwalają na skuteczną obronę przed nowym rodzajem zagrożeń, takich jak cyberataki czy hybrydowa wojna.

Czy czarne łabędzie wpłynęły również na branżę związane z nanomateriałami węglowymi? A może wykorzystanie alotropowych postaci węgla może stać się odpowiedzią na nowe wyzwania, swego rodzaju początkiem kolejnej rewolucji technologicznej? Które z obszarów naszego życia mają największy potencjał do zmiany dzięki rozwojowi zaawansowanych materiałów na bazie węgla?

4.1 Technologie węglowe a jakość życia społeczeństwa - medycyna.

Od wielu lat prowadzone są badania i prace wdrożeniowe nad zastosowaniem różnych struktur nanowęgla w medycynie.

Badania nad nanomateriałami węglowymi do zastosowań biomedycznych cieszą się dużym zainteresowaniem ze względu na ich unikalne właściwości chemiczne i fizyczne, w tym różnorodność termiczną, mechaniczną, elektryczną, optyczną i strukturalną. Co więcej, wzbudzają one duże zainteresowanie w dziedzinie inżynierii biomedycznej ze względu na ich różnorodne właściwości powierzchni, rozmiary i kształty. Dzięki temu mogą m.in. skutecznie oddziaływać z biomolekułami i jednocześnie reagować na światło. Nadal potrzebne są jednak bardziej systematyczne badania w celu określenia ich poziomu toksyczności i farmakokinetyki.

Kierunki badań i zastosowań:

- nanorurki wypełnione różnymi substancjami chemicznymi mogą znaleźć zastosowanie w terapii nowotworowej, diagnostyce i jako środki kontrastowe. Nanorurki mogą zostać wykorzystywane w dziedzinie dostarczania leków. W ostatnich latach pojawiła się fundamentalna potrzeba opracowania nowych systemów dostarczania, aby

skutecznie dostarczać cząsteczki substancji do miejsc docelowych przy rzadszym dawkowaniu, kontrolowanym uwalnianiu i mniejszej liczbie skutków ubocznych.

- BioczuJNIKI (urządzenia analityczne, które przetwarzają wyniki reakcji biochemicznych na mierzalne sygnały elektrochemiczne, elektryczne, termiczne lub optyczne. BioczuJNIKI opracowane z zastosowaniem nanorurek węglowych pozwalają na wykrycie i oznaczenie np. markerów nowotworowych w niższych stężeniach niż klasycznie stosowane metody, co w przyszłości umożliwi bardzo wczesną diagnostykę.

- wykorzystanie nanorurek węglowych może wydłużyć żywotność leków u ludzi i ułatwić ich dostarczanie bezpośrednio do docelowych komórek, zweryfikowano również możliwość ich wykorzystania w wykrywaniu wirusa SARS COVID-19.

- dostarczanie leków i terapia rakowa - nanostruktury węglowe mogą pozostawać w słabo ukrwionych strukturach biologicznych, takich jak guzy, jednocześnie wykazując ograniczoną latencję w zdrowych komórkach organizmu. Ponieważ nanostruktury węglowe można łatwo dostosowywać do potrzeb, można je sprzęgać ze środkami chemioterapeutycznymi, przeciwciałami, lekami przeciwnowotworowymi i innymi środkami terapeutycznymi

Wyzwanie jakie pozostaje do rozwiązania w zakresie stosowania przemysłowego nanostruktur węglowych to określenie możliwej toksyczności tych materiałów oraz ograniczenie wysokich kosztów ich wytwarzania. Zgodnie z danymi Centralnego Instytutu Ochrony Pracy – Państwowego Instytutu Badawczego, wyniki badań toksykologicznych wskazują, że nanomateriały mogą powodować zagrożenia dla zdrowia. Są to przede wszystkim stany zapalne i zmiany zwłóknieniowe w tkance płucnej.

Warto jednak zauważyć, że najmniejszą szkodliwością charakteryzują się nanorurki sfunkcjonalizowane, przeznaczone między innymi do aplikacji biomedycznych.

PRODUKTY

Stomatologia:

Grapheno DENTAL: materiały do produkcji pełnych i częściowych protez ruchomych, do implantów dentystycznych a także uzupełnień stałych i tymczasowych (korony i mosty), licówki. Włączenie grafenu do polimerów to innowacyjna strategia mająca na celu poprawę jego właściwości mechanicznych. Zwiększenie modułu sprężystości oraz wytrzymałości zmniejsza pojawianie się pęknięć. Niska gęstość grafenu w połączeniu z doskonałymi właściwościami mechanicznymi prowadzi do powstania lekkich polimerów. Dlatego grafen jest idealnym kandydatem do poprawy wydajności utwardzanych termicznie żywic akrylowych do zastosowań dentystycznych, nie tylko do tworzenia polimerów o wysokiej odporności mechanicznej, ale także polimerów o niskiej zdolności absorpcji wody, z minimalną zawartością reszkowych monomerów i biokompatybilnych.

CD BioGlyco wykorzystuje nanomateriały o różnych właściwościach i morfologiach, takie jak nanocząsteczki, materiały mezooporowate i nanorurki, aby pomóc klientom poprawić czułość i specyficzność rozdzielania glikopeptydów. Sensory BIOGlyco wykorzystywane są m.in do wczesnego wykrywania zmian nowotworowych np. raka płuc¹⁹.

TERAPIE RAKA I DOSTARCZANIE LEKÓW

Badania nad wykorzystaniem nanomateriałów węglowych w terapii raka są nadal rozwijane w wielu ośrodkach badawczych na całym świecie. Jednym z obiecujących zastosowań jest możliwość dostarczania leków bezpośrednio do komórek nowotworowych.

Właściwości nanomateriałów węglowych stwarzają potencjał do precyzyjnej i ukierunkowanej terapii raka. Jednak istnieją wyzwania, takie jak toksyczność i biodostępność, które muszą zostać rozwiązane zanim te technologie staną się powszechnie stosowane w praktyce klinicznej. Niemniej jednak, technologie te są obiecujące jako efektywne metody leczenia nowotworów.

Materiały węglowe w terapii nowotworowej

- Obiecującym i skutecznym lekiem na raka trzustki jest gemcytabina. Środek ten wykazuje chemooporność i ma trudności z równomiernym rozprowadzeniem się wewnątrz guza. Jednym z potencjalnych rozwiązań jest koniugacja gemcytabiny z fullerem C-60 w celu poprawy rozpuszczalności w wodzie. Związek wykazuje cytotoksyczność, która może być wzmocniona przez formy tleno generowane przez C60 napromieniowane niebieską diodą LED.

- Fulleren C60 skoniugowany z serynolamidem może przenikać do komórek raka wątroby, a C60-serinol skoniugowany z paklitakselem zmniejsza rozmiar guza bez efektu ubocznego utraty wagi.

- Niedawno grupa naukowców z Indii opracowała innowacyjne materiały grafenowe, które mają potencjał do dostarczania leków, które reagują na zmiany pH. Komórki nowotworowe charakteryzują się kwaśnym środowiskiem, dlatego materiały, które reagują na pH, mogą być wyjątkowo przydatne. Jednym z takich materiałów jest gumopodobny nanohybrydowy hydrożel, w którym wykorzystano grafen. Ten hydrożel ma właściwości pulsacyjnego i kontrolowanego uwalniania leków. W badaniach wykazano, że hydrożel nanohybrydowy reaguje oscylacyjnie na zmiany pH. Gdy pH roztworu buforowego było ustawione w zakresie od 7,8 do 1,7, zaobserwowano zmiany w pęcznieniu i rozpęcznianiu hydrożelu. To dowodzi, że hydrożel jest wrażliwy na zmiany pH. Istotne znaczenie ma także fakt, że hydrożel nanohybrydowy ma właściwości przewodzące, co jest możliwe dzięki obecności kwasu akrylowego i grafenu w jego strukturze.

Te badania otwierają nowe perspektywy w dziedzinie dostarczania leków, gdzie materiały grafenowe mogą dostosowywać się do warunków pH w celu kontrolowanego uwalniania leków. To odkrycie przynosi nadzieję na rozwój skuteczniejszych terapii, które mogą być dostosowane do specyficznych warunków środowiska nowotworowego.

Miejscowe dostarczanie leków

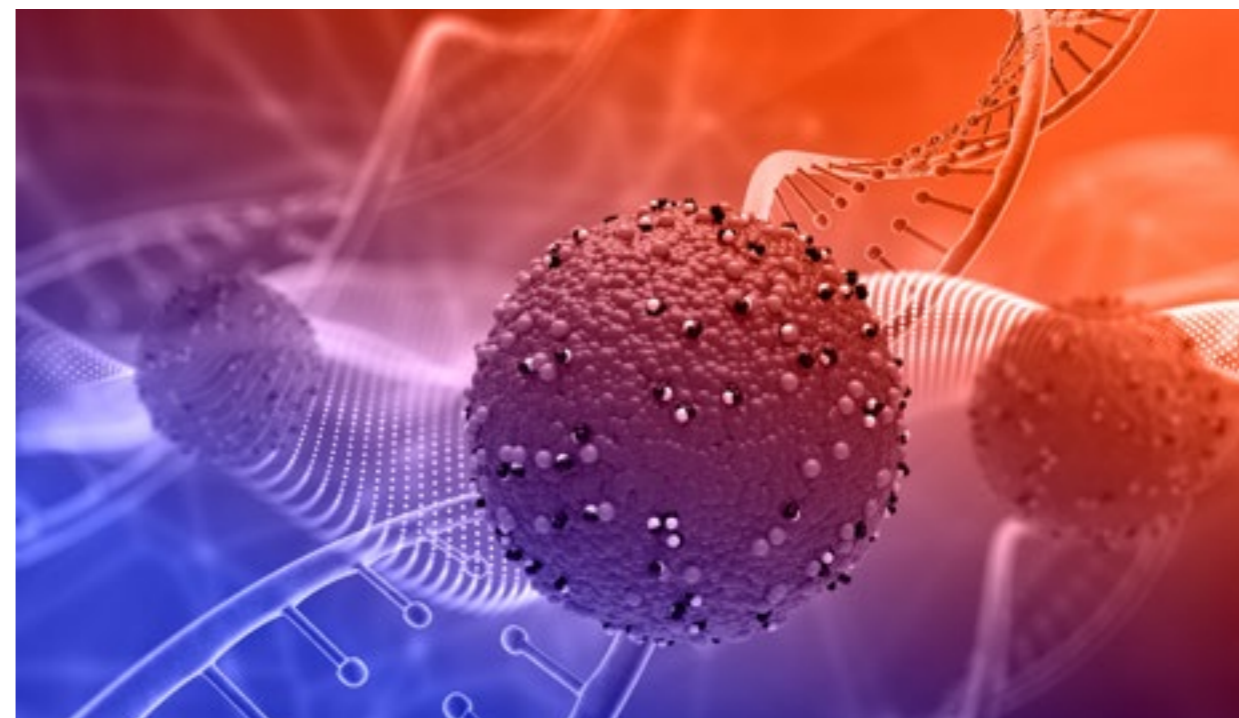
- Opracowano wiele pochodnych fulerenów o ulepszonej rozpuszczalności w wodzie dla zaawansowanych systemów dostarczania leków. Rozmiary fulerenów umożliwiają im penetrację niemal wszystkich barier biologicznych. Sprężone fulereny mogą być stosowane do miejscowego dostarczania leków, co pozwala uniknąć uszkodzenia innych narządów ciała. Na przykład, ibuprofen jest powszechnie przepisywanym lekiem przeciwbólowym i przeciwzapalnym, z działaniami niepożądanymi, takimi jak krwotok z przewodu pokarmowego, powstawanie wrzodów, pogorszenie trawienia i wymioty, gdy jest spożywany doustnie. Obecnie trwają intensywne badania nad opracowaniem systemu wykorzystującego fulereny jako nośnika ibuprofenu, dzięki czemu zminimalizowane zostanie ryzyko wystąpienia działań niepożądanych leku.

- Trwają również prace nad zastosowaniem fulerenów w systemach dostarczania kwasów nukleinowych. W jednym z badań dotyczących stabilizacji i dostarczania niestabilnych cząsteczek siRNA zastosowano epoksyd tetra(piperazyno[60]fullerenu (TPFE). Badania in vivo wykazały już, że TPFE jest nietoksyczny, w przeciwieństwie do powszechnie stosowanej lipofektaminy 2000, do dostarczania siRNA i ma wyższą skuteczność.

- Z kolei francuscy badacze przeprowadzili badania nad wykorzystaniem grafenu do ukierunkowanego dostarczania leków. Do tego celu przyłączyli kwas foliowy za pomocą łańcucha PEG, aby skierować lek do komórek nowotworowych. Używając zieleni indocyjaninowej do śledzenia leku wewnątrz komórek nowotworowych, obserwowali rozproszenie i aktywność przeciwnowotworową. Badania wykazały, że grafen wielofunkcyjny wykazywał zmniejszoną toksyczność, co sugeruje możliwość precyzyjnego dostarczania leków przy minimalnym uszkodzeniu zdrowych komórek.

- Inni naukowcy opracowali nową metodę fluorowania grafenu cieczą jonową, aby dostarczać kurkuminę, substancję o potencjalnych właściwościach przeciwnowotworowych. Zmodyfikowany grafen wykazywał wyższą efektywność ładowania leku i silniejsze działanie przeciwnowotworowe. To odkrycie może prowadzić do opracowania innowacyjnych terapii, które są bardziej skuteczne i selektywne w zwalczaniu nowotworów. Grafen jako nośnik leków otwiera nowe perspektywy w medycynie, umożliwiając precyzyjne i ukierunkowane dostarczanie leków do komórek nowotworowych, minimalizując jednocześnie toksyczność dla zdrowych tkanek.

- Jednym z przykładów zastosowania CNT w dostarczaniu leków jest zastosowanie PEGyloowanych wielowarstwowych nanorurek węglowych (MWCNT), które zostały zmodyfikowane poprzez przyłączenie cząsteczek PEG (polietylenoglikolu). Dzięki temu nanorurki węglowe są lepiej tolerowane przez organizm i mają zwiększoną stabilność w środowisku biologicznym.



4.2 Technologie węglowe a COVID-19

Wraz z pojawieniem się nowych wirusów, takich jak COVID-19, rozwój nowych systemów antywirusowych, w tym leków i szczepionek, przyciągnął ostatnio znaczną uwagę społeczności naukowej. Nanostruktury węglowe wykazały obiecujące właściwości przeciwwirusowe, takie jak działanie hamujące wirusy i blokowanie enzymów wirusa w celu zwalczania wirusów, takich jak HIV, grypa, wirus opryszczki pospolitej (HSV) i COVID-19. Wykorzystanie nanomateriałów węglowych do zastosowań przeciwwirusowych jest obecnie na wczesnym etapie i wymaga bardziej kompleksowych badań. Badania związane z COVID-19 wskazują, że chlorochina może być skutecznym lekiem w walce z infekcją COVID-19. Badania pokazują, że fullereny C60 domieszkowane innymi materiałami są stabilnymi nośnikami chlorochiny w leczeniu COVID-19 w których fulleren pełni funkcję akceptora elektronów, a chlorochina donora elektronów.

Nanorurki węglowe znajdują również zastosowanie w diagnostyce koronawirusa. Inżynierowie z MIT zaprojektowali nowatorski czujnik, który może wykryć SARS-CoV-2 bez żadnych przeciwciał, dając wynik w ciągu kilku minut. Nowy czujnik opiera się na technologii, która może generować szybką i dokładną diagnostykę nie tylko w przypadku Covid-19, ale także przyszłych pandemii.

4.3 Technologie węglowe do walki ze zmianami klimatycznymi.

Materiały węglowe odgrywają istotną rolę w rozwoju technologii zero-emisyjnych lub ujemnie emisyjnych a tym samym przyczyniają się do osiągnięcia neutralności emisji CO₂.

Przykładowe rozwiązania wykorzystywane do walki ze zmianami klimatycznymi:

- Rozwój ogniw słonecznych – materiały węglowe stanowią ważny składnik wielu innowacyjnych technologii fotowoltaicznych, które mają na celu zwiększenie efektywności i obniżenie kosztów produkcji ogniw słonecznych.
- Nanowęgiel dla urządzeń energooszczędnych: ultracienkie powłoki z grafenu lub węgla pirolitycznego, mogą być wykorzystane w różnych urządzeniach optoelektronicznych takich jak diody czy ogniwa słoneczne i fotowoltaiczne, które działają pod kontrolą zarówno światła i przyłożonego napięcia.
- Wśród adsorbentów węglowych na szczególną uwagę zasługują hydrożele/aerożele grafenowe. Te niezwykle lekkie materiały na bazie zredukowanego tlenku grafenu, z wyglądu przypominają gąbkę. Ich trójwymiarowa, poro-

wata struktura zapewnia dużą "pojemność" adsorpcyjną co można wykorzystać do usuwania barwników organicznych z wody.

Dlaczego przemysłowe barwniki organiczne są tak szkodliwe dla środowiska i mogą wpływać na zmiany klimatyczne? Otóż związki te uwalniane do wody (przemysł tekstylny, spożywczy) mogą pochłaniać światło słoneczne, co prowadzi do wzrostu temperatury i wpływa na wzrost gatunków bakterii wodnych, zaburzając równowagę ekologiczną. Barwniki organiczne są jeszcze bardziej szkodliwe niż inne zanieczyszczenia ze względu na ich stabilność chemiczną, która sprawia, że nie ulegają łatwemu rozkładowi w wodzie.

PRODUKTY

NANO ONE opatentowany i skalowalny proces przemysłowy do produkcji tanich, wysokowydajnych proszków katodowych stosowanych w akumulatorach litowo-jonowych. Te unikalne materiały są projektowane w celu zwiększenia wartości pojazdów elektrycznych i akumulatorów sieciowych w globalnym dążeniu do zerowej emisji w przyszłości. Bateria NanoOne to najbezpieczniejsza, najdłużej działająca i najtańsza bateria, która dominuje w autobusach elektrycznych, rowerach elektrycznych, pojazdach flotowych, a nawet w podstawowych pojazdach elektrycznych na rynku masowym. LFP nadaje się również do systemów magazynowania energii (ESS) wdrażanych w rosnącym tempie w sieciach elektrycznych na całym świecie. Opatentowany przez Nano One proces One Pot zapewnia wysoką wydajność, przy mniejszej liczbie etapów, niższych kosztach i w sposób przyjazny dla środowiska w porównaniu z obecnymi metodami produkcji.

4.4 Technologie węglowe w przemyśle kosmicznym

Eksploracja kosmosu to jedna z tych branż, w których szybki postęp technologiczny jest absolutnie konieczny. Dzięki stosowaniu nowych technologii, materiałów i innowacji przesuujemy granice odkrytego dając jednocześnie impuls do powstawania rozwiązań ułatwiających nasze codzienne życie.

Nanorurki węglowe to materiał, który idealnie nadaje się i jest wykorzystywany w podboju kosmosu. Nanorurki węglowe stosowane są do tworzenia wytrzymałych i lekkich konstrukcjach takich jak kadłuby samolotów, elementy rakiety, drony czy satelity. Wykorzystanie struktur węgla w budowie poszyc kadłubów samolotów i rakiet wymaga zastosowania ultralekkich i wysokowytrzymałych materiałów kompozytowych. Dzięki temu obniża się waga konstrukcji, zużycie paliwa, spada koszt misji kosmicznej. Możliwe jest wyniesienie większego ładunku na orbitę i wydłużenie czasu lotu. Kompozyty węglowe są również odporne na wysokie temperatury, co jest istotne podczas startu rakiety i jej powrotu w atmosferę.

NASA wykorzystuje w swoich statkach kosmicznych łopatki silnikowe oraz poszycia kadłubów z kompozytu węglowego.

Inne zastosowanie struktur węglowych w przemyśle kosmicznym:

- Konstrukcje kompozytowe: Węglowe kompozyty, takie jak węglowe włókna lub wzmocnienia kompozytowe, są powszechnie stosowane w budowie kadłubów rakiet i statków kosmicznych. Włókna węglowe są bardzo lekkie i odporne, co przekłada się na zwiększoną wydajność paliwową i udźwig rakiet. Kompozyty węglowe są również bardziej odporne na wysokie temperatury, co jest istotne podczas startu i powrotu statku kosmicznego.
- Ochrona termiczna: Włókna węglowe są wykorzystywane do wytwarzania osłon termicznych stosowanych w łazikach oraz rakietach. Wysoka odporność na wysokie temperatury i duża wytrzymałość włókien węglowych czynią je doskonałym materiałem do ochrony pojazdów przed ekstremalnym nagrzewaniem podczas powrotu do atmosfery.
- Elektronika kosmiczna: Węgiel może być również stosowany w produkcji zaawansowanych elektronicznych komponentów kosmicznych. Na przykład, węgiel krzemowy jest stosowany do wytwarzania diod elektroluminescencyjnych (LED), które znajdują zastosowanie w pokładowym oświetleniu, wskaźnikach i innych systemach oświetleniowych na pokładzie statków kosmicznych. Bardzo dobra właściwość przewodnictwa elektrycznego nanorurki jest wykorzystywana w antenach, co zwiększa wydajność około 20 razy w porównaniu z antenami konwen-



cyjonalnymi. Ta sama właściwość jest wykorzystywana do ekranowania promieniowania elektromagnetycznego.

- Zasilanie i systemy energetyczne: Węgiel może być wykorzystywany jako paliwo w systemach rakietowych. Przykładem jest paliwo stałe, które często zawiera węgiel jako jeden ze składników. Sprawdza się również jako materiał do elektrod w ogniowach paliwowych, które są stosowane do wytwarzania energii elektrycznej na pokładach statków kosmicznych. Baterie wykorzystujące nanorurki jako elektrody zwiększają gęstość energii 10-krotnie, a także wytrzymują ekstremalne temperatury

4.5 Technologie węglowe w przemyśle obronnym i zbrojeniowym.

Struktury węgla znajdują zastosowanie w przemyśle zbrojeniowym oraz obronnym. Jednym z ciekawszych zastosowań węgla w przemyśle zbrojeniowym są technologie kamuflażu oparte na grafenie. Wykorzystują one

unikalne właściwości grafenu do stworzenia skutecznych systemów maskujących. Technologie kamuflażu oparte na grafenie mogą być wykorzystywane na kilka sposobów:

- maskowanie optyczne: Grafen wykorzystany do stworzenia materiałów, które absorbują lub rozpraszają światło w sposób kontrolowany, umożliwiając obiektom bycie niewidocznymi lub trudnymi do wykrycia. Może to również dotyczyć tworzenia materiałów, które są w stanie dostosować swój kolor i wzór do otoczenia, zapewniając efektywny kamuflaż,
- optyczne efekty mirażu: Grafen wykorzystywany do tworzenia materiałów, które mają zdolność do manipulacji światłem, tworząc iluzje optyczne, takie jak miraż. Dzięki temu obiekty mogą wydawać się przesunięte lub ukryte, co przyczynia się do dezorientacji obserwatorów,
- elektroniczny kamuflaż: Grafen posiada doskonałe właściwości przewodnictwa elektrycznego, co umożliwia tworzenie elektronicznych systemów kamuflażu i obejmuje kreowanie materiałów, które mogą zmieniać swoje właściwości elektryczne w odpowiedzi na otoczenie, pozwalając na dostosowywanie kamuflażu do zmieniających się warunków,
- wytrzymałe powłoki kamuflujące: Grafen stosowany jako składnik powłok kamuflujących, które są odporne na uszkodzenia mechaniczne, chemikalia lub promieniowanie. Powłoki oparte na grafenie mogą zapewniać zarówno kamuflaż wzrokowy, jak i ochronę przed czynnikami zewnętrznymi.

Grafen jest transparentny dzięki czemu może być stosowany na szyby i szklane powierzchnie w celu zabezpieczenia ich przed zamarzaniem i parowaniem. Nad technologiami tego typu pracuje m.in. zespół in-

stytutu Łukasiewicz - Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych. Grafen jest również wykorzystywany do produkcji czujników i detektorów szkodliwych substancji chemicznych, promieniowania czy gazów wojskowych.

Kolejnym ciekawym zastosowaniem struktur węglowych jest wykorzystanie nanorurek węglowych CNT w produkcji mundurów wojskowych. Dodanie CNT do kompozytów pancerzy może uczynić je nawet 100 razy mocniejszymi od stalowych. Ponadto, nanorurki węglowe są używane do tworzenia hełmów i kamizelek kuloodpornych. Gdy pocisk uderza w żołnierza, który nosi kamizelkę z nanorurkami węglowymi, włókna materiału rozciągają się, absorbują energię i rozpraszają siłę oraz energię pocisku na całej powierzchni.



5. ANALIZA MOŻLIWOŚCI APLIKACJI NANOMATERIAŁÓW W OBSZARZE 3W – WODA I WODÓR

5.1 Synergia zasobów.

Synergia zasobów w kontekście nanomateriałów węglowych, takich jak grafen czy nanorurki węglowe z zastosowaniem w dziedzinach wodoru i wody ma ogromny potencjał do przyspieszenia postępu w ich zakresie.

Nanomateriały węglowe wykorzystane są do przechowywania i transportu wodoru. Dzięki swojej dużej powierzchni, mogą służyć jako nośnik lub nośniki katalityczne, co przyczynia się do zwiększenia pojemności i efektywności magazynowania. Ponadto, mogą być stosowane jako katalizatory w reakcjach związanych z wodorem, takich jak elektroliza wody czy reakcje redukcji. Ich wysoka przewodność elektryczna i zdolność do przewodzenia ciepła, przyczynia się do zwiększenia wydajności tych procesów.

W dziedzinie technologii wody, nanomateriały węglowe mają zastosowanie w procesach oczyszczania wody i jej dezynfekcji.

Synergia zasobów w przypadku nanomateriałów węglowych w technologii wodoru i wody polega na wykorzystaniu ich właściwości w połączeniu z innymi materiałami i technologiami. Na przykład, nanomateriały węglowe mogą być stosowane jako warstwa lub modyfikator powierzchni w elektrodach paliwowych wodorowych, zwiększając ich efektywność. Mogą także stanowić składnik nanokompozytów, które łączą różne materiały w celu osiągnięcia lepszych właściwości adsorpcyjnych czy katalitycznych.

5.2 Wykorzystanie technologii węglowych w obszarze wody.

Woda i tlen są najważniejszymi składnikami niezbędnymi do przetrwania życia organicznego na Ziemi. Około 71% powierzchni jest pokryte wodą ale mniej niż 1% całkowitej wody na Ziemi jest zdatne do spożycia lub na potrzeby gospodarcze. Rozwój cywilizacji, urbanizacja, wzrost populacji i przemysł

słownie mają bezpośredni lub pośredni wpływ na rosnące zanieczyszczenie zasobów naturalnych. Ich poziom staje się zagrożeniem dla nas i dla przyszłych pokoleń. Globalny problem niedoboru czystej wody, ścieki przemysłowe z produkcji tekstyliów, papieru, farmaceutyków, baterii, gumy, poligrafii, garbowania skóry, przetwórstwa spożywczego, olejów i wielu różnych innych związków stanowią cywilizacyjne wyzwanie.

Pogorszenie jakości wody i ograniczona dostępność wody pitnej to palące wyzwania na całym świecie. Technologie wodne oparte na adsorpcji należą do najbardziej preferowanych i szeroko stosowanych ze względu

na ich wysoką wydajność przy niskich kosztach, bez polegania na skomplikowanej infrastrukturze.

OCZYSZCZANIE WODY

W ostatnich latach nanomateriały węglowe, takie jak grafen i pochodne, nanorurki węglowe, nanowłókna węglowe, węgiel nanoporowaty, fulereny, grafitowy azotek węgla i nanodiamenty, były i są szeroko wykorzystywane jako adsorbenty ze względu na ich niezwykle właściwości powierzchniowe, łatwą modyfikację, kontrolowane odmiany strukturalne, wysoką stabilność chemiczną, niską gęstość, łatwość regeneracji i możliwość ponownego użycia. Tlenki grafenu i inne utlenione węgle zapewniają silną kwasowość i liczne grupy funkcyjne oraz wykazują doskonałą adsorpcję związków kationowych i zasadowych poprzez oddziaływanie elektrostatyczne i wiązania wodorowe.

Grafen ma ogromny stosunek powierzchni do masy, co oznacza, że na małej ilości tego materiału można pomieścić znaczną ilość substancji. Dzięki temu, grafen staje się potężnym kandydatem do usuwania zanieczyszczeń z wody. Odkryto, że różne formy grafenu, takie jak tlenek grafenu (GO), zredukowany tlenek grafenu (rGO) czy nanokompozyty GO, świetnie sprawdzają się jako adsorbenty w procesie usuwania zanieczyszczeń z wody wykorzystanej na potrzeby przemysłu, gospodarki komunalnej i rolnictwa.

Zastosowanie grafenu w procesach oczyszczania wody może mieć istotne znaczenie dla poprawy jakości wody pitnej oraz ochrony środowiska.

Przykładem praktycznego zastosowania może być implementacja membran grafenowych w zaawansowanych systemach filtracji wody, takich jak filtry stosowane w oczyszczalniach wody pitnej czy systemy oczyszczające stosowane w przemyśle. Grafenowy adsorbent może być również używany w domowych filtrach wody, które pozwalają na skuteczne usuwanie substancji zanieczyszczających, dostarczając tym samym bezpieczną i czystą wodę do spożycia.

Nie tylko grafen, ale także nanorurki węglowe są skutecznym materiałem do adsorpcji zanieczyszczeń. Szeroko stosuje się je do usuwania substancji zanieczyszczających wodę. Podstawowymi siłami napędowymi dla adsorpcji zanieczyszczeń na CNT są oddziaływanie hydrofobowe, elektrostatyczne oraz transfer ładunku. CNT oferują cztery możliwe miejsca adsorpcji: struktura tubularna wewnętrzna, przestrzeń między ściankami, rowki między nanospłotami oraz powierzchnia zewnętrzna.

W Polsce i innych krajach Unii Europejskiej nanoporowaty węgiel jest stosowany w instalacjach oczyszczania wody i oczyszczalniach ścieków do usuwania zanieczyszczeń. Przykładem może być zakład przemysłowy,

który wykorzystuje ten materiał do usuwania metali ciężkich lub innych zanieczyszczeń z wód odpadowych w Oczyszczalni Ścieków Płaszów w Krakowie.

USUWANIE BARWNIKÓW

Trwają prace nad komercyjnym wykorzystaniem grafenu i jego pochodnych w adsorpcji substancji takich jak barwniki organiczne, metale ciężkie, fenole czy związki farmaceutyczne. Adsorpcja na grafenie opiera się głównie na fizoadsorpcji i jest kontrolowana przez oddziaływanie elektrostatyczne. Co ciekawe, tlenek grafenu jest szczególnie skuteczny w usuwaniu zanieczyszczeń o ładunku dodatnim, ponieważ na jego powierzchni występują ładunki ujemne.

Niedawne odkrycia pozwoliły wykorzystać grafen jako adsorbent do usuwania barwników zanieczyszczających wodę (zarówno tych przemysłowych jak i substancji używanych w procesach drukowania).

Barwniki obecne w wodzie, mogą być szkodliwe dla zdrowia człowieka i stabilności ekosystemów wodnych.

CNT poddane funkcjonalizacji poprzez proces utleniania zyskują funkcjonalności tlenkowe i nadają ich powierzchni właściwości hydrofilowe. To oznacza, że utlenione CNT mogą skutecznie i selektywnie adsorbować anionowe barwniki z odpadów wodnych, wykorzystując różnice w ładunkach elektrycznych i oddziaływanie międzycząsteczkowe, takie jak oddziaływanie elektrostatyczne i van der Waalsa.

Funkcjonalności tlenkowe tworzą na powierzchni CNT częściowo ujemny ładunek, który przyciąga jony metali ciężkich z odpływu odpadów, oddając przy tym swoje elektrony. Dlatego właśnie utlenianie CNT znacznie zwiększa ich zdolność do selektywnego usuwania hydrofilnych substancji zanieczyszczających ścieki.

5.3 Wykorzystanie technologii węglowych w obszarze wodoru.

Rosnące wykorzystanie paliw kopalnych jest coraz większym wyzwaniem dla środowiska i cywilizacji. Rośnie społeczna świadomość negatywnego wpływu. Emisja groźnych toksyn, takich jak tlenki azotu (NOx) i siarki (SOx), oraz wyjątkowo szkodliwych dla zdrowia mikrocząstek, które są niemożliwe do oddzielenia w procesie filtracji, stanowi poważne zagrożenie dla zdrowia i życia. Paliwa kopalne są również głównymi źródłami emisji tzw. gazów cieplarnianych, szczególnie dwutlenku węgla (CO₂), które przyczyniają się do zmian klimatycznych i pogłębiają problem globalnego ocieplenia.

Te wyzwania skłoniły badaczy, ekonomistów, decyden-

tów politycznych oraz technologów do poszukiwania alternatywnych, przyjaznych dla środowiska źródeł energii. W tym kontekście wodór pojawia się jako obiecujące rozwiązanie. Jest to czyste i zrównoważone źródło energii, które może zastąpić tradycyjne paliwa kopalne. Wodór to bezbarwna, bezwonna i nietrująca cząsteczka, która nie emituje gazów cieplarnianych ani zanieczyszczeń powietrza. Co więcej, ma on niezwykle wysoką gęstość energetyczną, niemal trzy razy większą niż benzyna i aż siedmiokrotnie większą niż inne paliwa kopalne.

Niestety, mimo swoich licznych zalet, wykorzystanie wodoru jako paliwa wiąże się z pewnymi wyzwaniem. Przechowywanie i transport wodoru stanowią duże wyzwanie techniczne, a jego niska energia objętościowa utrudnia praktyczne zastosowanie w wielu sektorach, w których dominują paliwa ropopochodne. Niemniej jednak, wodór wydaje się idealnym kandydatem na zastąpienie tradycyjnych paliw. Jednak przed pełnym wykorzystaniem go jako paliwa transportowego konieczne jest opracowanie skutecznego systemu przechowywania o wysokiej gęstości.

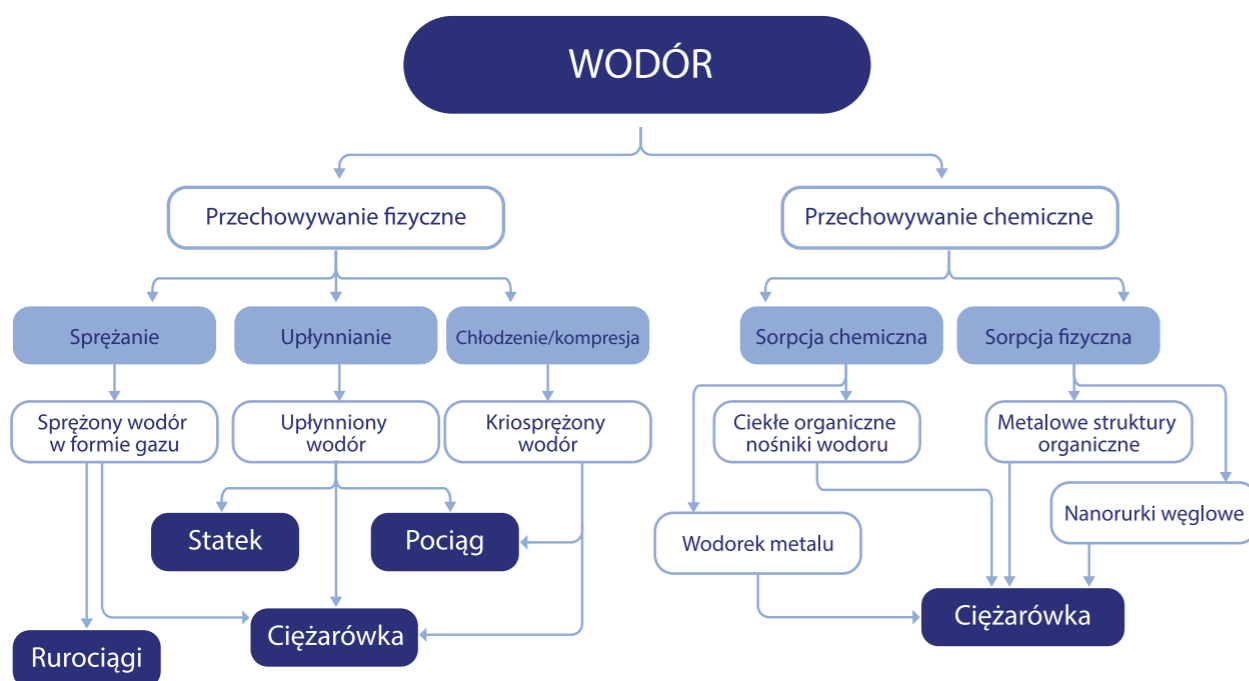
W dążeniu do zrównoważonej przyszłości energetycznej, synergia nanomateriałów węglowych w technologii wodoru zaczyna odgrywać kluczową rolę. Nanomateriały węglowe, takie jak grafen czy nanorurki węglowe, mają odpowiednie właściwości, które mogą przyczynić się do efektywnego magazynowania i transportu wodoru.

Te różnorodne metody magazynowania wodoru są przedstawione w białych prostokątach, podczas gdy różne opcje transportu są zaznaczone na granatowo. Transport wodoru może odbywać się poprzez rurociągi, statki, pociągi oraz transport drogowy.

Po lewej stronie schematu przedstawione są fizyczne techniki przechowywania, takie jak sprężanie wodoru do postaci gazu, przechowywanie go w postaci ciekłej lub nawet kriosprężonej. Po prawej stronie znajdują się opcje magazynowania chemicznego. Wodór może być przechowywany w formie wodoru metalu, materiałów nośnych z organicznym nośnikiem cieczy (LOHC), a także - nanorurkach węglowych.

Oczywiście, wybór odpowiedniej metody przechowywania i transportu wodoru zależy od wielu czynników. Jednak nanorurki węglowe przyciągają szczególną uwagę ze względu na swoje wyjątkowe właściwości, takie jak ogromna powierzchnia wewnętrzna, wysoka wytrzymałość mechaniczna i zdolność do adsorpcji wodoru. Dzięki temu, nanorurki węglowe mają potencjał do przechowywania znacznych ilości wodoru w sposób efektywny i bezpieczny.

Wybór odpowiedniej metody magazynowania i transportu wodoru jest kluczowy dla efektywności i bezpieczeństwa tego procesu.



MAGAZYNOWANIE WODORU

Obecnie sprężony wodór można przechowywać w kilku typach (generacjach) zbiorników ciśnieniowych. Wyróżniamy pięć typów zbiorników ciśnieniowych:

- (I) metalowe
 - (II) metalowe ze wzmocnieniem z włókna szklanego
 - (III) z metalową powłoką wewnętrzną (zazwyczaj z lekkiego metalu), wzmocnione kompozytem
 - (IV) kompozytowe z polimerową powłoką wewnętrzną
 - (V) całkowicie kompozytowe: od w pełni metalowych (stalowych lub aluminiowych) po zbiorniki w pełni kompozytowe (z tworzywa sztucznego lub włókna węglowego).
- Każda z generacji zbiorników dedykowana jest innym zastosowaniom.

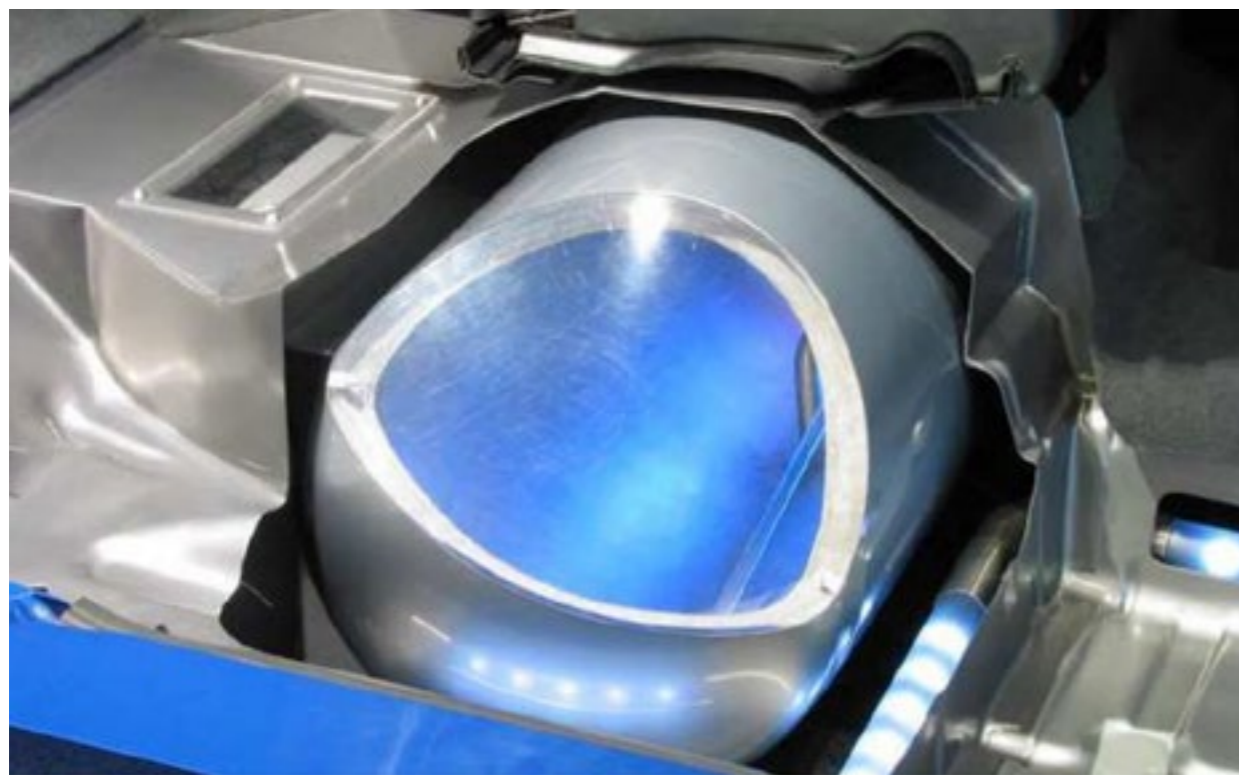
Jedną z koncepcji w zakresie przechowywania wodoru w postaci ciekłej to zbiorniki hybrydowe z kriogenicznym i dodatkowo sprężonym wodorem (ang. cryo-compressed tanks). W tym przypadku wodór jest przechowywany w postaci sprężonej cieczy o temperaturze i ciśnieniu wyższym niż w przypadku standardowego ciekłego wodoru. Do skroplenia sprężonego wodoru potrzebne jest mniej energii niż w przypadku ciekłego wodoru. Ponadto w zbiornikach hybrydowych obserwuje się mniej strat związanych z parowaniem wodoru niż w zbiornikach z ciekłym wodorem.

Jednym z przykładów zbiorników na kriogeniczny i sprężony wodór jest zbiornik Gen-3. Zbiornik zbudowany jest z warstwy aluminium owiniętej warstwą kompozytu z włókna węglowego o grubości 10 mm. Posiada objętość 151 l i masę 123 kg. Nominalnie jest w stanie przechowywać 10,7 kg ciekłego wodoru o ciśnieniu 1 atm albo 2,8 kg wodoru w stanie gazowym sprężonego do ciśnienia 272 atm przy temperaturze 27°C, czyli tego typu zbiornik wypełniony ciekłym wodorem posiada pojemność wolumetryczną równą 44,5 kg/m³ i grawimetryczną równą 7,1 % masy zbiornika. Ze względu na to, że wodór ciekły jest lekko ściśliwy, to rzeczywista pojemność jest uzależniona od warunków napełniania, a przede wszystkim ciśnienia i temperatury jaką osiągnął wodór wypełniający zbiornik.

PRODUKCJA WODORU

Materiały węglowe znajdują zastosowanie nie tylko w procesie magazynowania i transportu wodoru, ale również mają swoją rolę w produkcji wodoru.

Nanorurki węglowe mogą służyć jako elektrody w procesie elektrolizy. Elektrokatalizatory na bazie nanorurek węglowych wykazały doskonałą aktywność katalityczną, co potwierdza, że są one obiecującym wyborem do wykorzystania w procesach elektrochemicznych. Koreański start-up H3 Korea opracował pierwszy niekatalityczny generator wodoru wykorzystujący nanorurki węglowe.



Zbiornik z ciekłym wodorem zainstalowany w Opel Zafira, magazynujący wodór o masie 4,6 kg, pozwalający na przejechanie ok. 400 km. [1]

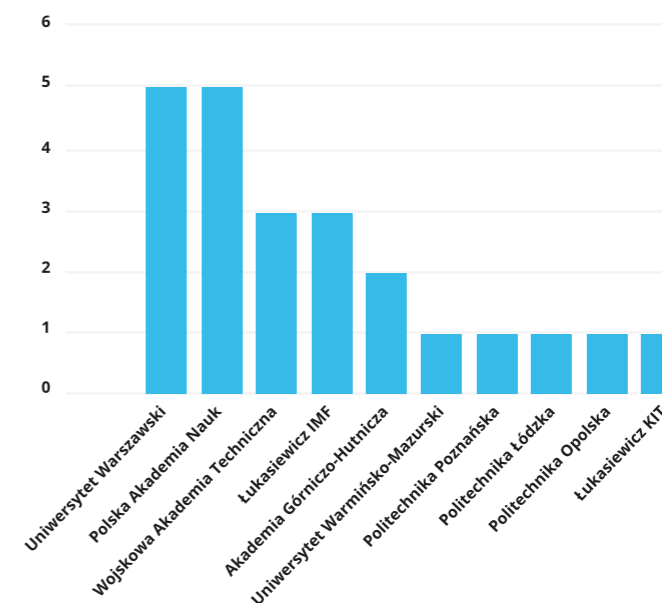
5.4 Polskie gniazda innowacji w obszarze technologii węglowych.

Zgodnie z raportem przygotowanym przez StatNano Polska jest 21 krajem na świecie, jeżeli chodzi o liczbę publikacji nanotechnologicznych w 2023 roku. Jesteśmy na siódmym miejscu w Europie za Niemcami, Wielką Brytanią, Francją, Hiszpanią, Włochami i Rosją. Ilość publikacji jest bezpośrednio związana ze stopniem rozwoju technologii w danym kraju, dlatego przyjrzyjmy się najważniejszym placówkom, które pracują nad nanotechnologiami węglowymi w Polsce. Wiele polskich uczelni angażuje się w rozwój nanotechnologii węglowych (w szczególności grafenu).

Uniwersytet Łódzki jest jedną z takich uczelni. Był on głównym organizatorem konferencji „Grafen i inne materiały dwuwymiarowe” w 2022. W poprzednich latach były to Uniwersytet Wrocławski i Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie. Współorganizatorem konferencji w roku 2022 był Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Poza uczelniami aktywne badania prowadzą także instytuty naukowe Polskiej Akademii Nauk i Sieci Badawczej Łukasiewicz.

Bazą referencyjną do monitorowania liczby polskich publikacji poruszających konkretny temat stanowi Polska Bibliografia Naukowa. Z powodu popularności grafenu, wyszukane zostały artykuły dotyczące tego materiału powstałe w 2023 roku. Wykres został przedstawiony poniżej:

Wykres 24. Liczba artykułów, w których nazwie był grafen, opublikowanych w 2023 roku przez pracowników danej uczelni/ instytut.



Liderem pod względem liczby publikacji jest Uniwersytet Warszawski (Wydział Chemii). Razem z nim pierwsze miejsce zajmuje Państwowa Akademia Nauk, jednak w jej przypadku artykuły były publikowane przez różne instytuty (Katalizy i Fizykochemii – 1, Chemii Fizycznej – 1, Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN – 1, Wysokich Ciśnień – 2). Kolejne miejsca: Wojskowa Akademia Techniczna wraz z Instytutem Mikroelektroniki i Fotoniki Sieci Badawczej Łukasiewicz (po 3 publikacje), Akademia Górniczo-Hutnicza (2 publikacje). Jest to liczba publikacji dotyczących wyłącznie grafenu, gdyż jest on najbardziej rozpoznawalną nanotechnologią węglową.

Niektóre uczelnie oferują także możliwość wyszukiwania publikacji poprzez bibliografie uczelniane. Za pomocą takich systemów możemy łatwiej dokonać analizy ilości publikacji na temat konkretnych materiałów węglowych. Wśród najlepszych polskich uczelni takie wyszukiwanie oferują – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie (AGH), Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu (UAM) i Politechnika Warszawska (PW). Zostały wyszukane publikacje z 2022 roku mające w tytule nazwę danego materiału.

6. ANALIZA POSZCZEGÓLNYCH KRAJÓW INICJATYWY TRÓJMORZA W KONTEKŚCIE PROJEKTÓW 3W – WĘGIEL

6.1 Ogólny zarys krajów Trójmorza w kontekście rozwoju technologii węglowych i nanotechnologii (z uwzględnieniem współpracy między krajami na tyku technologiczno-wdrożeniowym).

Inicjatywa Trójmorza zrzesza 13 krajów Europy Środkowej i Wschodniej w celu realizacji wspólnych projektów w obszarze rozwoju energetyki i łączności infrastruktury. W tym roku Mołdawia i Ukraina uzyskały status państwa stowarzyszonego, dzięki czemu ułatwiona zostanie integracja tych państw z Unią Europejską. Koncept zapoczątkowany w 2015 roku dzisiaj stanowi oś politycznej i ekonomicznej współpracy. W kontekście celów inicjatywy Trójmorza warta uwagi jest analiza poszczególnych krajów, nakładów R&D oraz lokalnych możliwości rozwoju technologii węglowych i nanowęglowych.

Kluczowe Inicjatywy i Projekty

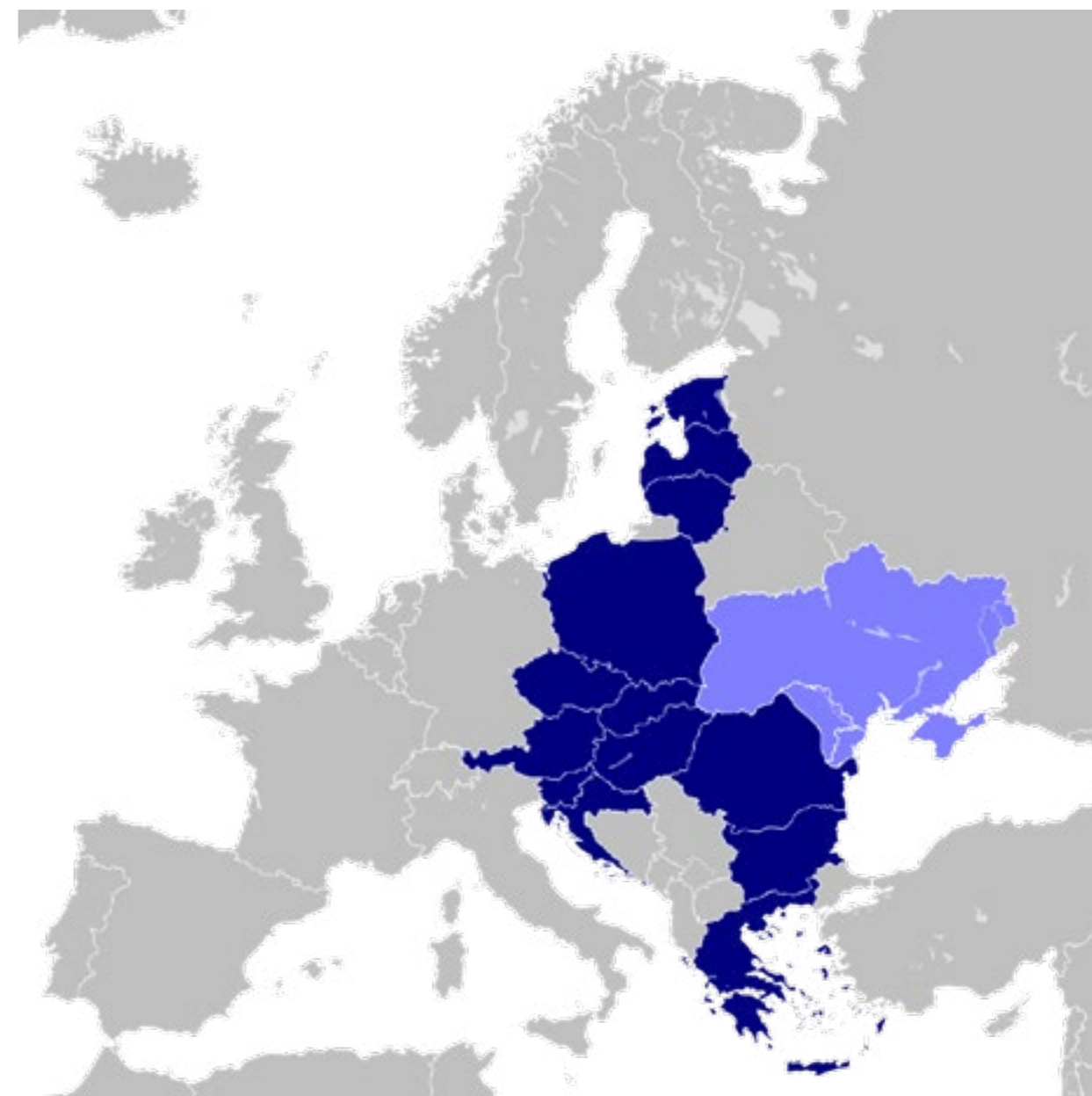
Estonia

Na podstawie danych statystycznych StatNano Estonia jest jednym z krajów Trójmorza, który **najmocniej wspiera i wdraża innowacje patentowe w dziedzinie nanotechnologii**. Widzimy to poprzez aktywność przedsiębiorstw takich jak [TCI Chemicals](#), dostarczającej surowce chemiczne i węglowe, [UP Catalyst](#), skupiające się na nanocząstkach węgla, grafenu, grafitu czy nanorurek węglowych pozyskiwanych z przemysłowych emisji CO₂, czy dynamicznego startupu [Skeletontech](#), wdrażającego innowacyjne baterie i akumulatory oparte o węgiel i grafen. Trendem rozwoju technologii węglowych w Estonii jest **cleantech i dekarbonizacja**, mocno wspierana przez estońskie środowiska startupowe i akceleracyjne oraz instytuty wspierające rozwój nowych technologii przemysłowych takie jak [NANOARC](#).

Estoński rynek technologii i usług opartych o włókna węglowe jest również mocno rozwinięty, oferując zastosowania i możliwości rozwoju projektów w szerokim wachlarzu branż produkcyjnych.

Warte uwagi przedsiębiorstwa: [EST Carbon](#), [Erisimet](#).

Talin, stolica Estonii, aktywnie wspiera zagraniczne inicjatywy związane z mobility, energetyką i odnawialnymi źródłami energii co jest potencjalną szansą na sprowadzenie przedsiębiorstw z obszaru technologii węglowych. Wartym odnotowania jest fakt, że wg. rankingu StartupBlink, Estonia i Talin są jednymi z najbardziej atrakcyjnych miejsc dla rozwoju startupów w obszarze Europy Wschodniej.



Rysunek 1 Mapa przedstawiająca kraje Inicjatywy Trójmorza

Litwa

Litwa, mimo aktywności akademickiej w obszarze technologii węglowych, wydaje się dostrzegać ograniczone korzyści z podejmowania większych inicjatyw w tym zakresie. Poza spółkami takimi jak [Nanoland Baltic](#) zajmującymi się wdrażaniem nanotechnologii węglowych do rozwiązań przemysłowych, Litwa koncentruje się głównie na włóknach węglowych.

Obszary koncentracji działań to: **cleantech, dekarbonizacja oraz technologie związane ze środowiskiem, zmniejszaniem śladu węglowego oraz energetyką.**

Mimo silnego środowiska startupowego, litewskie przedsiębiorstwa skupiają się w większości na obszarach usług IT i w znacznie mniejszym stopniu na branżach przemysłowych i wytwórczych (7% startupów).

Warte uwagi przedsiębiorstwa:

[Baltic Nano Technologies](#), [Fat Carbon Materials](#), [Techvitas](#).

Łotwa

Łotwa jest kolejnym krajem, którego priorytetem są działania w obszarze cleantech i greentech. Mimo tego, dzięki rozwiniętemu środowisku startupowemu, widzimy start-upy zajmujące się produkcją surowców materiałów grafenowych takie jak [Adianano](#) a także sporą ilość przedsiębiorstw zajmujących się dojrzałą technologią kompozytów opartych o włókna węglowe.

Co interesujące, inicjatywy rządu Litewskiego dążą do wykorzystania technologii węglowych (kompozyty oparte o grafen) w przemyśle zbrojeniowym, alokując na projekty badawczo-rozwojowe 500 000\$.

Warte uwagi przedsiębiorstwa:

[Kompozitis](#), [OCR Composites](#).

Republika Czeska

Według statystyk StatNano, w skali Trójmorza Republika Czeska jest druga po Polsce w rankingach publikacji związanych z węglem i nanotechnologią. Znajduje to odzwierciedlenie w dynamicznym i rozwiniętym środowisku firm i projektów R&D skupiających się wokół węgla. Firma [Advamat](#) zajmuje się powłokami diamentowymi DLC oraz technologią deponowania warstw PVD, [Nanopharma](#) rozwija innowacyjne technologie w oparciu o nanowłókna węglowe, [GrapheneUP](#) jest jednym z największych producentów grafenu warstwowego w Europie. Na czeskim rynku materiałów węglowych znajdziemy zarówno producentów surowców ([NanoChemigroup](#)) i gotowe produkty (np. [Inocure](#), [Nanotrade](#)) co daje świadectwo otwartości przedsiębiorstw na projekty wdrożeniowe. IQS Nano, Kordcarbon, 2mparts.

Warte uwagi przedsiębiorstwa:

[IQS Nano](#), [Kordcarbon](#), [2mparts](#).

Austria

Austria charakteryzuje się największą ilością patentów nanotechnologicznych spośród krajów trójmorza jednakże nie znajduje to odzwierciedlenia w węglowych zainteresowaniach R&D. Podążając trendem cleantech i greentech, dominującym obszarem jest dekarbonizacja oraz redukcja zanieczyszczeń. Interesującym przykładem jest startup [CarbonCleanup](#), specjalizujący się w usuwaniu odpadów włókien węglowych czy projekt [ViennaGreenCO2](#), który zajmuje się odzyskiwaniem węgla ze spalin. Zgodnie z analizą austriackiego ministerstwa, jednym z pożądanych kierunków rozwoju jest branża mobility i lekkie materiały konstrukcyjne co daje szanse na rozwój węglowych kompozytów. Motorem napędowym nowych technologii jest Austrian NANO Initiative, rządowy projekt finansowania i koordynacji krajowych projektów wdrożeniowych, w obszarach m.in. takich jak nanowarstwy, kompozyty polimerowe, litografia czy funkcjonalne powłoki.

Warte uwagi przedsiębiorstwa:

[Simplon](#), [Carbon Solutions](#), [Action Composites](#).

Słowacja

W obszarze technologii opartych o węgiel Słowacja nie odstaje od pozostałych krajów Trójmorza. Ekosystem startupowy skupia w większości przedsiębiorstwa związane z usługami i produktami IT oraz na sektorze cleantech. Szczątkowe dane wskazują na relatywny brak aktywności w kierunku materiałów węglowych poza włóknami węglowymi. [Danubia NanoTech](#) zajmuje się produkcją surowców nanocząstek grafenu i nanorurek węglowych. Spora część projektów R&D wydaje się być wspierana w obszarze materiałów kompozytowych i włókien węglowych.

Warte uwagi przedsiębiorstwa:

[R&D Composite](#), [Carbon Parts Slovakia](#).

Słowenia

Brak dostępnych danych nt. innowacji i projektów związanych z węglem i nanowęglem sugeruje relatywny brak przemysłowej aktywności projektowej i R&D w kierunku węgla w tym kraju. Rynek włókien węglowych jest za to dobrze rozwinięty i charakteryzuje się szeroką gamą przedsiębiorstw produkcyjnych.

Warte uwagi przedsiębiorstwa:

[Nanocenter](#), [Rok's Carbon](#), [Carbonin](#), [Hive-Carbon](#), [Carbonautica](#).

Chorwacja

Brak dostępnych danych nt. innowacji i projektów związanych z węglem i nanowęglem sugeruje relatywny brak przemysłowej aktywności projektowej i R&D w kierunku węgla w tym kraju. Podobnie jak w przypadku Słowenii, rynek węglowy to głównie dojrzałe przedsiębiorstwa zajmujące się kompozytami na bazie włókien węglowych. Wyjątkiem jest nowoczesne przedsiębiorstwo [Rimac Automobili](#), rozwijające się w branży automotive, aktywnie interesujące się pracami R&D i zastosowaniem grafenu, nanorurek i nanocząstek węgla w swoich produktach (akumulatory samochodowe, materiały konstrukcyjne).

Warte uwagi przedsiębiorstwa:

[Kembico Plast](#).

Węgry

Brak dostępnych danych nt. innowacji i projektów związanych z węglem i nanowęglem sugeruje relatywny brak przemysłowej aktywności projektowej i R&D w kierunku węgla w tym kraju. Podobnie jak w pozostałych krajach Trójmorza, Węgry głównie zajmują się produkcją włókien węglowych, czego dowodem jest centralizacja produkcji globalnego giganta włókien węglowych Zoltek właśnie na Węgrzech.

Warte uwagi przedsiębiorstwa:

[RS-Carbon](#), [Carboncomp](#).

Rumunia

Brak dostępnych danych nt. innowacji i projektów związanych z węglem i nanowęglem sugeruje relatywny brak przemysłowej aktywności projektowej i R&D w kierunku węgla w tym kraju. Przykładem przedsiębiorstwa zajmującego się syntazą płatków grafenu w Rumunii jest [SourceGraphene](#). Przedsiębiorstwa zajmujące się włóknami węglowymi skupiają się wokół branży wytwórczej, grzewczej oraz energetycznej (panele słoneczne). Wartym odnotowania jest niedawne wprowadzenie reformy podatkowej dla projektów R&D, stanowiącej potencjalną zachętę dla współpracy zagranicznych oraz realizacji nowych wdrożeń opartych również o technologie węglowe.

Warte uwagi przedsiębiorstwa:

[Balan Composites](#), [Thermal Technology](#).

Bułgaria

Brak dostępnych danych nt. innowacji i projektów związanych z węglem i nanowęglem sugeruje relatywny brak przemysłowej aktywności projektowej i R&D w kierunku węgla w tym kraju. Przedsiębiorstwo [Graph-On](#) specjalizuje się w syntezie płatków grafenu i rozwija projekty R&D w obszarach elektroniki i energetyki. Interesującą inicjatywą jest współpraca Bułgarii i Rumunii w projekcie [Black Sea ClimAccelerator](#), który promuje i wspiera rozwój startupów i innowacji w obszarze greentech.

Warte uwagi przedsiębiorstwa:

[Multitex Composites](#).

Grecja

Grecja jest krajem cechującym się umiarkowaną aktywnością w obszarze nanotechnologii, w tym nanotechnologii węglowych. Brak dostępnych danych nt. innowacji i projektów związanych z węglem i nanowęglem sugeruje relatywny brak przemysłowej aktywności projektowej i R&D w kierunku węgla w tym kraju. Interesującym przykładem jest projekt firmy Adamant Composites, który ma na celu wytwarzanie produktów wzmocnionych nano (tkaniny wstępnie impregnowane modyfikowane nanorurkami węglowymi) z identyfikowalną kontrolą jakości.

Warte uwagi przedsiębiorstwa:

[Pleione Energy](#), [NanoPhos](#), [Adamant Composites](#)

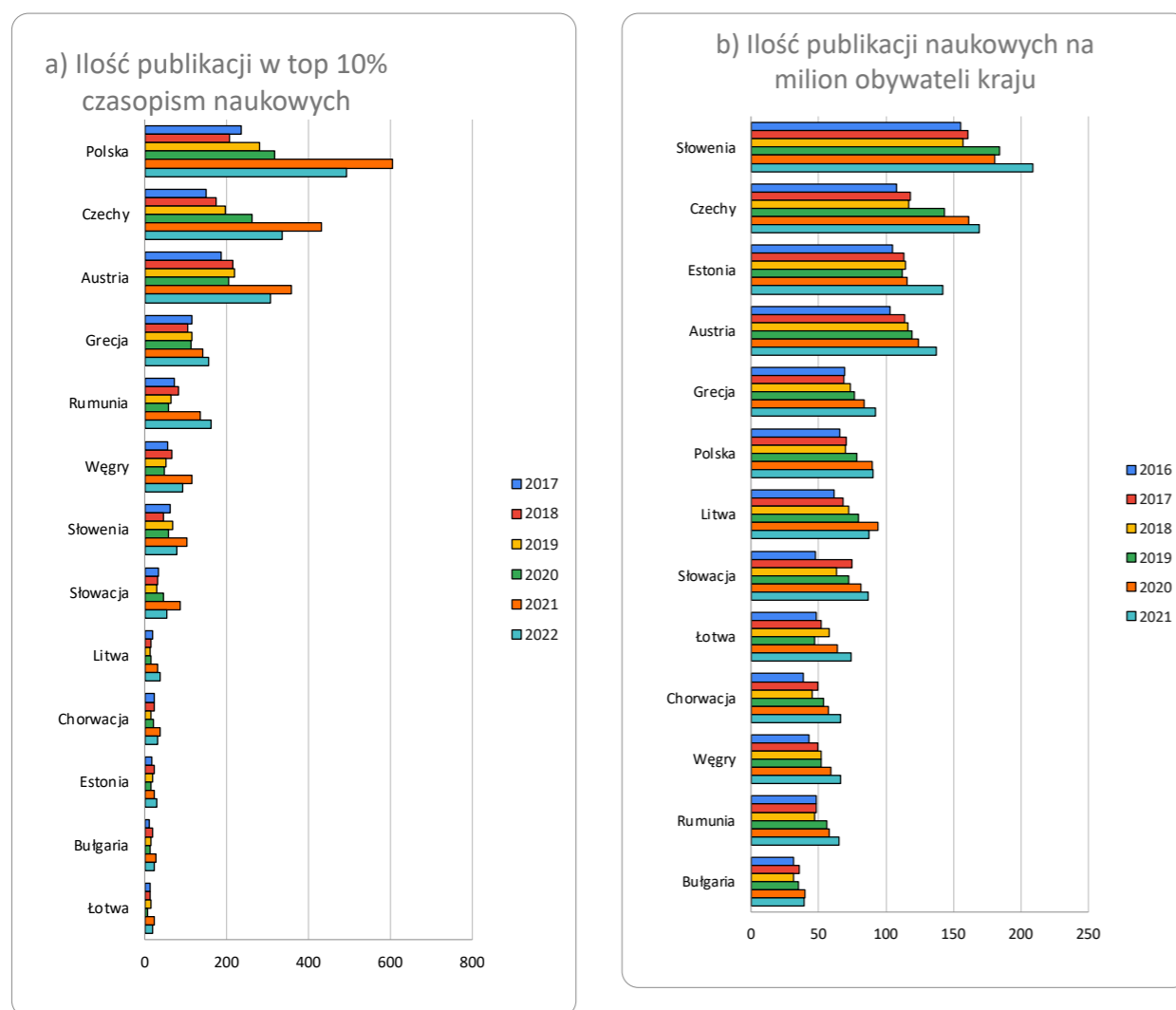
6.1.2 Analiza statystyczna.

Przyjrzyjmy się danym statystycznym związanym z publikacjami naukowymi i patentami zebranymi dla krajów Trójmorza. Dane oparte są o dziedzinę nanotechnologii, która mimo iż szeroka, jest swoistym wyznacznikiem rozwoju technologii węglowych i nanowęglowych.

Jednym z parametrów świadczących o innowacyjności i dynamice powstawania nowych technologii jest ilość akademickich publikacji naukowych. Na podstawie staty-

styku StatNano, Polska, Czechy i Austria przodują w pracach badawczych, aczkolwiek w przeliczeniu na ilość mieszkańców kraju to Słowenia wydaje się być najbardziej naukowo rozwiniętym krajem. Nie znajduje to jednak odzwierciedlenia w projektach i inicjatywach R&D, gdzie poza Polską, dominują Estonia oraz Czechy.

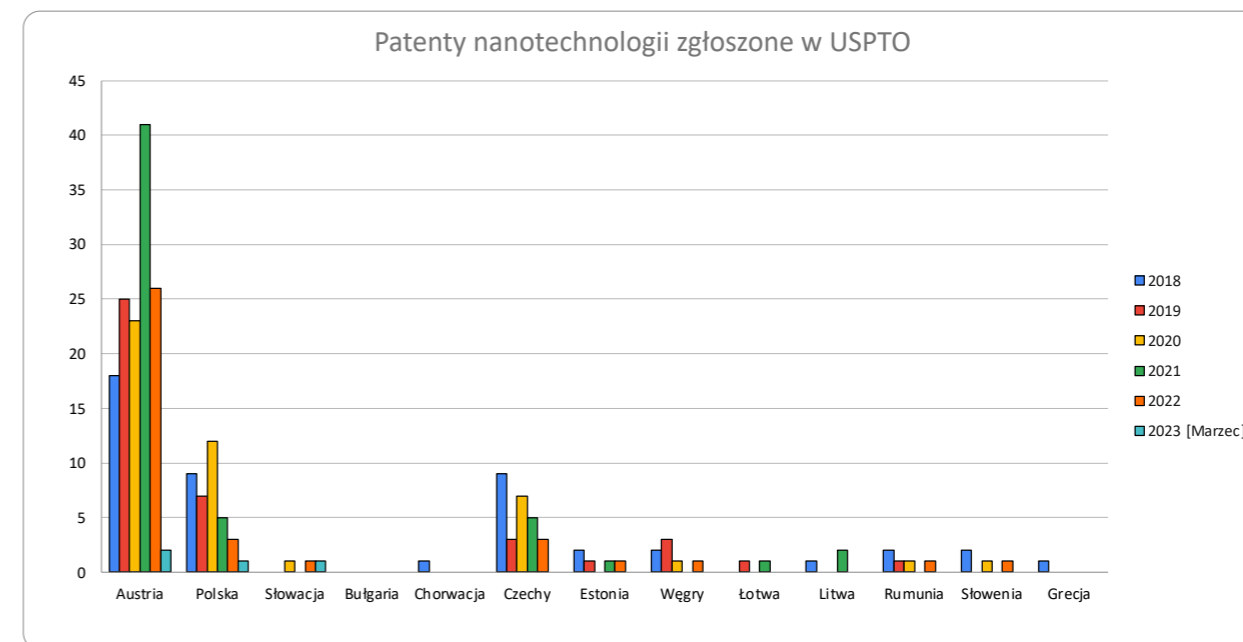
Wykres 26. Liczba publikacji w poszczególnych krajach Inicjatywy Trójmorza.



źródło: StatNano

Badania naukowe korelują z badaniami wdrożeniowymi co widzimy na statystykach zgłaszanych wniosków patentowych do USPTO. Najwięcej nanotechnologicznych wniosków patentowych w Trójmorzu zgłaszanych jest z Austrii, Polski oraz Republiki Czeskiej co świadczy o rozwinięciu środowiska R&D i możliwości rozwoju nowych technologii.

Wykres 27. Patenty nanotechnologii zgłoszone w USPTO w latach 2018-2023.



Podsumowanie

Po analizie przemysłu węglowego i nanowęglowego w trzynastu krajach Trójmorza widzimy dominację na polu badawczo-rozwojowym Polski, Austrii, Estonii oraz Czech. Znajduje to odzwierciedlenie nie tylko w liczbie publikacji, ale również w aktywności badawczej i innowacyjnej. Konwencjonalne technologie włókien węglowych są szeroko dostępne i również szeroko rozwijane oraz wykorzystywane we wszystkich krajach Trójmorza.

Warto odnotować, iż wszystkie mają dostęp do finansowania badań i rozwoju w ramach projektów UE. Polityczne środowisko samej inicjatywy lokalna sytuacja geopolityczna Europy Wschodniej i Środkowej wspiera i wręcz wymaga zacieśniania współpracy międzynarodowej i realizacji wspólnych projektów. Głównymi obszarami

tematycznymi są branże cleantech, greentech, energetyka oraz szeroko-pojęte działania wspierające lokalne inicjatywy badawczo-rozwojowe. W tym kontekście, zastosowania i możliwości rozwoju technologii węglowych wykazują potencjał do wykorzystania efektu synergii między krajami inicjatywy w obszarze wspólnej promocji rozwijanych technologii na arenie międzynarodowej, co przełoży się na wzrost rozpoznawalności firm i organizacji z branży, a także przyspieszy jej rozwój. Mając na uwadze duże zainteresowanie obszarami cleantech i greentech w krajach Trójmorza aspekty ekologiczne i energetyczne związane z zastosowaniem materiałów węglowych mogą przyczynić się do zrównoważonego rozwoju regionu.

7.1 Przegląd aktualnych dokumentów strategicznych UE i Polskich uwzględniających węgiel.

1. New European Innovation Agenda

- Inicjatywa europejska skierowana jest na rozwój sektora deep-tech, co ma na celu umocnienie jej dominującej roli w kierowaniu i kształtowaniu zmian ekologicznych i technologicznych. Działania podzielone są na pięć kluczowych obszarów: finansowe wsparcie dla rozwijających się przedsiębiorstw, stymulowanie innowacji poprzez przestrzenie doświadczalne i zamówienia publiczne, wspieranie regionalnych innowacji państw i regionów członkowskich, implementacja innowacji przyciągających talenty z dziedziny zaawansowanych technologii, a także udoskonalenie instrumentów polityki, aby lepiej koordynować działania rozwojowe.
- Cele inicjatywy:
 - Ułatwienie dostępu do finansowania europejskich start-upów i przedsiębiorstw scale-up,
 - Tworzenie piaskownic regulacyjnych,
 - Stworzenie regionalnych dolin innowacji,
 - Przyciąganie i zatrzymywanie talentów technologicznych w Europie,
 - Dostosowanie polityki pod rozwój zaawansowanych technologii.

2. Horyzont Europa/Horizon Europe

- Horyzont Europa, Program Ramowy Unii Europejskiej, jest największym programem badawczym i innowacyjnym w historii Unii. Przez okres siedmiu lat (2021-2027) zostanie zainwestowane łącznie 95,5 mld euro w pionierskie badania i innowacyjne rozwiązania.
- Cele inicjatywy:
 - Wzmocnienie bazy naukowej i technologicznej UE oraz europejskiej przestrzeni badawczej,
 - Zwiększenie europejskich zdolności w zakresie innowacji, konkurencyjności i liczby miejsc pracy,
 - Realizację priorytetów obywateli oraz utrzymanie europejskiego modelu społeczno-gospodarczego i związanych z nim wartości.

3. Horyzont Europa/Horizon Europe

- Podprogram LIFE dedykowany transformacji na energię czystą dysponuje prawie 1 miliardem euro na lata 2021-2027. Jego celem jest wsparcie przejścia do gospodarki energooszczędnej, zasilanej odnawialnymi źródłami energii, klimatycznie neutralnej i wytrzymałej, poprzez finansowanie działań koordynacyjnych i pomocniczych na terenie całej Europy.
- Cele inicjatywy:
 - Tworzenie ram polityki krajowej, regionalnej i lokalnej wspierających przejście na czystą energię,
 - Przyspieszenie wdrażania technologii, cyfryzacji, nowych usług i modeli biznesowych oraz podnoszenie kwalifikacji zawodowych na rynku wspierających przejście na czystą energię,
 - Przyciąganie prywatnego finansowanie zrównoważonej energii,
 - Wspieranie rozwoju lokalnych i regionalnych projektów inwestycyjnych,
 - Zaangażowanie i wzmocnienie pozycji obywateli w przechodzeniu na czystą energię.

4. AMI 2030 – The European Advanced Materials Initiative

- AMI 2030 to inicjatywa, która ma na celu przedstawienie nowego spojrzenia na zaawansowane materiały dla Europy w celu utrzymania konkurencyjności. Aby sprostać wymaganiom swoich obywateli, Europa musi przyjąć kompleksową strategię dla pionierskich zaawansowanych materiałów, które mogą zapewnić szybkie, elastyczne i skuteczne rozwiązania dla wyzwań i możliwości stojących przed europejskim społeczeństwem, gospodarką i środowiskiem. Głównym celem Inicjatywy jest przyspieszenie postępu w zakresie zrównoważonych zaawansowanych materiałów, które posłużą jako podstawa przejścia Europy do bardziej ekologicznej i cyfrowej przyszłości, jednocześnie wspierając dobrobyt i autonomię na kontynencie.
- Cele:
 - Wykorzystanie przełomowych technologii do szybkiego opracowywania skalowalnych zaawansowanych rozwiązań materiałowych,
 - Opracowanie bezpiecznych i zrównoważonych zaawansowanych materiałów i powiązanych technologii o niskim wpływie na środowisko i modeli biznesowych o obiegu zamkniętym,
 - Wspieranie wdrażania innowacji i dostępu do infrastruktury i usług,
 - Promowanie działań informacyjnych, rozpowszechniania i dalszego wykorzystania,
 - Wspieranie gotowości regulacyjnej i przyczynianie się do skutecznego wdrażania kluczowych przepisów, kodeksów i norm wspierających projektowanie, rozwój i wykorzystanie materiałów zaawansowanych,
 - Wspieranie edukacji i umiejętności (zarządzanie

- wiedzą),
- Budowanie europejskiego ekosystemu materiałów zaawansowanych,
- Zaangażowanie we współpracę międzynarodową.

5. Innowacje dla środowiska

- Program ma na celu zastosowanie nowoczesnych technologii dla ochrony środowiska, które pomogą osiągnąć cele Europejskiego Zielonego Ładu, włączając neutralność klimatyczną, zieloną transformację gospodarki i zrównoważony rozwój. W ramach tej inicjatywy będą realizowane działania mające na celu stymulowanie ekonomicznego rozwoju kraju w stronę nowoczesnej, ekologicznej gospodarki z zamkniętym obiegiem.
- Cele:
 - łagodzenie zmian klimatu,
 - adaptacja do zmian klimatu,
 - zrównoważone wykorzystywanie i ochrona zasobów wodnych i morskich,
 - gospodarka o obiegu zamkniętym, w tym zapobieganie powstawaniu odpadów i recykling,
 - zapobieganie i kontrola zanieczyszczeń powietrza, wody i ziemi,
 - ochrona i odbudowa bioróżnorodności i ekosystemów.

6. Krajowy Program Badań

- Krajowy Program Badań (KPB) ma za zadanie przeznaczać środki finansowe na najważniejsze badania naukowe i prace rozwojowe w kraju. Krajowy Program Badań jest podstawą do przygotowania programów strategicznych Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Dodatkowo, w okresie od 2011 do 2020 roku Centrum realizowało programy i projekty o strategicznym charakterze, które zostały podjęte wcześniej i nie zostały objęte Krajowym Programem Badań.
- Cele:
 - Prowadzenie prac badawczych i rozwojowych w zakresie poprawy efektywności energetycznej,
 - Ograniczenie zapotrzebowania na paliwa i energię,
 - Wzrost bezpieczeństwa energetycznego kraju,
 - Ograniczenie wpływu energetyki na środowisko.

7. Strategia Krajowej Inteligentnej Specjalizacji

Krajowe Inteligentne Specjalizacje wyznaczają priorytety społeczno-gospodarcze Polski w obszarze badań, rozwoju i innowacji. Skupienie aktywności inwestycyjnej na badania, rozwój i innowacje w obszarach priorytetowych zapewnia zwiększenie wartości dodanej gospodarki i jej konkurencyjności na rynkach zagranicznych.



Wyznaczanie inteligentnych specjalizacji bazuje na:

- Istniejącym potencjale naukowym i biznesowym w obszarze B+R+I
- Obecnych możliwościach rozwoju gospodarki
- Istniejących powiązaniach kooperacyjnych
- Trendach rozwojowych i niszach rynkowych, w których Polska może mieć przewagi konkurencyjne w stosunku do innych krajów.

7.2 Czy Polska potrzebuje strategii dla węgla, czy węgiel stanie się substytutem pierwiastków strategicznych?

Postęp technologiczny i dynamiczny rozwój nowoczesnych materiałów w dużej mierze uzależniony jest od metali ziem rzadkich (REE z ang. Rare Earth Elements), które w ostatnich latach zyskały miano surowców strategicznych. Rynek tych materiałów stanowi niewielki odsetek produkcji górniczej i metalurgicznej, jednakże odgrywa kluczową rolę w dobie rozwoju nowoczesnych dziedzin przemysłu związanych z transformacją energetyczną i cyfrową, a także obronności.

Mając na uwadze ograniczone możliwości wydobycia tych surowców strategicznych konieczne jest już teraz poszukiwanie materiałów, które uniezależnią postęp technologiczny od trudno dostępnych i drogich pierwiastków. Przykładem takich materiałów są materiały bazujące na węglu, które są coraz szerzej stosowane i wykazują właściwości przewyższające parametrami surowce strategiczne.

Materiały bazujące na pierwiastkowych odmianach węgla mają szansę w dużej mierze wspierać postęp technologiczny, rewolucję cyfrową i rozwój nowoczesnych branż przemysłu.

Polska jest czwartym europejskim rynkiem i największym rynkiem regionu Europy Środkowo-Wschodniej, dzięki czemu możemy predestynować do roli lidera w zakresie technologii węglowych. Aby osiągnąć ten cel konieczne jest opracowanie strategii uwzględniającej potencjał naukowy i badawczy polskich ośrodków naukowych.

Polska wyróżnia się dynamicznym rozwojem badań naukowych i innowacji związanych z materiałami węglowymi, co przyczynia się do wzrostu jej roli na arenie międzynarodowej. Dowodem na to są liczne publikacje naukowe oraz rosnąca liczba realizowanych projektów w tej dziedzinie.

Opracowanie strategii dla węgla jest kluczowym krokiem, który pomoże wskazać najbardziej obiecujące kierunki rozwoju, posiadające potencjał do budowy przewagi konkurencyjnej Polski na światowym rynku. Strategia ta będzie miała za zadanie określić konkretne cele i wskaźniki, które pozwolą skutecznie rozwijać materiały węglowe.

Strategia pozwoli na wykorzystanie pełnego potencjału węgla jako materiału przyszłości, zarówno w aspekcie zastosowań technologicznych, jak i ekologicznych. Biorąc pod uwagę rosnące znaczenie badań naukowych i innowacji w dzisiejszym świecie, Polska będzie mogła aktywnie uczestniczyć w międzynarodowym współzawodnictwie i być liderem w dziedzinie materiałów węglowych. Opracowanie strategicznego planu dla węgla przyczynią się do dalszego wzmocnienia pozycji Polski jako istotnego gracza na międzynarodowej scenie naukowej i tech-

nologiczne oraz komercjalizacji opracowanych w kraju rozwiązań. Ostatecznie pozwoli to na efektywne wykorzystanie materiałów na bazie węgla w różnych branżach, i przyspieszenie rozwoju gospodarczego kraju.

Jaka strategia dla węgla?

Polska strategia dla materiałów węglowych powinna być oparta na zrównoważonym podejściu, uwzględniając nie tylko kwestie związane z rozwojem gospodarczym, ale także ochroną środowiska. Dokument ten powinien określać cele rozwoju technologii węglowych w Polsce i wyznaczać kierunki działań niezbędnych do ich osiągnięcia w perspektywie co najmniej 10 lat.

W ramach strategii, cele powinny być jasno określone i odpowiadać różnym obszarom zastosowań materiałów węglowych. Warto uwzględnić cele związane z efektywnością energetyczną, redukcją emisji gazów cieplarnianych, innowacyjnością oraz zrównoważonym wykorzystaniem surowców węglowych.

Ważnym aspektem strategii powinno być wsparcie dla działalności badawczo-rozwojowej i innowacyjnej. Konieczne jest zdefiniowanie programów wsparcia finansowego oraz pozafinansowych form wsparcia dla projektów rozwijających technologie węglowe. Istotne jest skoncentrowanie się na projektach o wysokiej gotowości wdrożeniowej oraz potencjale do rynkowej komercjalizacji. To obejmuje także promowanie tworzenia i rozwoju start-upów oraz spin-offów, które mogą przyspieszyć proces innowacji w sektorze.

Kolejnym istotnym elementem strategii jest zdefiniowanie działań mających na celu zwiększenie konkurencyjności polskich rozwiązań technologicznych na arenie międzynarodowej. To może obejmować współpracę międzynarodową, promocję polskich osiągnięć oraz udział w międzynarodowych projektach badawczych. Strategia dla węgla powinna podkreślać znaczenie zrównoważonego rozwoju, co oznacza uwzględnienie równowagi między rozwojem gospodarczym a ochroną środowiska. Wdrażanie takiej strategii może przyczynić się do transformacji sektora węglowego w Polsce i przynieść korzyści zarówno dla gospodarki, jak i dla środowiska naturalnego.

Podsumowując węgiel będzie odgrywał coraz większą rolę jako materiał wspierający zarówno transformację energetyczną, jak i rozwój nowoczesnych technologii. Ewentualna strategia dla tego materiału powinna uwzględniać wypracowanie narzędzi wspierających komercjalizację technologii opracowywanych w polskich ośrodkach naukowych i przedsiębiorstwach.

8.1 Rekomendacje – decydenci i administracja publiczna.

- W procesie opracowywania i wdrażania krajowych, regionalnych i lokalnych strategii w ramach polityki innowacyjnej rekomenduje się uwzględnienie potencjału i możliwości materiałów węglowych jako materiału przyszłości znajdującego zastosowanie w kluczowych branżach gospodarki – np. energetyka, motoryzacja.
- Wspieranie publicznych działań na rzecz rozwoju polskich technologii węglowych powinno uwzględniać realizację dedykowanych programów wsparcia finansowego dla projektów zarówno na etapie badawczo-rozwojowym, jak i wdrożenia innowacyjnych rozwiązań
- Aktualna Strategia Krajowej Inteligentnej Specjalizacji w sposób niewystarczający eksponuje materiały na bazie węgla. Podniesienie rangi materiałów węglowych w ramach Krajowej Inteligentnej Specjalizacji nr 8 (np. w formie dedykowanego obszaru w ramach KIS8 Zaawansowane materiały i nanotechnologie)
- Podmioty publiczne powinny uwzględniać podnoszenie świadomości społeczeństwa z zakresu wykorzystania technologii węglowych w codziennym życiu i promować wynalazki opracowywane w polskich jednostkach naukowych i przedsiębiorstwach poprzez realizację kampanii edukacyjnych i informacyjnych.

8.2 Rekomendacje – biznes i nauka.

- Przedsiębiorstwa prowadzące działalność badawczo-rozwojową w zakresie technologii i materiałów węglowych powinny w większym stopniu wykorzystywać istniejące lub tworzyć nowe sieci współpracy do wymiany wiedzy i doświadczenia, wspólnego poszukiwania rozwiązań dla napotkanych wyzwań, a także integracji środowiska.
- Pomimo licznych zachęt do podejmowania współpracy przedsiębiorstw z jednostkami naukowymi w postaci dedykowanych programów wsparcia finansowanych ze środków publicznych czy też dodatkowych punktów podczas oceny projektów dla przedsiębiorstw współpracujących z jednostkami naukowymi, poziom i zakres tej współpracy wciąż są na niskim poziomie. Należy rozwijać dodatkowe mechanizmy współpracy i transferu wiedzy. Przykładem narzędzia zachęcającego do podejmowania współpracy jest inicjatywa Sieci Badawczej Łukasiewicz „Wyzwania Łukasiewicza”, w której oferowane jest bezpłatne wsparcie w postaci pomysłów i rekomendacji ekspertów dla problemów technologicznych zgłaszanych przez przedsiębiorstwa.
- Aplikacyjne podejście do prowadzonych badań naukowych – badania powinny być ukierunkowane na praktyczne wdrożenie w gospodarce, a nie tylko na odkrywaniu nowej wiedzy i postępie naukowym.

Raport ten przedstawia obszerną analizę rynku materiałów węglowych, takich jak grafen, nanorurki węglowe, fulereny, włókna węglowe z uwzględnieniem ich potencjalnych zastosowań. Materiały i technologie węglowe to wszechstronna grupa materiałów, posiadających cechy i właściwości oczekiwane przez nowoczesne sektory gospodarki.

O węglu coraz częściej i głośniejszą mówi się nie tylko w kontekście jego tradycyjnego zastosowania jako surowca kopalnego wykorzystywanego jako źródło energii, ale w kontekście wykorzystania jego alotropowych odmian w przemyśle przyszłości.

W rozwoju materiałów opartych na węglu szczególną uwagę warto zwrócić na:

- **Zrównoważony rozwój, gospodarka cyrkularna** – badania nad materiałami węglowymi przyczyniają się do opracowywania bardziej zrównoważonych i efektywnych produktów, które minimalizują wpływ na środowisko naturalne i wpisują się w założenia gospodarki obiegu zamkniętego
- **Innowacje** – materiały na bazie węgla to wciąż stosunkowo nowa dziedzina naukowa, która ma ogromny potencjał wpływu na różne dziedziny życia. Stwarzają one nowe możliwości i perspektywy dla przemysłu.
- **Współpraca ekosystemie innowacji** – współpraca między interesariuszami na poziomie międzynarodowym pozwala na wymianę wiedzy i najlepszych praktyk. Dzięki temu możliwy jest szybszy postęp technologiczny oraz zwiększenie szans na aplikacje w przemyśle.

Podsumowując, węgiel dzięki swojej wszechstronności staje się nie tylko ważnym, ale również przyszłościowym materiałem. Dla rozwoju branży kluczowe będzie dążenie do zrównoważonego rozwoju i innowacji, aby wykorzystać materiały na bazie węgla w sposób jak najbardziej korzystny dla społeczeństwa i środowiska naturalnego.

Polska wyróżnia się na tle Europy w prowadzeniu badań nad rozwojem materiałów węglowych i ich zastosowań oraz ma potencjał do budowy silnej przewagi konkurencyjnej nie tylko w Europie, ale również na świecie.

Materialy źródłowe

1. Alipour E, Alimohammady F, Yumashev A, Maselena A: Fullerene C60 containing porphyrin-like metal center as drug delivery system for ibuprofen drug. *J Mol Model* 2020:26.
2. Bagheri Novir S, Aram MR: Quantum mechanical simulation of Chloroquine drug interaction with C60 fullerene for treatment of COVID-19. *Chem Phys Lett* 2020, 757:137869.
3. Biuletyn AGH, marzec 2020, nr 147
4. Filippo Pinelli, Chiara Piras, Filippo Rossi (2022). A perspective on graphene based aerogels and their environmental applications. *FlatChem*,36, 100449, <https://doi.org/10.1016/j.flatc.2022.100449>.
5. <https://3seas.eu/>
6. <https://cordis.europa.eu/article/id/157581-nanocarbon-to-energy-efficient-devices/pl>
7. <https://e-estonia.com/tallinn-invites-companies-to-test-their-sustainable-innovation-solutions/>
8. <https://e-estonia.com/the-booming-estonian-cleantech-ecosystem/>
9. <https://nanoone.ca/technology/market-opportunity/>
10. <https://startuplatvia.eu/>
11. <https://statnano.com/>
12. <https://statnano.com/>
13. <https://statnano.com/report/s29>
14. <https://tvn24.pl/najnowsze/trojmorze-komisja-spraw-zagranicznych-izby-reprezentantow-poparla-rezolucje-ws-trojmorza-4711656>
15. <https://www.bioglyco.com/monosaccharides-based-glycomedicine-development.html>
16. <https://www.cleantech.sk/en/>
17. https://www.ffg.at/sites/default/files/allgemeine_downloads/thematische%20programme/Produktion/clusterkatalog_en_0.pdf
18. <https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/strony/o-funduszach/projekty/lista-projektow/lista-projektow-realizowanych-z-funduszy-europejskich-w-polsce-w-latach-2014-2020/>
19. <https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/strony/o-funduszach/projekty/lista-projektow/lista-projektow-realizowanych-z-funduszy-europejskich-w-polsce-w-latach-2014-2020/>
20. <https://www.funduszeuropejskie.gov.pl/strony/o-funduszach/projekty/lista-projektow/lista-projektow-realizowanych-z-funduszy-europejskich-w-polsce-w-latach-2014-2020/>
21. <https://www.gov.pl/web/ncbr/analizy>
22. https://www.graphenanodental.com/descargas-documentos/catalogo-gcam_en.pdf
23. <https://www.graphene-info.com/latvia-invests-project-develop-graphene-enhanced-ballistic-protective-vest>
24. <https://www.iea.org/news/lithuania-is-well-placed-to-lead-on-clean-energy-and-energy-security-in-the-baltic-region-according-to-iea-policy-review>
25. <https://www.internationaltaxreview.com/article/2bo696lo9nskdgh5f1ts/local-insights/romania-a-revamped-r-d-tax-incentive-framework-for-2023>
26. <https://www.nik.gov.pl/aktualnosci/gospodarka/historia-upadku-grafenu.html>
27. <https://www.parp.gov.pl/component/publications/publications?language=pl>
28. https://www.ptfarm.pl/pub/File/FP/6_2009/03___biomedyczne%20zastosowania%20i%20toksycznosc%20nanorurek.pdf
29. https://www.ptfarm.pl/pub/File/FP/6_2009/03___biomedyczne%20zastosowania%20i%20toksycznosc%20nanorurek.pdf
30. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0008622322011071?via%3Dihub>
31. <https://www.startupblink.com/startups/eastern-europe>
32. <https://www.startuplithuania.com/>
33. <https://www.voxelmatters.com/ev-maker-rimac-acquires-controlling-interest-in-bugatti/>
34. Jahanpeyma F, Forouzandeh M, Rasaei MJ, Shoaie N (2019) An enzymatic paper-based biosensor for ultrasensitive detection of DNA. *Front Biosci (schol Ed)* 11:122–135
35. Maiti, D., Tong, X., Mou, X., & Yang, K. (2019). Carbon-Based Nanomaterials for Biomedical Applications: A Recent Study. *Frontiers in Pharmacology*, 9, 430833. <https://doi.org/10.3389/fphar.2018.01401>
36. Minami K, Okamoto K, Harano K, Noiri E, Nakamura E: Hierarchical assembly of siRNA with tetraamino fullerene in physiological conditions for efficient internalization into cells and knockdown. *ACS Appl Mater Interfaces* 2018, 10:19347–19354
37. Murjani, B.O., Kadu, P.S., Bansod, M. et al. Carbon nanotubes in biomedical applications: current status, promises, and challenges. *Carbon Lett.* 32, 1207–1226 (2022). <https://doi.org/10.1007/s42823-022-00364-4>
38. Nalepa P, Gawecki R, Szewczyk G, Balin K, Dulski M, Sajewicz M, Mrozek-Wilczkiewicz A, Musioł R, Polanski J, Serda M: A [60] fullerene nanoconjugate with gemcitabine: synthesis, biophysical properties and biological evaluation for treating pancreatic cancer. *Cancer Nanotechnol* 2020, 11:1–21.
39. Olszewski, R., Nadolska, M., Łapiński, M., Cieślak, B., Żelechowska, K. Solvent-Free Synthesis of Phosphonic Graphene Derivative and Its Application in Mercury Ions Adsorption, *Nanomaterials*, 2019, 9(4), 485.
40. Pan L-H, Kuo S-H, Lin T-Y, Lin C-W, Fang P-Y, Yang H-W (2017) An electrochemical biosensor to simultaneously detect VEGF and PSA for early prostate cancer diagnosis based on graphene oxide/ssDNA/PLLA nanoparticles. *Biosens Bioelectron* 89:598–605
41. Prato M., Kostarelos K., Bianco A.: Functionalized carbon nanotubes in drug design and discovery. *Acc. Chem. Res.* 2008, 1, 60-68.
42. Sadeghi MH, Tofighy MA, Mohammadi T. One-dimensional graphene for efficient aqueous heavy metal adsorption: Rapid removal of arsenic and mercury ions by graphene oxide nanoribbons (GONRs). *Chemosphere*. 2020 Aug;253:126647. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.126647. Epub 2020 Apr 4. PMID: 32276119.
43. <https://cent.uw.edu.pl/pl/projekty/mieszalniny-cieczynowych-do-zastosowan-w-superkondensatorach-harmonia-elektrochemii-nmr-i-symulacji/>
44. <https://programy.nauka.gov.pl/autorzy-innowacyjnego-opatrunku-smartheal-zwycieczami-nagrody-jamesa-dysona/>
45. <https://mamstartup.pl/smartheal-narzedzie-diagnostyczne-ran-przewleklych-zwycieczka-konkursu-nagroda-jamesa-dysona/>
46. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221171562300276X>
47. <https://fuelcellworks.com/subscribers/using-carbon-nanotubes-h3-korea-develops-the-worlds-first-noncatalytic-hydrogen-generator/>
48. <https://news.mit.edu/2021/carbon-nanotube-covid-detect-1026>
49. <https://naukawpolsce.pl/aktualnosci/news%2C27425%2Ckomorki-nowotworowe-niszczone-z-pomoca-nanoczystek-projekt-lodzkiego>
50. https://www.bac-mono.com/mono-r_innovation
51. <https://www.nanograf.com/>
52. <http://www.nanosphere.eu/produkty-i-uslugi.html>
53. <https://cordis.europa.eu/article/id/151514-fullerene-composites-for-cleaner-air/pl>
54. <https://kross.eu/pl/carbon>
55. <https://sunreef-catamarans.com/pl/sunreef-80-electric/>

Aneks 1 - Spin-offy powstałe w wyniku Programu Graphene Flagship.

Nazwa firmy	Kraj	Opis działalności	Strona internetowa
Emberion	Finlandia / Wielka Brytania	Emberion jest jedną z pierwszych firm typu spin-off powstałych w ramach programu Graphene Flagship w 2016 roku w celu komercjalizacji badań z obszaru optoelektroniki. Ich produktem są ultraczułe fotodetektory łączące tranzystory grafenowe z wydajną warstwą pochłaniającą światło, umożliwiając obserwację szerokiego zakresu widma za pomocą jednego fotodetektora.	www.emberion.com
BeDimensional	Włochy / Wielka Brytania	BeDimensional produkuje grafen, heksagonalny azotek boru i inne kryształy 2D według opracowanej przez siebie i opatentowanej metody. Głównym zastosowaniem grafenu są powłoki, farb oraz materiały stosowane w energetyce.	www.bedimensional.com
InBrain	Hiszpania	Spółka zajmuje się produkcją grafenu w zastosowaniu neuroelektronice oraz implantach.	www.inbrain-neuroelectronics.com
AstriCarbon Oy	Finlandia	AstriCarbon projektuje, produkuje i sprzedaje produkty na bazie nanowęgla.	—
Bramble Energy	Wielka Brytania	Bramble Energy jest innowatorem technologii energii odnawialnej. Zajmują się projektowaniem i produkcją wysokowydajnych, tanich ogniw paliwowych przede wszystkim w zastosowaniu w wytwarzaniu wodoru.	www.brambleenergy.com
nanoEMI	Polska	nanoEMI to firma zajmująca się rozwojem technologii, skupiająca się na nowych materiałach do ekranowania przed promieniowaniem elektromagnetycznym. Produkują również płatki grafenu.	www.nanoemi.com
HQ Graphene	Holandia	HQ Graphene jest producentem wysokiej jakości monokryształów 2D, które sprzedaje bezpośrednio do ponad 190 uniwersytetów, instytutów badawczych i firm na całym świecie. Ich klientami są naukowcy wymagający wysokiej czystości i jakości kryształów do badań naukowych. HQ Graphene produkuje również niestandardowe kryształy na zamówienie. Przykładami są półprzewodniki z domieszkami typu p lub n, stopy 2D o określonym składzie oraz inne nowe materiały warstwowe.	www.hqgraphene.com

Nazwa firmy	Kraj	Opis działalności	Strona internetowa
Sixonia Tech	Niemcy	Sixonia Tech wytwarza wielowarstwowe materiały grafenowe o dużych płatkach, które są funkcjonalizowane i formułowane tak, aby spełniały wymagania klienta. Ich grafen jest wykorzystywany w farbach, procesach syntezy czy tuszach.	www.sixonia-tech.de
Cambridge Raman Imaging	Wielka Brytania	Cambridge Raman Imaging Ltd. (CRIL) wprowadza na rynek szybkie, bezetykietowe instrumenty do obrazowania ramanowskiego. Połączenie ultraszybkich laserów światłowodowych i koherentnej spektroskopii ramanowskiej umożliwia szybkie obrazowanie bez znaczników, skanowanie guzów w kilka sekund w celu odróżnienia tkanki chorej od zdrowej.	www.cambridgeramanimaging.com
CamGraPhIC	Wielka Brytania / Włochy	Spółka zajmuje się grafenem w zastosowaniu w fotonice. CamGraPhIC wykorzystuje grafen i materiały warstwowe do tworzenia interfejsów elektrooptycznych o niskim poborze mocy.	www.camgraphic-technology.com
BioGraph Solutions	Hiszpania	BioGraph Solutions jest spółką typu spin-off utworzoną na Uniwersytecie Castilla-La Mancha, która specjalizuje się w badaniu, produkcji i charakterystyce grafenu odpowiedniego do celów biologicznych. Technologia Biograph, ma na celu opracowanie przyjaznych dla środowiska, ekonomicznych i prostych podejść do syntezy materiałów dwuwymiarowych zawieszanych w wodzie.	www.biographsolutions.com
Qurv Technologies	Hiszpania	Qurv Technologies wykorzystuje czujniki obrazu oparte na grafenie i kropkach kwantowych. Ich celem jest usunięcie barier dla zaawansowanej technologii wizji komputerowej. Kierują również projektem AUTOVISION Spearhead, w ramach którego opracowują czujniki do samochodów autonomicznych.	www.qurv.tech

Aneks 2 – zestawienie projektów zrealizowanych w ramach programu GRAF-TECH.

Lp	Akronim projektu	Temat	Wnioskodawca - skład konsorcjum	Przyznane dofinansowanie
1	GRAMCOM	<i>Nowoczesne, zawierające grafen kompozyty na bazie miedzi i srebra przeznaczone dla przemysłu energetycznego i elektronicznego</i>	Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN, Politechnika Warszawska, Instytut Odlewnictwa, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, TAURON Wytwarzanie S.A., SIEMENS Sp. z o.o.	4 950 000,00 PLN
2	FlowGraf	<i>Grafenowe, generacyjne czujniki przepływu</i>	Uniwersytet Warszawski, Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, Apator Powogaz S.A.	4 832 296,00 PLN
3	GraphRoll	<i>Grafenowy nanokompozyt do rewersyjnego magazynowania wodoru</i>	Politechnika Łódzka, Seco/Warwick S.A.	4 820 000,00 PLN
4	GRAFINKS	<i>Grafenowe pasty i atramenty do drukowania ścieżek i warstw przewodzących w zastosowaniu do zabezpieczania dokumentów</i>	Politechnika Warszawska, Instytut Radioelektroniki, Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, Polska Wytwórnia Papierów Wartościowych	3 747 055,50 PLN
5	GRAFMET	<i>Epitaksjalny wzrost grafenu na metalicznych podłożach.</i>	Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, Seco/Warwick S.A.	5 000 000,00 PLN
6	Graphtrib	<i>Grafenowe pokrycia specjalnych kół zębatych i łożysk ślizgowych</i>	Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, Politechnika Warszawska, Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej, Zakład Mechaniki Maszyn S.C.	4 819 770,00 PLN
7	BI-SENSOR	<i>Multifunkcyjny biosensor grafenowy dla diagnostyki medycznej</i>	Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Niepubliczny Zakład Opieki Zdrowotnej "Meditest Diagnostyka Medyczna" Jacek Podolski	4 999 7,00 PLN
8	PUR-GRAF	<i>Nanokompozyty poliuretanowe zawierające zredukowany tlenek grafenu</i>	Politechnika Gdańska, Instytut Przemysłu Skórzanego, MB Market Sp. z o.o.	1 898 600,00 PLN

Lp	Akronim projektu	Temat	Wnioskodawca - skład konsorcjum	Przyznane dofinansowanie
9	CERGRAF	<i>Ceramiczne kompozyty z udziałem grafenu jako narzędzia skrawające i części maszyn o unikatowych właściwościach</i>	Politechnika Warszawska, Akademia Górniczo Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie, Instytut Zaawansowanych Techniki Wytwarzania, Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN, PELMET Sp.j.	4 502 460,00 PLN
10	Grafmag	<i>Grafenowe czujniki pola magnetycznego do zastosowań przemysłowych</i>	Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów, Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, Politechnika Warszawska, Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej, Lumel S.A.	3 835 362,00 PLN
11	OPTIGRAF	<i>Przezroczyste grafenowe warstwy ochronne i grzewcze na elementach optycznych</i>	Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, Bumar Żołnierz S.A., Nano Carbon Sp. z o.o.	4 696 945,00 PLN
12	UltraGRAPH	<i>Ultraszybkie lasery światłowodowe na bazie grafenu</i>	Politechnika Wrocławska, Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, Fiber Optic Technical Support	3 993 117,00 PLN

