

Lightweight

Composites Magazine

Nr 1/2022

Polski Klaster Technologii Kompozytowych – Krajowym Klastrem Kluczowym

Tłok wzmocniony lokalnie kompozytowym insertem typu Al/SiCp

Czy polscy przedsiębiorcy są zainteresowani i gotowi na przemysł 4.0?

ISSN 2720-6009
www.lightweight.pl

Lightweight

Composites Magazine

Nr 1/2022

ISSN 2720-6009

Lightweight

Composites Magazine

Nr 1/2022
ISSN 2720-6009

Redaktor Naczelny
Dr Andrzej Czulak

Redaktor prowadzący
Dr Adrian Gorgosz

Sekretarz Redakcji
Marta Czulak

Edycja
Aleksandra Winiarska

Rada Naukowa

Prof. Anna Boczkowska
Prof. Anna Dolata
Prof. Maik Gude
Prof. Natalia Sobczak
Prof. Tadeusz Uhl
Dr Albert Langkamp
Dr Andrzej Czulak

Współpraca wydawnicza

AT Wydawnictwo
ul. Zachodnia 9/49
30-350 Kraków

Wydawca

Gofar Sp. z o.o.
ul. Galicyjska 36
32-087 Zielonki

Spis treści

1. Polski Klaster Technologii Kompozytowych

Polski Klaster Technologii Kompozytowych – Krajowym Klastrem Kluczowym 5

Pierwszy kwartał 2022 za nami 10

Wizyta przedstawicieli niemieckiego klastra Composites United e.V. w PKTK 12

2. Nauka i technologia

Anna Boczkowska, Paulina Latko-Durałek, Paweł Durałek, Kamil Dydek, Michał Towpik, Przemysław Kośmider
Pilot plant for CNT-doped veils production established as a result of EU projects 14

Katarzyna Suchorowiec, Martyna Szatkowska, Alina Tadla, Piotr Szatkowski, Michał Kisilewicz
Opakowania na żywność szybko psującą się z naturalnych biodegradowalnych składników odpowiedzią na rosnące zaśmiecanie środowiska polimerowymi odpadami 20

Andrzej Czulak, Jacek Sykulski
Unikatowa metoda wytwarzania detali wydrążonych w oparciu o materiał C-SMC o zmiennej grubości ścianki przy minimalizacji wypływki i obróbki wykańczającej 27

3. Produkty

Anna J. Dolata, Maciej Dyzia, Michał Starczewski, Michał Złotecki
Tłok wzmocniony lokalnie kompozytowym insertem typu Al/SiC_p – przykład innowacji produktowej 29

Maciej Skorupski, Katarzyna Suchorowiec, Martyna Szatkowska, Piotr Szatkowski, Michał Kisilewicz, Henryk Świtowski
Materiały kompozytowe w głównej roli jako fundament kolonizacji Marsa 35

4. Rozwiązania dla branży

Anna Brzozowska-Stanuch
Kompleksowe badania materiałów kompozytowych w przemyśle motoryzacyjnym 41

Dominik Bugajski
Czy polscy przedsiębiorcy są zainteresowani i gotowi na przemysł 4.0? 43

Karolina Gruss-Kufel
Zapobiegawcze utrzymanie ruchu w branży kompozytowej. Zastosowanie technologii czyszczenia suchym lodem 49

Szanowni Partnerzy, Członkowie, Koleżanki i Koledzy,

mam przyjemność zaprosić Państwa do lektury kolejnego wydania Lightweight.pl, który ukazuje się po dłuższej przerwie, ale z pewnością jest bardzo interesujący.

Mimo, iż za oknem zimowo, a w branży nieco pesymizmu związanego z pandemią i niepewnością co przyniesie nam Polski Ład, postanowiliśmy w tym wydaniu szczególnie mocno zaprezentować innowacyjne pomysły związane z rynkiem materiałów i struktur kompozytowych, które w przyszłości z pewnością pozwolą na opracowanie ekologicznych i przyjaznych dla środowiska rozwiązań.

Wychodząc naprzeciw zapotrzebowaniu branży, tematyka recyklingu oraz kompozytów w budownictwie była poruszona podczas dwóch edycji Click-Watch-Talk zorganizowanych przez Partnera Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych, Targi w Krakowie Sp. z o.o. przy współpracy z naszym Klastrem oraz kilka współorganizowanych konferencji dotyczących materiałów kompozytowych ich badania oraz monitorowania.

Na tych wydarzeniach prelegenci nie tylko przedstawiali ciekawe produkty kompozytowe przeznaczone do wielu branż poczynając od przemysłu energetycznego poprzez przemysł budowlany czy samochodowy, na druku 3D oraz przemyśle 4.0 kończąc, ale również usługi skierowane bezpośrednio do odbiorców w branży kompozytowej.

Należy również wspomnieć o rozwoju współpracy międzynarodowej zarówno z klastrami portugalskimi (Mobinov) czy niemieckimi (Merge), która pozwoliła nie tylko poszerzyć horyzonty, ale również nawiązać współpracę bezpośrednio pomiędzy zainteresowanymi firmami. Klaster brał również czynny udział w targach branżowych we Francji (Paryżu), Niemczech (Hanowerze) czy w Singapurze.

Efektem tej intensywnej, kilkuletniej działalności Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych, zaangażowania Rady Klastra, Redaktorów portalu Kompozyty.net oraz czasopisma Lightweight jest status Krajowego Klastra Kluczowego, który otrzymaliśmy w dniu 21 grudnia 2021 roku.

Status Krajowego Klastra Kluczowego nie tylko stawia nas w grupie najlepiej ocenianych klastrów w Polsce, ale również pokazuje, że branża materiałów i technologii kompozytowych należy do najbardziej perspektywicznych w kraju, co motywuje nas do dalszej ciężkiej pracy oraz rozwoju i promocji wszystkich Członków Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych.

Tym pozytywnym akcentem chciałbym życzyć nam wszystkim dużo optymizmu i radości w Nowym Rok 2022.

Zapraszam do lektury.



Dr inż. Andrzej Czulak
Redaktor naczelny

ISSN: 2720-6009

Polski Klaster Technologii Kompozytowych – Krajowym Klastrem Kluczowym

Na wstępie nowego numeru czasopisma Lightweight.pl chcemy podzielić się wyjątkową informacją. Polski Klaster Technologii Kompozytowych złożył w 2021 roku aplikację o status Krajowego Klastra Kluczowego. Obecnie ze wszystkich klastrów w Polsce jedynie 18 zostało uznanych za kluczowe, czyli klastry o istotnym znaczeniu dla gospodarki i dużym potencjale do konkurowania na międzynarodowych rynkach. W tym znamienitym gronie znalazł się w tym roku również Polski Klaster Technologii Kompozytowych, który zrzesza przedsiębiorstwa, instytucje otoczenia biznesu oraz jednostki naukowe.

Jakie są korzyści z członkostwa w Krajowym Klastrze Kluczowym?

W pierwszej kolejności pojawia się możliwość uzyskania dodatkowych punktów w kryteriach punktowych w ramach konkursów o dofinansowanie o środki unijne i krajowe, dla członków Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych, organizowanych przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości, czy Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, przykładowo

- 1.1.1 POIR Badania przemysłowe i prace rozwojowe realizowane przez przedsiębiorstwa: **Kryterium fakultatywne (od 0 do 2 punktów)**
- 3.2.1 POIR **Badania na rynek (od 0 do 1 punktu)**
- 2.3.2 POIR – **Bony na innowacje dla MŚP: Kryterium rozstrzygające (ostatnie 6 miesięcy członkostwa w KKK)**

Dodatkowo, zgodnie z założeniami **Polskiej Strefy Inwestycji** przy aplikowaniu o ulgę inwestycyjną w poszczególnych województwach należy spełnić kryteria punktowe (do 10 pkt.)

- 4 pkt w województwach: lubelskim, podkarpackim, podlaskim, warmińsko-mazurskim,
- 5 pkt w województwach: kujawsko-pomorskim, lubuskim, łódzkim, małopolskim, opolskim, pomorskim, świętokrzyskim, zachodniopomorskim oraz w podregionach: ciechanowsko-płockim, ostrołęcko – siedleckim, radomskim, warszawskim wschodnim,
- 6 pkt w województwach: dolnośląskim, śląskim, wielkopolskim oraz w Warszawie i podregionie warszawskim zachodnim.
- Warunkiem jest też uzyskanie co najmniej po 1 pkt za zrównoważony rozwój gospodarczy i za zrównoważony rozwój społeczny.

Za przynależność do Klastra znajdującego się w grupie Krajowych Klastrów Kluczowych po oświadczeniu przedsiębiorcy złożonego we wniosku o wydanie decyzji o wsparciu (ulga), że w okresie utrzymania inwestycji będzie należał do Krajowego Klastra Kluczowego – wnioskodawca otrzymuje automatycznie 1 pkt. Wskazany jeden punkt jest bardzo istotny zwłaszcza w województwach, gdzie minimalna liczba punktów do zdobycia to 6.

Dodatkowe korzyści wynikające z członkostwa w Polskim Klastrze Technologii Kompozytowej (PKTK) to:

- Umieszczenie logotypu oraz odnośnika do strony internetowej członka klastra na stronie https://kompozyty.net/katalog/
- Reprezentowanie i obrona interesów członków PKTK na arenie regionalnej, krajowej oraz Unii Europejskiej

- Podniesienie wiarygodności podmiotów działających w Klastrze oraz integracja środowiska przedsiębiorstw z branży
- Efektywna promocja usług i produktów poprzez prowadzenie akcji marketingowych oraz kampanii promocyjnych na rzecz członków Klastra
- Możliwość nawiązywania współpracy z firmami konkurencyjnymi oraz innymi podmiotami gospodarczymi
- Możliwość zawiązania środowiska kooperacyjnego zdolnego do stworzenia konkurencyjnych produktów i usług
- Wspólna reprezentacja interesów w zakresie prowadzonej działalności przed organami władzy państwowej i samorządowej
- Prowadzenie wspólnych przedsięwzięć naukowo-badawczych oraz komercjalizacja ich wyników
- Dostęp do usług doradczych, informacyjnych, szkoleniowych w celu wzmocnienia potencjału kompetencyjnego zasobów ludzkich
- Preferencyjne warunki dostępu do finansowania publicznego, w tym z UE
- Wyrażanie opinii w imieniu członków PKTK o projektach aktów prawnych odnoszących się do funkcjonowania gospodarki, uczestnictwa w przygotowaniu projektów przepisów prawnych dotyczących prowadzenia działalności gospodarczej i naukowo-badawczej członków klastra
- Współuczestniczenie w kształtowaniu polityki gospodarczej, przemysłowej i edukacyjnej regionów oraz wspieranie inicjatyw i tworzenie warunków sprzyjających rozwoju gospodarczemu członków klastra oraz regionów
- Rozwijanie i koordynowanie współpracy w zakresie B+R z jednostkami badawczo-rozwojowymi i uczelniami wyższymi, zwłaszcza w zakresie tworzenia nowych technologii
- Udział w projektach badawczych (krajowych i międzynarodowych) dotyczących innowacji w dziedzinie materiałów i technologii kompozytowych i branż pokrewnych
- Zapraszanie na spotkania z krajowymi i zagranicznymi inwestorami
- Wyszukiwanie odpowiednich partnerów wśród członków, a w razie potrzeby wśród podmiotów zewnętrznych
- Dostęp do informacji o najnowszych wydarzeniach i tendencjach w obszarze materiałów i technologii kompozytowych
- Pozyskanie mentorów w sprawach interesujących członka klastra
- Prawo do wykorzystania loga PKTK na swojej stronie internetowej oraz w materiałach reklamowych firmy, instytucji, gminy lub miasta w celu pokazania, że członek jest częścią marki Klastra
- Uczestniczenie w międzynarodowych kontaktach, wydarzeniach i projektach klastra stwarzających możliwości biznesowe dla członków klastra
- Stworzenie możliwości eksportu produktów lub usług z zakresu innowacyjnych rozwiązań w obszarze materiałów kompozytowych w formie uczestnictwa w spotkaniach, konferencjach, targach, misjach itp. organizowanych przez PKTK
- Wsparcie członków w zdobywaniu wykwalifikowanej siły roboczej
- Zapewnienie dostępu do różnego rodzaju warsztatów i szkoleń organizowanych przez PKTK oraz partnerów zewnętrznych

Jak przystąpić do Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych?

Polski Klaster Technologii Kompozytowych ma charakter otwarty, a Członkiem Klastra może być każdy przedsiębiorca lub instytucja otoczenia biznesu związana z szeroko pojętą branżą materiałów i technologii kompozytowych, który złoży deklarację członkostwa w Klastrze, zaakceptuje Regulamin członkostwa Klastra i uzyska akceptację członków i Rady Klastra.

Skontaktuj się z nami: kontakt@kompozyty.net

Dr inż. Andrzej Czulak
Redaktor Naczelny

PODZIĘKOWANIA: W imieniu Klastra chcieliśmy podziękować firmie CEBRIO z Krakowa za wsparcie w opracowaniu dokumentacji do konkursu o uzyskanie status Krajowego Klastra Kluczowego.
www.cebrio.pl

Fundusze Europejskie Pomoc Techniczna | Rzeczpospolita Polska | Ministerstwo Rozwoju i Technologii | Unia Europejska Fundusz Spójności

Warszawa, dn. 17 grudnia 2021 r.

Status Krajowego Klastra Kluczowego

dla

Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych

reprezentowanego przez

GOFAR Sp. z o.o.

Status Krajowego Klastra Kluczowego obowiązuje do końca 2024 roku

MINISTER ROZWOJU I TECHNOLOGII

Piotr Nowak

Minister Rozwoju i Technologii

KRAJOWE KLASTRY KLUCZOWE

Zaświadczenie o uzyskaniu statusu Krajowego Klastra Kluczowego

Szanowni Partnerzy, Członkowie i Sympatycy Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych,

w dniu 2 marca 2022 roku odbyło się spotkanie Partnerów, Członków i Sympatyków Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych (PKTK), w którym uczestniczyli przedstawiciele z niespełna 50 firm i instytucji należących do PKTK. Spotkanie odbyło się w specjalnie do tego celu przygotowanym wirtualnym świecie, dzięki czemu uczestnicy mogli odwiedzać stworzone cyfrowe stoiska, zapoznać się z posterami, jak również uczestniczyć w prezentacjach prowadzonych na żywo.



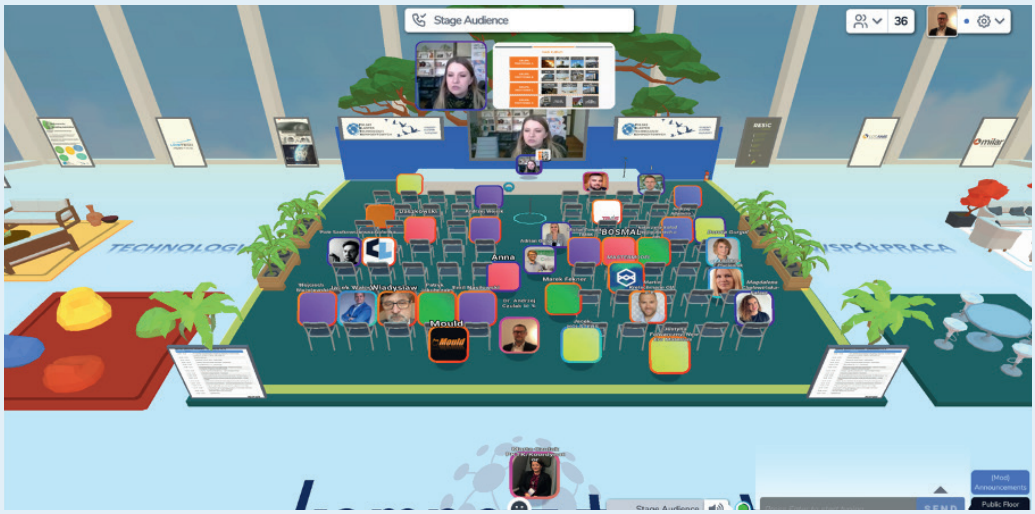
Poniżej został przedstawiony widok obszaru prezentacji, który umożliwiał intuicyjny kontakt z prezenterem, jak również pozwalał na bardzo dobry odbiór samej prezentacji.

Wykładem wprowadzającym, Lider PKTK – dr inż Andrzej Czulak zaprezentował ostatnie osiągnięcia Klastra oraz nadchodzące inicjatywy Rady Klastra. Kolejną prezentację wygłosiła pani Dorota Gurgul – przedstawicielka firmy Targi w Krakowie, w której zachęcała do udziału w kolejnej edycji KOMPOZYT-EXPO® 2022.

W następnych prezentacjach kolejno dr inż. Michał Sałaciński z Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych https://itwl.pl/, dr inż. Bartłomiej Bereska z Noma Resins Sp. z o.o. http://noma.com.pl/ pokrótce przedstawili działalność swoich instytucji i przedsiębiorstw przedstawiając zakres możliwych usług i produktów. Kolejne prezentacje wygłoszone przez panią Annę Sowa-Jadczyk (Małopolska Agencja Rozwoju Regionalnego https://www.marr.pl/), Magdalenę Cholewińską-Falarz (Cebrio Grzegorz Pelczar https://cebrio.pl/), Lucynę Sikorę (Enterprise Europe Network https://www.een.org.pl/) dotyczyły możliwości uzyskania wsparcia finansowego w firmach, jak również wyjaśniały zawiłe procedury dotyczące programu Horyzont.

Kolejna prezentacja została wygłoszona przez Pana dr Jacka Gralewskiego z S i A Pietrucha sp. z o.o. https://www.pietrucha.pl/ i dotyczyła struktur włóknistych do wzmocnienia kompozytów.

Nawiązując do problemów zgłaszanych przez Członków Klastra firma Orange Energia https://www.orange.pl/view/energia reprezento-



wana przez Panią Barbarę Krzyworzekę omówiła optymalizację kosztów dostaw energii dla członków Klastra.

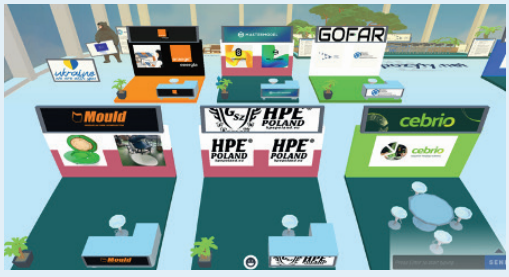
Śląskie Centrum Naukowo Technologiczne Przemysłu Lotniczego Sp. z o.o. http://www.scntpl.pl/ reprezentowane przez panią dr inż. Aleksandrę Bogdan-Włodek również przedstawiło swoje możliwości badawczo-rozwojowe, natomiast Pan dr inż. Piotr Szatkowski (Akademia Górniczo-Hutnicza) omówił zakres działania i kolejne kroki rozwoju nowej Grupy Roboczej w PKTK o nazwie: „Materiały biodegradowalne i Recykling", zachęcając do współpracy w przygotowaniu nowych projektów oraz do wspólnej działalności na rzecz ochrony środowiska naturalnego.

W kolejnej prezentacji dr Adrian Gorgosz (AT Wydawnictwo – https://atwydawnictwo.pl/) przekazał najświeższe informacje dotyczące kolejnego numeru branżowego magazynu Lightweight.pl, które zostanie wydane w marcu tego roku.

Prezentację, która zakończyła panel dyskusyjny wygłosił przedstawiciel firmy Holster HPE Polska http://hpe.pl/ Pan Jacek Gajda. Nosiła tytuł: „Indywidualne osłony balistyczne w oparciu o technologie materiałów kompozytowych" szczególnie interesującą w obliczu wojny toczącej się na Ukrainie. Po sesji wykładowej wszyscy uczestnicy wydarzenia mogli wziąć udział w spotkaniach B2B.

Wszystkim prelegentom dziękujemy za przygotowanie i wygłoszenie swoich prezentacji. Na spotkaniu była również możliwość prezentacji swoich usług i produktów w postaci stoisk firmowych.

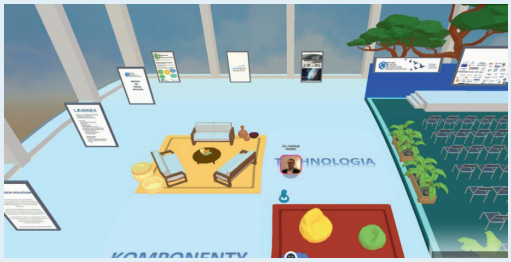




Poniżej lista firm, które skorzystały z oferty Koordynatora PKTK, będąc wystawcami na tym wydarzeniu.

Stoiska:

- Polski Klaster Technologii Kompozytowych/ Gofar Sp. z o.o.
- Targi w Krakowie Sp. z o.o
- Sarzyna Chemical Sp. z o.o.
- Magazyn Lightweight.pl
- Małopolska Agencja Rozwoju Regionalnego
- Cebrio Grzegorz Pelczar
- Mould Sp. z o.o
- Mastermodel Sp. z o.o
- Holster HPE Polska
- Orange Energia Sp. z o.o
- Bosmal Sp. z o.o
- Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych



Sesja posterowa:

- NTI Sp. z o.o.
- Śląskie Centrum Naukowo-Technologiczne Przemysłu Lotniczego Sp. z o.o.
- Linetech Sp. z o.o
- Noma Resins Sp. z o.o.
- LOTAMS Sp. z o.o.
- Broaders Sp. z o.o.
- CAMDevision Sp. z o.o.
- Tech Solution Sp. z o.o.
- Laminex Sp. z o.o.
- Derejski Kaleciak Kumor Gałązka Adwokaci i Radcowie Prawni sp.p.
- Carbon Design Sp. z o.o.

Wszystkim uczestnikom bardzo dziękujemy za udział w spotkaniu.

Lider Klastra
Rada Klastra
Koordynator Klastra

Lightweight nr 1/2022
ISSN: 2720-6009

Pierwszy kwartał 2022 za nami

Podsumowując pierwszy kwartał 2022 roku w działalności Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych (PKTK), z satysfakcją informujemy, że obserwujemy stabilny wzrost naszej działalności. Ważnym czynnikiem wpływającym na tą sytuację ma uzyskany pod koniec 2021 r. statusu Krajowego Klastra Kluczowego. W ostatnich miesiącach odbywały się częste wizyty studyjne menadżerów klastra w firmach i instytucjach partnerskich, gdzie przekazywane były certyfikaty członkowskie PKTK. W ramach tych spotkań prowadzone były rozmowy o możliwych wspólnych projektach, jak również o potrzebach odwiedzanych przedsiębiorców i instytucji.





Klaster rozpoczął intensywną współpracę z instytucjami samorządowymi z regionu Małopolski. Współpraca ta zaowocowała koncentracją działań wokół tematyki wodoru, jak również pozwoliła na przygotowanie projektu pilotażowego „Hydrogen", złożonego w ramach „Vanguard Initiative". Polski Klaster Technologii Kompozytowych jest współinicjatorem tego projektu, który dotyczy szeroko pojętej tematyki wodorowej, a w szczególności standaryzacji elementów do przechowywania i transportu wodoru. Projekt pilotażowy wraz z nami złożyło 10 regionów europejskich, z których wiodącymi oprócz Małopolski były Lombardia/Włochy, Słowenia/Słowenia, Saksonia/Niemcy. W ramach promocji wniosku zaplanowana jest konferencja wodorowa, w której wezmą udział przedstawiciele zainteresowanych regionów, a PKTK jako współorganizator zaprasza wszystkich swoich członków i partnerów do aktywnego udziału w tym wydarzeniu.

Współpraca z instytucjami samorządowymi z regionu Małopolskim oraz Małopolską Agencją Rozwoju Regionalnego (MARR), członka naszego klastra, przyczyniła się również do wizyty studyjnej firm należących do Klastra, a będących zainteresowanych tematyką wodorową z Regionu Małopolski w firmach i instytucjach w Niemieckiej Saksonii. Delegacja odwiedziła m.in. Wirtschaftfoerderung Sachsen, Technische Universitaet Dresden, Herone GmbH oraz East4D GmbH. Wizyta ta pozwoliła zapoznać się uczestnikom z technologiami, które można wykorzystać w produkcji

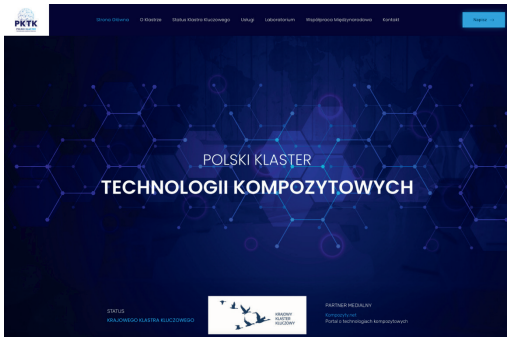




zbiorników oraz rur, ponadto rozpocząć rozmowy na temat współpracy międzynarodowej.

W ostatnich dniach udało się również ukończyć pracę nad nową stroną internetową Polskiego Klastra Technologii Kompozytowej, która teraz znajduje się pod adresem www.pktk.pl. Nowa szata graficzna strony została wzbogacona o nowe, odświeżone logo naszego klastra. W kolejnych tygodniach będą dodawane nowe funkcjonalności pozwalające na lepszą integrację naszych partnerów i członków.

W kolejnych miesiącach planowane są dalsze działania wspierające współpracę między członkami Klastra, jak również intensyfikacja promocji i współpracy zagranicznej.



Kalendarz wydarzeń:

- 3–6 maja 2022 – udział w targach **JEC Paris** – największych targach przemysłu kompozytowego, w ramach którego głównym punktem będzie podpisanie listu intencyjnego z niemieckim klastrem Composite United e.V, jak również rozmowy z przedstawicielami i członkami tego Klastra.
- 4–6 maja 2022 – spotkanie w ramach platformy **ClusterXchange** (w której aktywnie działa nasz Klaster) z francuskim klastrem I-Trans z obszaru mobilności. Planowane są 3 dni spotkań powiązane z prezentacjami działalności obu Klastrów oraz ich członków i partnerów. Oczywiście głównym celem będzie określenie wspólnych celów, projektów oraz możliwości współpracy zarówno z Klastrami jak bezpośrednio z firmami członkowskimi obu klastrów.
- 30 maja–2 czerwca 2022 – reprezentacja członków PKTK na stoisku narodowym na targach w **Hanowerze**. Dodatkowo planowany jest aktywny udział w dwudniowym wydarzeniu **LightCon**, które odbędzie się w ramach Hannover Messe. LightCon koncentruje się na temacie materiałów kompozytowych, a organizatorem jest niemiecki klastrer Composite United e.V.
- 7 czerwca 2022 – współorganizacja z **Inicjatywą Avangarda**, Regionem Małopolski oraz MARR'em konferencji wodorowej.
- Lipiec 2022 – **„German-Polish Innovation Day"** dla firm i instytucji z naszego Klastra oraz z Composite United e.V. Głównym celem tego spotkania będzie możliwość nawiązywania międzynarodowych kontaktów B2B i B2C, koncentrujących się na uzupełnianiu brakujących ogniw w przerwanych łańcuchach dostaw.
- 28–29 września 2022 – współorganizacja **Targów Kompozyt-Expo** w Krakowie w ramach których zaplanowane jest wspólne stoisko klastrowe z niemieckim klastrem Composite United e.V. Organizacja panel ekspertów koncentrujący się na współpracy międzynarodowej oraz na uzupełnianiu brakujących ogniw w przerwanych łańcuchach dostaw. Planowane są również prezentacje techniczne partnerów obu Klastrów.

Lightweight nr 1/2022
ISSN: 2720-6009

Wizyta przedstawicieli niemieckiego klastra Composites United e.V. w PKTK

23 i 24 lutego 2022 roku mieliśmy przyjemność gościć przedstawicieli niemieckiego klastra Composites United e.V. w Krakowie i Czechowicach-Dziedzicach. Klaster Composites United e.V. był reprezentowany przez Pana Dr. Gunnar Merz (CEO Composites United e.V.) oraz Martina Kretschmann.

Pierwsze spotkanie odbyło się w siedzibie firmy EC Engineering (członka klastra) w obecności Pana Prof. Tadeusza Uhla, Dr. Andrzeja Czulaka, Jacka Sykulskiego oraz Marty Czulak.



Goście przedstawili zakres działalności klastra oraz strategię rozwoju, opracowaną z niemieckim ministerstwem, w której współpraca z organizacjami w Polsce w dziedzinie rozwoju materiałów kompozytowych wspierających aspekty ekologiczne jest jednym z najważniejszych aspektów.

Po przedstawieniu aktywności Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych rozmowy dotyczyły zakresu przyszłej współpracy pomiędzy naszymi klastrami. Proponowane kolejne działania to:

- Podpisanie Listu intencyjnego pomiędzy organizacjami
- Organizacja wspólnych imprez dla branży materiałów kompozytowych (polsko-niemieckie wirtualne targi, wspólne warsztaty, zaproszenie przedstawicieli CU na spotkanie klastra PKTK, Wspólne stoisko i wspólny panel ekspercki na targach Kompozyt-Expo Kraków, wizyta członków PKTK na LightCon Hanowerze)
- Częste spotkania on-line pomiędzy klastrami pozwalające kreować wspólną politykę dotyczącą rozwoju materiałów kompozytowych i zacieśnienie współpracy
- Wspólne projekty międzynarodowe
- Wzajemna promocja innowacyjnych materiałów, produktów i technologii
- Wsparcie współpracy B2B i B2C (wizyty studyjne u partnerów klastra, wsparcie prawne i językowe, pomoc we wdrażaniu technologii, produktów, materiałów w Polsce i w Niemczech)
- Podpisanie ramowej umowy współpracy





W drugim dniu wizyty goście wraz z przedstawicielami PKTK odwiedzili Śląskie Centrum Naukowo-Technologiczne Przemysłu Lotniczego (ŚCNTPL), w którym odbyło się spotkanie z Panem Bartłomiejem Płonka (Prezes ŚCNTPL), z Panią Dr Aleksandrą Bogdan-Włodek (kierownik laboratorium ŚCNTPL) oraz z Panem Dr. Bartłomiejem Bereską (Prezesem Noma Resins Sp. z o.o.). Oprócz przedstawienia możliwości technicznych i badawczych obu firm rozmawialiśmy o możliwościach współpracy oraz wspólnym wykorzystaniu posiadanych przez klastry zasobów.

Lightweight nr 1/2022
ISSN: 2720-6009

ANNA BOCZKOWSKA[1,2]*, PAULINA LATKO-DURAŁEK[1,2], PAWEŁ DURAŁEK[1], KAMIL DYDEK[1,2], MICHAŁ TOWPIK[1], PRZEMYSŁAW KOŚMIDER[1]

[1] TMBK Partners Sp. z o.o.
[2] Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Materiałowej
* anna.boczkowska@pw.edu.pl

Pilot plant for CNT-doped veils production established as a result of EU projects

Abstract: Fibre reinforced polymer matrix composites are widely used in many applications, however their functional properties, especially electrical conductivity still require improvement. The main goal of the work was to improve the electrical conductivity and mechanical properties of Carbon Fibre Reinforced Polymers (CFRP). This was achieved by the introduction of thermoplastic veils containing carbon nanotubes (CNT), which were placed on the top and between each layer of the 2D fabrics. Thermoplastic CNT-doped veils were fabricated by the melt-blown process using a pilot plant established as a result of EU projects. Thermoplastic veils with CNTs are innovative lightweight intermediate materials which act as a carrier for nanofiller allowing for easy and non-hazardous introduction of conductive nanofillers into CFRP. They are easy in handling and can be applied in standard composite manufacturing processes. It was confirmed that the produced CNT-doped veils improve electrical conductivity up to 7 S/m, simultaneously improving Inter-Laminar Shear Strength (ILSS).

Key words: electrical conductivity, thermoplastics, CNT, veils, melt-blown, ILSS

1. Introduction

Lightweight non-metallic components made of Carbon Fibre Reinforced Polymers (CFRP) are commonly used in the automotive, aviation, defence and electronics industries mainly due to their high strength and high performance accompanied by low weight. Moreover, compared with other materials, CFRP offer increased manufacturing productivity, lower VOC emissions, better corrosion resistance, high durability and design flexibility. The CFRP market is projected to reach USD 37.19 billion by 2022, at a CAGR of 10.50% from 2017 to 2022 [1]. However, CFRP suffer from insufficient electrical conductivity to be suitable for use in lightning strike protection, static discharge, electrical bonding, grounding, interference shielding or current return through the structure, required in many applications such as aircraft fuselage, wings, car body, satellites, antenna dishes, enclosures, conduit systems or braided shielding. Depending on the application, the required values of electrical conductivity are as follows: 10^{13}–10^{-11}S/m to be antistatic, 10^{-10}–10^{1} S/m for electrostatic dissipation and 10^{2}–10^{8} S/m for electromagnetic (EMI) and radio-frequency interference (RFI) shielding [2]. In addition, epoxy based CFRP are brittle and have poor resistance to impact. It is thus an enormous challenge to improve the electrical conductivity of CFRP while simultaneously increasing their mechanical properties. One of the new approaches to overcome the drawbacks of CFRP is the use of nanomaterials containing carbon nanofillers such as carbon nanotubes (CNTs) which combine remarkable mechanical, electrical and thermal properties [3].

Till now, many types of polymers have been doped with CNTs and it was found that the main factor affecting the final properties of nanocomposites is dispersion, distribution and arrangement of nanofillers in the polymer matrix. Moreover, it was found that the properties of polymer (viscosity, polarity, crystal phase content), type of nanofillers (aspect ratio, purity, functionalization) and applied fabrication methods (melt-blending, in-situ polymerization, solution mixing) affect the interactions between polymer macromolecules and nanofillers, the de-agglomeration process of nanofillers and their final dispersion in polymer. Most of the investigated nanocomposites have been obtained only in a laboratory scale with no possibility of up-scaling into a product ready to be applied on an industrial scale.

The implementation of CNTs into CFRP can be realized by different approaches such as: i) direct grafting of nanofillers on carbon fabrics [4], ii) mixing with neat epoxy resin used in the liquid technologies e.g. infusion [5] or RTM, iii) application of intermediate products e.g. thermoplastic fibres doped with nanofillers for stitching [6], or iv) buckypapers [7], v) deposition of nanofillers on commercial prepregs [8]. Each of these approaches has disadvantages. For instance, grafting nanofillers directly on the carbon fabrics requires the use of chemicals and achievement of strong covalent bonds between carbon fibres and nanofillers. Doping of neat epoxy resin causes an extreme increase in viscosity even at low nanofiller content and consequently hinders the infusion process, resulting in poor composite quality [5]. Thermoplastic fibres with nanofillers do not have sufficient mechanical properties for stitching. Buckypapers prevent full resin infiltration [7] while treated prepregs exhibit inhomogeneous dispersion of nanofiller [8].

As an alternative to buckypapers and treated prepregs, a new type of CNT-doped thermoplastic veil was developed by the Technology Partners Foundation and Warsaw University of Technology Faculty of Materials Science and Engineering within two FP7 research projects – ELECTRICAL (*Novel Self-Sensing Multifunctional Structures-ACP0-GA-2010-265593*) and SARISTU (*Smart Intelligent Aircraft Structures-ACP1-GA-2011-284562*). Thermoplastic fibres with CNTs were extruded and then thermally bonded by pressing into nonwoven veils, a method described in a Polish patent [10]. The CNT-doped veils produced in a laboratory scale were tested in CFRP prepared by resin infusion. The improvement in CFRP electrical conductivity of ~350% was achieved throughout their thickness. It was also found that use of amine functionalized CNTs led to lower electrical conductivity. The chemical functionalization of the CNTs' surface decreases their electrical properties due to disruption of the π-conjugation and shortening their length [10, 11].

However, CNT-doped veils produced by extrusion and pressing had low capacity and therefore, the half-industrial melt-blown method began to be

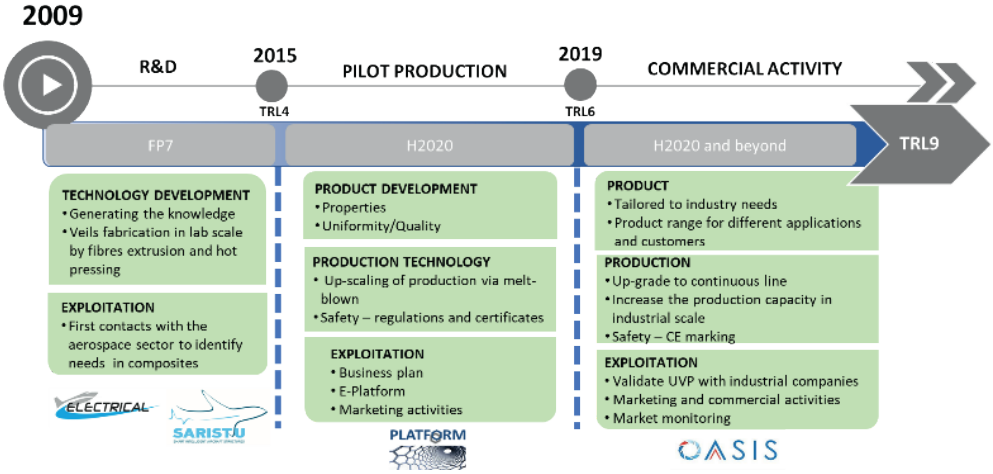


Fig. 1. CNT-doped veils development as a result of EU projects.

used for the manufacture of veils with multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs) by TMBK Partners Sp. z o.o., a spin-off company of the Technology Partners Foundation. In the PLATFORM (*Open access pilot plants for sustainable industrial scale nanocomposites manufacturing based on buckypapers, doped veils and prepregs- SEP-210165629*) Project within Horizon 2020, the pilot line for CNT-doped veils was built by TMBK Partners Sp. z o.o. (www.tmbk.pl). The CNT-doped veils pilot plant established within the H2020-NMP PLATFORM Project is being up-scaled and up-graded within the next Horizon 2020 Project, OASIS (*Open Access Single entry point for scale-up of Innovative Smart lightweight composite materials and components-GA-814581*). The overview of the CNT-doped veils development history is shown in Fig. 1.

Thermoplastic veils containing CNTs can also be produced by coating neat nonwovens using a solution of nanofillers, by layer deposition [13, 14, 15] or directly by the electrospinning method [16]. These methods often require the use of surfactants, binders or other chemicals. The competitive advantage of the CNT-doped veils produced by TMBK Partners Sp. z o.o. is the lack of binders. The fibres in the veil are quenched by hot air and thermally bonded. Moreover, they are flexible, easy in handling, lightweight, compatible with epoxy or polyester resin and can be sticky to reinforcing fibres or fabrics.

2. Materials and methods

Thermoplastic veils are used to improve fracture toughness and interlaminar shear strength of composites. They are placed as interleaves or on the top of the laminate, as shown in Fig. 2.

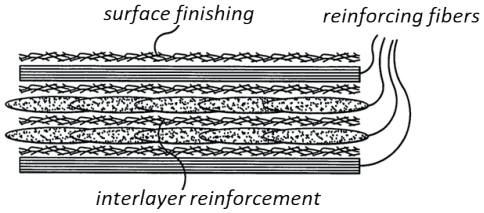


Fig. 2. Diagram of CNT-doped veil placement in CFRP.

The originality of the proposed solution consists in doping of thermoplastic veils with conductive nanofiller to provide them with multifunctionality. Thermoplastic veils with CNTs are innovative lightweight intermediate materials which act as a carrier for nanofiller, allowing for the introduction of conductive nanofillers into CFRP in an easy and non-hazardous way. They are easy in handling and can be applied in standard composite manufacturing processes, such as infusion, RTM or autoclave and out-of-autoclave. This can lead to the improvement of both electrical and mechanical properties of CFRP [17, 18, 19].

At present, TMBK can produce different types of thermoplastic CNT-doped veils from co-polyamides, PA12, PBT, PPS and ECTFE with different weight fractions of multi-wall carbon nanotubes, purity of over 95%, 9.5 nm in diameter, 1.5 µm in length, supplied in form of masterbatches by NANOCYL S.A.

Melt-blown method is used for the production of CNT-doped veils. The method is illustrated in Fig. 3.

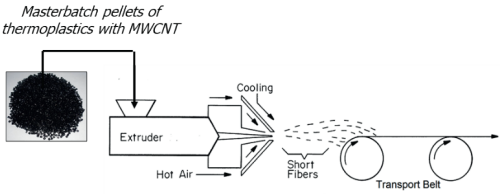


Fig. 3. Diagram of CNT-doped veil production by melt-blown.

Current production capacity is 250 m² per week and the product is in the form of flat 1800 × 600 mm sheets. After the up-grade and up-scale the capacity will increase to 1000 m² per week due to the introduction of fully automatic mode and continuous winding. The product will have the form of a continuous ribbon with a width of 300 mm.

TMBK Partners Sp. z o.o. is supported by the Warsaw University of Technology Faculty of Materials Science and Engineering in materials characterization and microstructure observations. The volume electrical conductivity was measured through the thickness of laminate (Kz). Measurements were made using the Keithley 6221/2182A device equipped with copper electrodes. Measurements were made using the four-point method, in the delta mode, with silver paste used to ensure very good contact between sample and electrodes. The microstructure observations were

performed using the HR SEM SU70 and TM3000 scanning electron microscopes, and also transmission HR STEM S5500 scanning electron microscope. The interlaminar shear strength (ILSS) was determined according to ASTM D2344 Standard. The three-point bending of short-beam test specimens was conducted on an MTS QTest10 static testing machine equipped with a 10kN load cell. Two cylindrical supports with a diameter of 3 mm and a 6 mm cylindrical loading nose were used.

3. Results and discussion

The veil produced using the pilot plant is shown in Fig. 4.

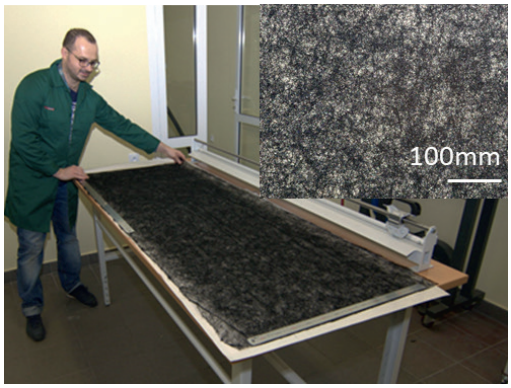


Fig.4. CNT-doped veil produced using the pilot plant owned by TMBK Partners Sp. z o.o.

The veils were observed using High resolution Scanning and Transmission Electron Microscopy. The observations shown in Fig. 5 reveal that fibres in the veil are quenched. The fibre's diameter is below 70 µm, however the diameter can vary depending on the thermoplastic applied and CNT content used. CNTs are oriented along the fibres' axis.

The results of the volume electrical conductivity of the CFRP panels manufactured using the infusion method in Kz direction is shown in Fig. 6. The introduction of thermoplastic veils containing carbon nanotubes improved the electrical conductivity up to 7 S/m for GEN II of the veils.

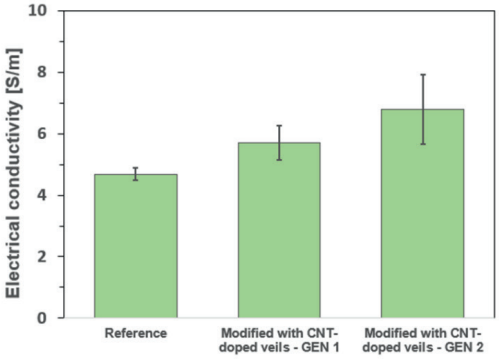


Fig.6. Electrical conductivity of CFRP flat panel produced via infusion.

The microstructure observations (see Fig. 7) of modified laminate proved good adhesion of co-polyamide veil containing carbon nanotubes to the carbon fibres, which resulted in an increase in electrical conductivity through the formation of conductive bridges.

The ILSS of the produced laminates also was measured. The results proved that it is possible to improve ILSS by application of CNT doped veils, as shown in Fig. 8.

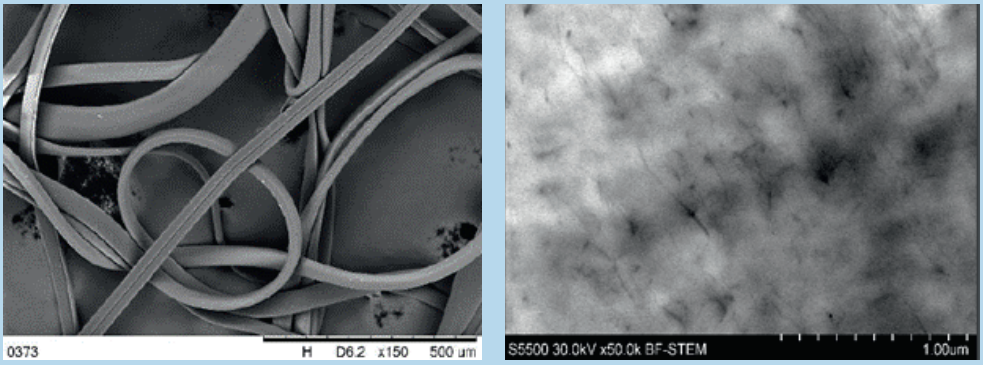


Fig.5. SEM and TEM images, respectively of thermoplastic veils doped with CNT.

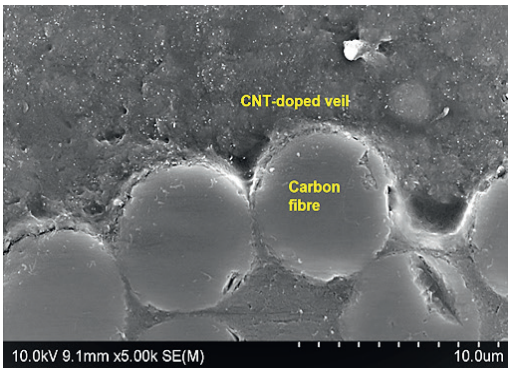


Fig.7. HRSEM image of cross section of CFRP modified with CNT-doped veil.

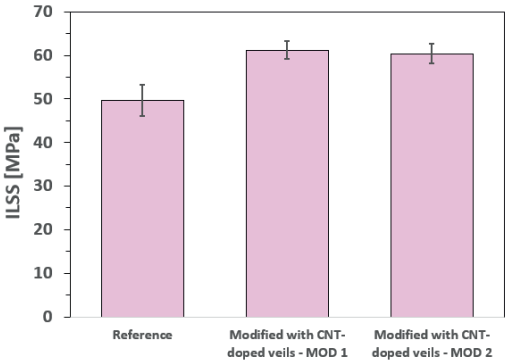


Fig.8. ILSS of CFRP modified with CNT-doped veils.

4. Conclusions

The CNT-doped veils are new intermediate products for modification of CFRP properties. It is an enormous challenge to improve the electrical conductivity of CFRP while simultaneously increasing their mechanical properties. The CNT-doped veils developed as a result of studies under several EU projects fulfil such requirements. The presented results confirm that the introduction of thermoplastic veils containing carbon nanotubes allows for improvement of the electrical conductivity of CFRP accompanied with improvement of ILSS, which is not commonly observed. Incorporation of the CNT-doped veils as interlayers in CFRP allowed for achievement of electrical conductivity of up to 7 S/m for 2.5wt% MWCNTs throughout the laminate thickness. Moreover, it was shown that CNT-doped veil had a very good adhesion to carbon fibres, which also improves the electrical conductivity. The pilot plant for the production of CNT-doped veils was successfully established in Poland thanks to EU funds and it is still being developed.

Acknowledgements

The pilot plant for the production of CNT-doped veils has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation program under grant agreement No 646307 (PLATFORM) and No 814581 (OASIS).

References

[1] *CF & CFRP Market by End-Use Industry (A&D, Wind Energy, Automotive, Sports, Civil Engineering, Pipe & Tank, Marine, Medical, E&E), Resin Type (Thermosetting, Thermoplastic), Manufacturing Process, Raw Material, and Region – Global Forecast to 2022.*

[2] Arjmand, M. & Sadeghi, S. in *Thermoelectrics for Power Generation – A Look at Trends in the Technology* 323–348 (2016).

[3] Lin, Y. *et al.* Experimental study to assess the effect of carbon nanotube addition on the through-thickness electrical conductivity of CFRP laminates for aircraft applications. *Compos. Part B Eng.* 76, 31–37 (2015).

[4] Islam, M. S. *et al.* Grafting carbon nanotubes directly onto carbon fibers for superior mechanical stability: Towards next generation aerospace composites and energy storage applications. *Carbon N. Y.* 96, 701–710 (2016).

[5] Gaztelumendi, I. *et al.* Enhancement of electrical conductivity of composite structures by integration of carbon nanotubes via bulk resin and/or buckypaper films. *Compos. Part B Eng.* 122, 31–40 (2017).

[6] Wu, A. S. & Chou, T. W. Carbon nanotube fibers for advanced composites. *Mater. Today* 15, 302–310 (2012).

[7] Lopes, P. E. *et al.* High CNT content composites with CNT Buckypaper and epoxy resin matrix: Impregnation behaviour composite production and characterization. *Compos. Struct.* 92, 1291–1298 (2010).

[8] Akcin, Y., Karakaya, S. & Soykasap, O. Electrical, Thermal and Mechanical Properties of CNT Treated Prepreg CFRP Composites. *Mater. Sci. Appl.* 7, 465–483 (2016).

[9] Boczkowska, A. & Latko, Sposób wytwarzania włókien i włókniny z nanorurkami węglowymi. P. PL 221848 B1. *polish Pat.* (2016).

[10] Costa, P. *et al.* Effect of carbon nanotube type and functionalization on the electrical, thermal, mechanical and electromechanical properties of carbon nanotube/sty-

rene-butadiene-styrene composites for large strain sensor applications. *Compos. Part B Eng.* 61, 136–146 (2014).

[11] Sahoo, N. G., Rana, S., Cho, J. W., Li, L. & Chan, S. H. Polymer nanocomposites based on functionalized carbon nanotubes. *Prog. Polym. Sci.* 35, 837–867 (2010).

[12] Flórez, S., I. Gaztelumendi & Gayoso, J. in *Smart Intelligent Aircraft Structures (SARISTU): Proceedings of the Final Project Conference* (eds. Wölcken, P. C. & Papadopoulos, M.) 805–814 (Springer International Publishing, 2016). doi:10.1007/978-3-319-22413-8

[13] Makowski, T., Grala, M., Fortuniak, W., Kowalczyk, D. & Brzezinski, S. Electrical properties of hydrophobic polyester and woven fabrics with conducting 3D network of multiwall carbon nanotubes. *Mater. Des.* 90, 1026–1033 (2016).

[14] Sano, E. & Akiba, E. Electromagnetic absorbing materials using nonwoven fabrics coated with multi-walled carbon nanotubes. *Carbon N. Y.* 78, 463–468 (2014).

[15] Pan, Q., Shim, E., Pourdeyhimi, B. & Gao, W. Nylon-Graphene Composite Nonwovens as Monolithic Conductive or Capacitive Fabrics. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 9, 8308–8316 (2017).

[16] Weng, B., Xu, F., Salinas, A. & Lozano, K. Mass production of carbon nanotube reinforced poly(methyl methacrylate) nonwoven nanofiber mats. *Carbon N. Y.* 75, 217–226 (2014).

[17] Latko, P., Boczkowska A. Fabrication of carbon nanotubes-doped veils, in: P.Ch. Wölcken, M. Papadopoulos (Eds.), Smart Intelligent Aircraft Structures (SARISTU), Springer. (2015) 815–824. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22413-8_43.

[18] Latko-Durałek P., Macutkievic J., Kay Ch., Boczkowska A., McNally T., Hot-melt adhesives based on co-polyamide and multi-walled carbon nanotubes, *J Appl Polym Sci* 135 (2017) 1–15. https://doi.org/10.1002/app.45999.

[19] Dydek K., Latko-Durałek P., Boczkowska A., Sałaciński M., Kozera R., Carbon Fibre Reinforced Polymers modified with thermoplastic nonwovens containing multi-walled carbon nanotubes, *Compos Sci Technol.* 173 (2019) 110–117.

Lightweight nr 1/2022
ISSN: 2720-6009

KATARZYNA SUCHOROWIEC*, MARTYNA SZATKOWSKA*,
ALINA TADLA*, PIOTR SZATKOWSKI*, MICHAŁ KISILEWICZ**

* Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Katedra Biomateriałów i Kompozytów
** Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Tarnowie, Centrum Transferu Technologii

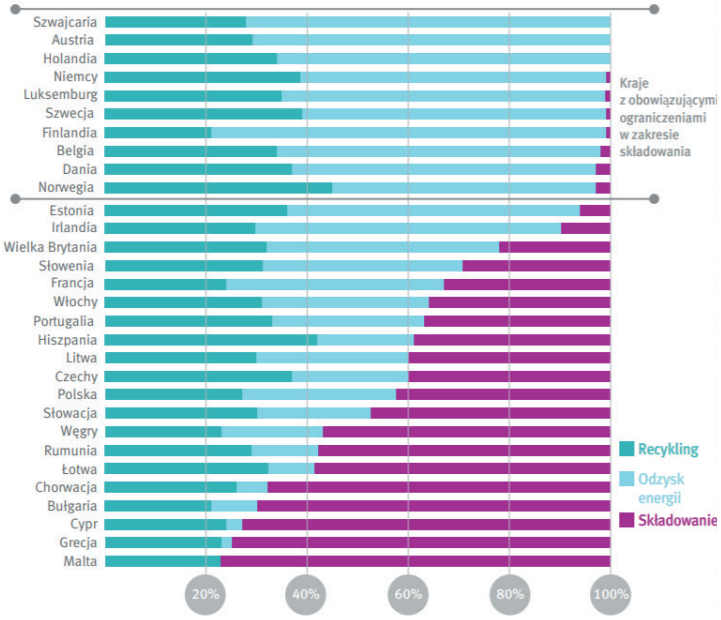
Opakowania na żywność szybko psującą się z naturalnych biodegradowalnych składników odpowiedzią na rosnące zaśmiecanie środowiska polimerowymi odpadami

Wstęp

Obecnie, rosnące zanieczyszczenie środowiska to jeden z największych globalnych problemów. Jest ono powodowane głównie przez opakowania z tworzyw sztucznych, które nie są biodegradowalne, przez co są bardzo uciążliwe dla środowiska. Takie opakowania pochodzą w dużej części z przemysłu opakowań m.in. FMCG, na które popyt ciągle rośnie. Polistyren, obok polipropylenu, polietylenu, poli(chlorku winylu) oraz poli(tereftalanuetylenu) stanowią obecnie około 71% światowej produkcji, z czego aż 46% stanowią same poliolefiny. W ciągu ostatnich ośmiu lat zaobserwowano aż 60% wzrost zapotrzebowania na tworzywa sztuczne przez przemysł związany z opakowaniami [1]. Natomiast raport „Tworzywa sztuczne – Fakty 2019" wydany przez PlasticsEurope podaje, że przemysł opakowań jest na pierwszym miejscu pod względem zużycia tworzyw sztucznych, jego zapotrzebowanie na te materiały wynosi aż 39,9%. Raport ten podaje również, że zapotrzebowanie na tworzywa sztuczne ze strony przetwórców w Unii Europejskiej wynosiło 51,2 mln ton, natomiast zebranych pokonsumenckich odpadów z tworzyw sztucznych w tym samym roku było jedynie 29,1 mln ton z czego tylko 32,5% zostało poddanych recyklingowi, 42,6% zostało wykorzystane do odzysku energii, natomiast 24,9% jest składowana. Są to dane, w których wykluczone zostały odpady niezebrane, które są nielegalnie składowane [2].

Jak widać na zestawieniu (Rys.1), w Polsce znaczna część odpadów jest składowana i nie ma wypracowanego dobrego systemu gospodarowania odpadami, dlatego tak ważne jest szukanie ekologicznych alternatyw dla powszechnie stosowanych tworzyw sztucznych.

W 2021 roku na terenie UE weszła w życie dyrektywa, która ogranicza i wycofuje możliwość zastosowania polimerów konwencjonalnych do zastosowań jednorazowych takich jak widelce, słomki i kubki. Jest to trend, który obserwuje się od wielu lat mający na celu ograniczenie stosowania materiałów o niedopasowanych właściwościach (czasu życia/użytkowania) do realnych potrzeb wynikających z tych zastosowań. Czas stosowania konwencjonalnych obciążających środowisko polimerów niedegradowalnych jako opakowań nieuchronnie zbliża się do końca. Konsekwencje tych decyzji będą wielorakie.



Rys. 1 Wskaźniki recyklingu, odzysku energii i składowania dla pokonsumenckich odpadów tworzyw sztucznych w różnych krajach [2]

Na pewno w dłuższej perspektywie wycofanie nierozkładalnych konwencjonalnych polimerów będzie opóźniało proces zanieczyszczania wód i oceanów odpadami polimerowymi oraz obniżało ilości tworzyw sztucznych będących w obiegu gospodarki odpadami. Drugim ważnym aspektem tejże decyzji jest wymuszony rozwój nowoczesnych technologii przetwórczych materiałów pochodzących ze źródeł odnawialnych ulegających degradacji po czasie swojej „pracy". Dzięki temu, że cały czas podwyższane są standardy co do wymagań dla materiałów opakowaniowych, poszukiwane są nowe materiały, nowe osnowy biodegradowalne, opracowywane są technologie dopasowywania właściwości do czasu pracy takich materiałów, a co najistotniejsze materiały o neutralnym wpływie na środowisko naturalne.

Surowce biodegradowalne na osnowy kompozytów i ich modyfikatory

Polimery to materiały, które posiadają wiele zalet, są lekkie, odporne na korozje, mają dobre właściwości izolacyjne i co najważniejsze, łatwo się je przetwarza i formuje. Z tego względu, popyt na tworzywa z wyrobów sztucznych w takich obszarach jak: opakowania, elementy konstrukcyjne z tworzywa, włókna sztuczne, cały czas rośnie, podobnie jak problem powodowanych przez nie zanieczyszczeń [3]. Świadomość tego problemu sprawiła, że polimery biodegradowalne pochodzenia naturalnego coraz bardziej zyskują na popularności jako alternatywa dla tworzyw sztucznych pochodzenia syntetycznego, które wywierają negatywny wpływ na środowisko. Można znaleźć coraz więcej badań przedstawiających ekologiczne alternatywy dla powszechnie stosowanych, niebiodegradowalnych tworzyw sztucznych.

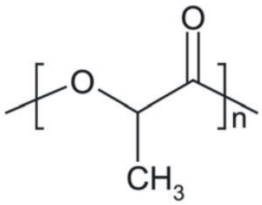
Pod względem zdolności polimerów do biodegradacji dzielimy je na dwie grupy: biodegradowalne oraz niebiodegradowalne. Ze względu na sposób otrzymywania polimerów biodegradowalnych można je podzielić na pochodzenia naturalnego oraz pochodzenia syntetycznego. Polimery naturalne to materiały, które wytwarzane są w naturalnych procesach przez rośliny lub inne organizmy żywe [4]. Możliwy jest ich podział na trzy najważniejsze grupy: polisacharydy (np. skrobia, chityna, celuloza), polipeptydy i białka (np. keratyna, elastyna, kolagen) oraz kwasy nukleinowe (DNA, RNA) [5]. Polimery biodegradowalne, to takie materiały, które zostały otrzymane w wyniku kontrolowanych reakcji chemicznych. Są to takie

polimery jak: poli(kwas glikolowy), poli(kwas mlekowy), poli(kwas asparaginowy) [4]. Użycie polimerów biodegradowalnych jest jednak ograniczone przez to, że nie posiadają dobrych właściwości mechanicznych oraz odporności cieplnej. Z tego powodu, wprowadzane są do ich objętości dodatki, które powodują nie tylko polepszenie właściwości, ale też znacząco obniżają cenę materiału [6].

Użycie osnowy z polimeru biodegradowalnego oraz wzmocnienia w postaci włókien naturalnych umożliwia otrzymanie kompozytów biodegradowalnych, inaczej nazywanych biokompozytami, które są jedną z ciekawszych grup materiałów ze względu na brak negatywnego oddziaływania na środowisko. Takie materiały stają się coraz bardziej popularne, ze względu na rosnącą świadomość ludzi w zakresie ekologii. Jednak, polimery naturalne posiadają słabe właściwości mechaniczne, a przy tym wysoką cenę, co sprawia, że nie są atrakcyjnym materiałem na rynku. Jednak użycie napełniacza w postaci włókien naturalnych powoduje nie tylko podwyższenie właściwości mechanicznych, lecz także znacznie redukuje koszty produkcji kompozytu. Otrzymany materiał wciąż jest biodegradowalny, całkowicie bezpieczny dla środowiska [6] i może zostać bezpiecznie usunięty ze środowiska przez kompostowanie lub spalanie i przy tym nie wywierać negatywnego wpływu na otoczenie [3].

Polikwas mlekowy to termoplastyczny, biodegradowalny i biozgodny poliester alifatyczny. Jest jednym z najbardziej zaawansowanych i rozpowszechnionych biopolimerów, ponieważ stanowi on aż 40% tworzyw biodegradowalnych [4]. Jego naturalny monomer – kwas mlekowy, jest otrzymywany w oparciu o syntezę biologiczną ze skrobi lub poprzez syntezę chemiczną z półproduktów odnawialnych (aldehyd octowy, etanol), półproduktów z węgla (acetylen) lub ropy naftowej [5],[7]. Może występować w dwóch postaciach: nieprzezroczystej krystalicznej oraz przezroczystej amorficznej [4]. Posiada w swojej budowie grupę estrową, która sprawia, że materiał ten jest podatny na działanie mikroorganizmów oraz procesów hydrolizy. Jego degradacja polega na pękaniu łańcucha właśnie w miejscu wiązania estrowego, co skutkuje powstaniem monomerycznych hydroksykwasów [3].

Polilaktyd wykazuje szereg zalet, między innymi: dużą przeźroczystość, dużą sztywność, łatwość formowania. Jednak jego istotną wadą jest duża gęstość wynosząca około 1,25 g/cm^3 oraz duża polarność, która ogranicza jego niektóre zastosowania [5].



Rys. 2 Wzór strukturalny polilaktydu

Polilaktyd, ze względu na swoje właściwości, zbliżone do tworzyw sztucznych stosowanych powszechnie w przemyśle i biodegradowalność cieszy się coraz większym zainteresowaniem. Można znaleźć wiele badań, w których tworzone są kompozyty, wykorzystujące go jako osnowę.

Włókna, będące fazą wzmacniającą w kompozytach, można podzielić na dwie kategorie: włókna naturalne (m.in. len, konopie) oraz włókna sztuczne, czyli między innymi włókna węglowe, szklane i metaliczne [8].

Pomimo faktu, że włókna naturalne znalazły największe zastosowanie w przemyśle włókienniczym, można zauważyć, że stopniowo stają się atrakcyjną alternatywą dla stosowanych do tej pory włókien chemicznych w kompozytach [8]. Coraz częściej zwraca się uwagę na to, aby produkowane materiały były przyjazne środowisku, z tego względu, zaczęto poszukiwać alternatyw dla włókien chemicznych.

Możliwe jest dokonanie podziału włókien naturalnych na:

- włókna pochodzenia roślinnego (włókna celulozowe),
- włókna pochodzenia zwierzęcego (włókna białkowe),
- włókna mineralne, które występują naturalnie [8].

Dodatkowo, włókna pochodzenia roślinnego, które najczęściej składają się głównie z celulozy, można podzielić na: włókna wydobyte z nasion lub torebki nasiennej (np. bawełna), włókna wydobyte z liści (np. sizal, agawa), włókna wydobyte ze skóry lub łyka otaczającego łodygę (np. juta, banan), włókna wydobyte z owoców rośliny (np. kokos), włókna, które są łodygą rośliny (np. bambus). Z tych włókien największe znaczenie mają włókna bawełniane, lniane i konopne [9].

W skład włókien pochodzenia zwierzęcego wchodzą najczęściej białka. Włókna te można podzielić na: włókna z wełny lub włosów ssaków (np. wełna owcza, włosy konia), włókna zebrane z wysuszonej śliny robaków lub owadów powstającej podczas przygotowywania kokonów (np. jedwab), włókna ptaków (np. pierze lub włókna pozyskane z piór) [9].

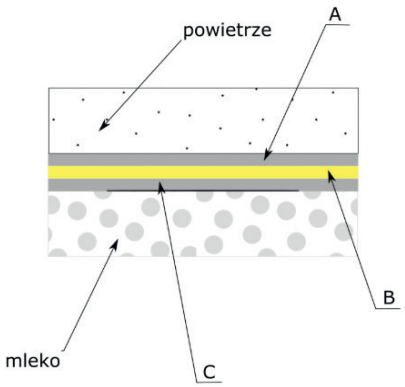
Włókna mineralne to włókna, które zostały pozyskane z minerałów. Jedynym włóknem mineralnym, który występuje naturalnie w przyrodzie jest azbest [9].

Włókna naturalne, a szczególnie włókna pochodzenia roślinnego, znalazły zastosowanie w przypadku wzmocnienia materiałów polimerowych. Mają one wiele zalet, między innymi: niska cena, dostępność na rynku, niska gęstość, prostota recyklingu, biodegradowalność oraz zdolność do tłumienia fal akustycznych [10]. Użycie włókien naturalnych jako wzmocnienia osnowy polimerowej, powoduje zauważalne zmniejszenie rozszerzalności termicznej materiału [11]. Pomimo wielu zalet, jakie można przypisać włóknom naturalnym, należy mieć na uwadze, że charakteryzują się one brakiem powtarzalności swoich właściwości, co w przypadku produkcji masowej może stanowić duży problem. Dodatkowo, mają one znacznie niższą wytrzymałość niż włókna syntetyczne, dlatego są one używane zazwyczaj w materiałach, w których znaczenie ma sztywność konstrukcji, a nie jej wytrzymałość [10]. Jedną z poważniejszych wad, które mocno ograniczają zastosowania włókien naturalnych jest fakt, że posiadają niską temperaturę rozkładu, wynoszącą około 230°C, co znacząco wpływa na proces wytwarzania kompozytów i musi zawsze zostać uwzględnione w procesie ich przetwarzania, aby uniknąć ich przedwczesnej degradacji [12].

Modyfikatory pochodzenia zwierzęcego oraz mineralne są zdecydowanie rzadziej stosowane i mniej powszechne niż te pochodzenia roślinnego, gdyż w porównaniu do włókien roślinnych, włókna białkowe wykazują niskie właściwości mechaniczne, co uniemożliwia ich stosowanie w wielu dziedzinach, jednak, warto pamiętać, że włókna białkowe cechują bardzo dobre właściwości termiczne [10],[13]. Kompozyty, w których wzmocnieniem są włókna naturalne są stosowane na coraz szerszą skalę, w takich branżach jak np.: transport (samochody, kolejnictwo), przemysł wojskowy, budownictwo i przemysł opakowań, ze względu na ich niską cenę, łatwość recyklingu i niską gęstość [9].

Projekt biodegradowalnego opakowania na mleko i żywność o krótkim terminie przydatności

Obecnie prowadzi się wiele badań mających na celu opracowanie zastępczych opakowań na mleko i żywność o krótki terminie do spożycia. Na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, która jest członkiem Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych, prowadzone są z sukcesem projekty w dziedzinie biokompozytów, a jeden z najbardziej rokujących to projekt polegający na opracowaniu biodegradowalnego kartonu na mleko. Celem projektu jest opracowanie formuły oraz dobór odpowiednich technologii do wytwarzania biodegradowalnego opakowania mogącego służyć do przechowywania żywności (w założeniu mleka), zachowującego przy tym bezpieczeństwo związane z ograniczeniem możliwości przedostawania się substancji szkodliwych, mogących stanowić bezpośrednie zagrożenie dla zdrowia konsumentów. Materiałami, które zostały poddane badaniom są biodegradowalne żywice termoplastyczne, a w szczególności polilaktyd (PLA) oraz modyfikatory naturalne dodane w celu poprawy właściwości np. włókna celulozowe. Ponadto, w założeniach jest przyjęte, że finalny produkt powinien spełniać szereg wymagań umożliwiających jego użycie do wyżej wymienionego celu, między innymi: niską przepuszczalność światła oraz tlenu, odporność na udar, małą reaktywność powierzchni mającej styczność z płynem i odpowiednią barierowość. Karton musi również być możliwy do wytworzenia przy pomocy znanych i przetestowanych metod, pozwalając na implementację rozwiązań obecnie stosowanych na liniach produkcyjnych. Koszty produkcji kartonu muszą być na tyle niskie, aby opłacało się inwestować w linie produkcyjne, a tym samym sam projekt nawet po zakończeniu go sukcesem nie trafił „do szuflady" z powodu zbyt wysokich kosztów jego wdrożenia i kosztów samego opakowania. W toku prac badawczych opracowywana jest technologia (zestaw procesów doprowadzających do wyprodukowania gotowego wyrobu) oraz dobór takich materiałów, aby powstały produkt mógł zostać wprowadzony na rynek i skomercjalizowany. To oznacza, że przy jego projektowaniu brany jest pod uwagę również czynnik ekonomiczny.



Rys. 3 Schemat projektowanego materiału na opakowania

Na rysunku Rys.3 przedstawiono schemat koncepcji zaprojektowanego i badanego materiału przez zespół projektowy. Składa się on z trzech warstw:

A) Warstwa biodegradowalna kontaktująca się z powietrzem, wykonana jest ze zmodyfikowanej biodegradowalnej polimerowej osnowy. Funkcją tej warstwy jest zapewnienie: nieprzepuszczalności; ciągłej warstwy foli, dobrego przesycenia i adhezji z warstwą konstrukcyjną; odporności na zadrapania; estetycznego wyglądu.

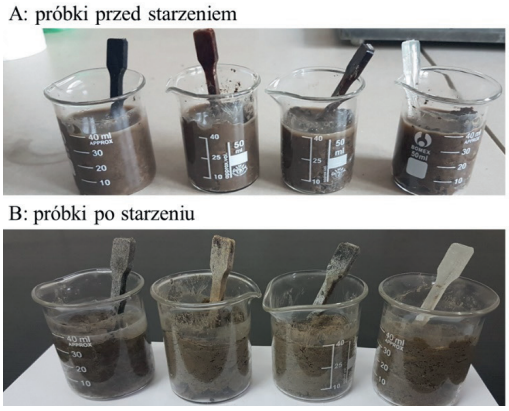
B) Warstwa konstrukcyjna, oprócz tego, że cechuje się doskonałą adhezją do dwóch zewnętrznych warstw spełnia również poniższe role: przenoszenie obciążeń mechanicznych; zapewnianie odporności na uderzenie; rozpraszanie naprężeń w swojej objętości.

C) Warstwa biodegradowalna mająca styczność z żywnością wykonana jest ze zmodyfikowanej pod kątem styczności z mlekiem matrycy polimerowej. Cechuje ją: barierowość; odpowiednio niska reaktywność chemiczna.

Biodegradowalność użytych komponentów powinna sięgać od 98 do 100%. Dobrane surowce naturalne są charakteryzowane pod kątem właściwości użytkowych, wymaganych przez zespół w projekcie. Są to takie właściwości, jak:

- możliwość kontaktu z żywnością (brak produktów rozpuszczania, reakcji ze składnikami żywności, rozpuszczania się opakowania do żywności),
- określenie fizycznych właściwości substratów (określenie temperatur przetwórczych, adhezji komponentów do siebie),
- właściwości mechaniczne matrycy (wytrzymałość na zginanie, udarność),
- tempo i charakter rozkładu (degradacja w UV i środowisku wilgotnym oraz w medium takim jak mleko krowie),
- przepuszczalność, barierowość w medium jakim jest mleko.

Dotychczas wytworzono i przebadano ściany projektowanego kartonu i poddano podstawowym badaniom mechanicznym i fizykochemicznym. W projekcie przebadano biodegradowalność zaprojektowanego tworzywa, widoczną na Rys.4

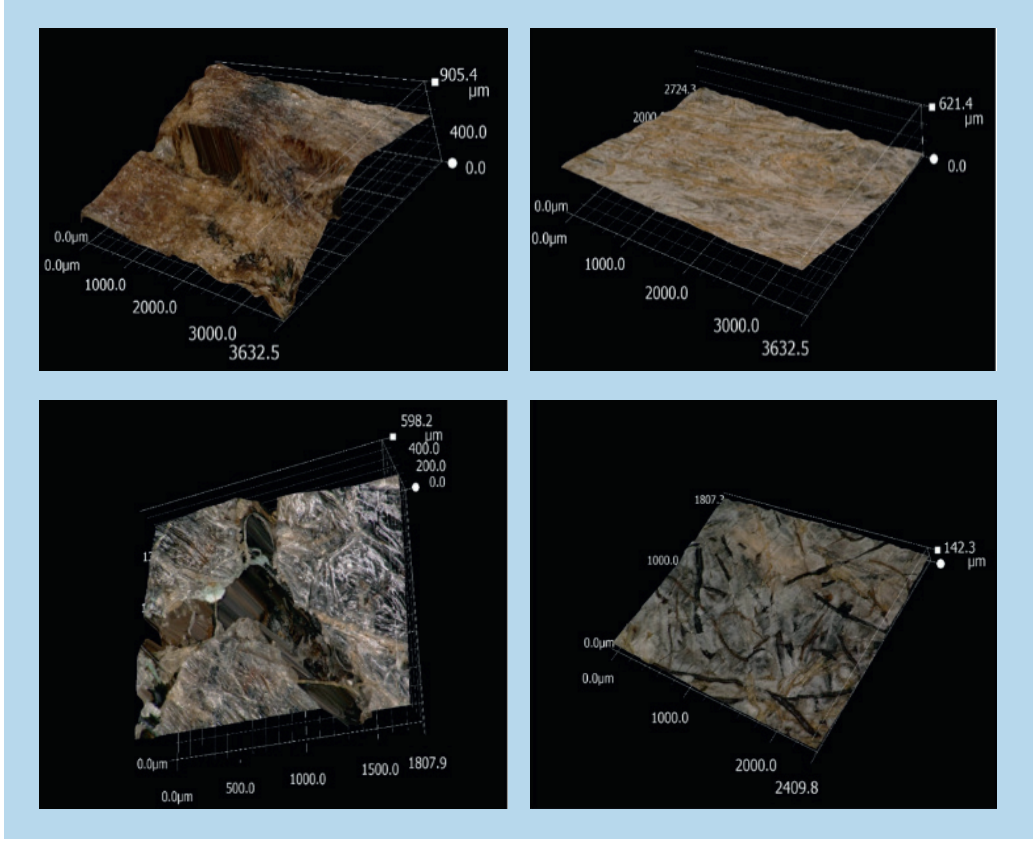


Rys. 4 Próbki materiału poddane procesowi starzenia

Na Rys 4 oraz Rys. 5 można zaobserwować widoczne różnice w próbkach przed i po procesie starzenia. Obserwacja materiałów pozwala stwierdzić, że w przypadku wszystkich próbek zaszedł proces starzenia, który dodatkowo został przyspieszony przez wodę, parującą z gleby, w której umieszczone były próbki.



Rys. 5 Próbki materiału po 48 godzinach w komorze starzeniowej



Rys. 6. Zdjęcia mikroskopowe próbki 4. Po lewej stronie – część, która podczas badania znajdowała się pod ziemią. Po prawej stronie – część, która podczas badania znajdowała się nad ziemią.

Obserwacja próbek poddanych procesowi biodegradacji pozwala zauważyć, że czysty PLA ma bardzo długi czas degradacji i w próbce nie zaszły widoczne zmiany. Natomiast, wraz ze wzrostem zawartości wełny lub innego włókna naturalnego, degradacja znacząco przyspiesza i na powierzchniach próbek o dużej zawartości wełny, widoczne są pęknięcia, świadczące o tym, że zaczął zachodzić proces biodegradacji.

Na Rys. 6 widoczna jest próbka o dużej zawartości wełny białej (1,2 g). Dla tej próbki zaszedł intensywny proces biodegradacji, widoczne są pęknięcia. Próbka miała tak niską wytrzymałość mechaniczną, że podczas wyciągania z gleby uległa dekohezji, co również można zauważyć na Rys.6. Podobnie jak w przypadku pozostałych próbek, zaszedł widoczny proces starzenia, jednak zmiany jakie zaszły są mniej widoczne niż dla próbek o niższej zawartości wełny.

Podsumowanie i wnioski

Korzyści w przypadku powodzenia projektu są bardzo znaczące. Opracowanie biodegradowalnego (kompostowalnego), bezpiecznego opakowania na mleko przyczyni się do znacznej redukcji ilości składowanych odpadów i pozwoli na istotne ograniczenie kosztów z tym związanych (a koszty te są ponoszone zawsze przez ogół społeczeństwa). Jeżeli właściwości fizyczne użytych materiałów związane z niemożliwością zachowania świeżości przechowywanych płynów (jak mleko lub soki) wykluczyłyby realizację wyżej wspomnianego celu, planowane jest osiągnięcie kompostowalności otrzymanego produktu. W rozpatrywanych obu przypadkach pozytywny wpływ na zmniejszenie problemu wynikającego z nadprodukcji tworzyw sztucznych jest nieoceniony.

Koncepcja biodegradowalnego kartonu na mleko jest niezwykle atrakcyjna. Obecnie nowoczesna

inżynieria materiałowa nie może pomijać takich tematów, bo to w jej kompetencjach leży rozwiązanie tego problemu, przyczyniając się do ochrony środowiska i równocześnie poprawy komfortu życia ludzi. Problem składowania odpadów i konsekwencji połączonych z brakiem recyklingu jest obiektem zainteresowania coraz większej liczby osób w każdym wieku co sprawia, że zakładana koncepcja opakowania trafi do szerokiego grona odbiorców. Widocznym jest, że świat coraz częściej zwraca się w kierunku rozwiązań uwzględniających współczesne problemy ochrony środowiska, zakładamy więc, że klarowna idea projektu będzie dobrze wpisywać się przy przedstawianiu jej w mediach. Warto mieć na uwadze również fakt, że możliwość zastosowania PLA zamiast poliolefin jak ma to miejsce w przypadku współczesnych opakowań pomoże w uniezależnieniu przemysłu opakowaniowego od paliw kopalnych, od których odejście jest nieuniknione, a wręcz wymagane poprzez prawo.

✶✶✶

Projekt realizowany przez Koło Naukowe Ceramit przy Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Zapraszamy przemysł do partnerskiej współpracy w celu wprowadzenie naszego rozwiązania na rynek oraz wspólnego opracowania nowych koncepcji produktów.

Literatura

[1] Kozera-Szałkowska A., „Rynek tworzyw sztucznych – produkcja, zapotrzebowanie, zagospodarowanie odpadów”, *Polimery*, t. 64, nr 11–12, Art. nr 11–12, 2019, doi: 10.14314/polimery.2019.11.3.

[2] „Tworzywa sztuczne – Fakty 2019”, *PlasticsEurope*, 2019.

[3] Mucha M., *Polimery a ekologia*. 2002.

[4] T. T. Andrzejewska Angela, „Polimery biodegradowalne do zastosowań biomedycznych”, *Postępy w Inżynierii Mechanicznej*, 2015.

[5] L. Sionkowska Alina i Katarzyna, „Biopolimery”. https://repozytorium.umk.pl/bitstream/handle/item/3016/Biopolimery-ISDMP-END 1.pdf?sequence=1 (dostęp: 22.12.2020).

[6] Pilip, N. , Kuźniar, P. , Kuciel, S., „Biodegradowalne kompozyty modyfikowane śrutą roślinną”, *Przetwórstwo tworzyw, czasopismo naukowo-techniczne*, 2012.

[7] Latos M., Masek A., „Biodegradowalne poliestry”, *Przetwórstwo tworzyw*, 2017.

[8] Major M., Major I., „Kompozyty w budownictwie zrównoważonym – przegląd rozwiązań i przykłady zastosowań”, *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*, 2015.

[9] Chandramohan D., Marimuthu K., „A review on natural fibers”, *IJRRAS*, 2011.

[10] Boczkowska A., Kapuściński J., Puciłowski K., Wojciechowsk S., *Kompozyty*, Warszawa, 2000.

[11] Kaczmar J. W., Pach J., Kozłowski R., „Wykorzystanie włókien naturalnych jako napełniaczy kompozytów polimerowych.”, *Polimery*, 2006.

[12] Pach J., Mayer P., „Kompozyty polimerowe z roślinnymi włóknami naturalnymi na potrzeby współczesnej motoryzacji”, *Mechanik*, 2010.

[13] Ragaišienė A., Rusinavičiūtė J., Milašienė D., Ivanauskas R., „Comparison of Selected Chemical Properties of Fibres from Different Breeds of Dogs and German Blackface Sheep”.

ISSN: 2720-6009

ANDRZEJ CZULAK, JACEK SYKULSKI

Unikatowa metoda wytwarzania detali wydrążonych w oparciu o materiał C-SMC o zmiennej grubości ścianki przy minimalizacji wypływki i obróbki wykańczającej

Unique moulding method of manufacturing C-SMC hollow structures with highly variable wall thickness with minimum excess material and minimized finishing needed

Materiał typu C-SMC (ang. *Carbon Sheet Moulding Compound*) potocznie zwany Forged Carbon oraz technologia jego przetwarzania została opracowana we współpracy Lamborghini i Callaway Golf Company. Jego bazowa technologia formowania nie różni się od technologii przetwórstwa materiału SMC opartego o włókno szklane. Oba materiały różnią się jednak znacząco składem.

SMC a C-SMC

Większość materiałów SMC bazującego na włóknie szklanym zawiera do 15% żywicy poliestrowej, do 50% wypełniaczy oraz do 30% włókna szklanego o długościach od 1-2,5 cm. Pozostałą część stanowią dodatki funkcyjne.

W przypadku materiału C-SMC zawartość włókien węglowych stanowi od 50 do 60%, natomiast pozostała część to żywica epoksydowa. Najbardziej powszechne jest stosowanie włókien węglowych o długości 25 lub 50 mm. Taka kompozycja zapewnia znakomite właściwości wytrzymałościowe, będąc idealnym zamiennikiem aluminium. W wielu przypadkach przewyższa je parametrami wytrzymałościowymi przy niewiele niższych parametrach sztywności, oferując przy tym znaczną redukcję masy o minimum 45%.

Formowanie C-SMC

Materiał C-SMC, ze względu na stosowanie dłuższych włókien oraz wysoki poziom wypełnienia włóknami wzmacniającymi, cechuje się utrudnionym formowaniem i ograniczonym płynięciem. Formowanie detali z jego wykorzystaniem wymaga pełnej kontroli procesu tj. prędkości, pozycji tłoka i ciśnienia, co wiąże się często z koniecznością przeprowadzenia analiz płynięcia materiału w celu uniknięcia wad strukturalnych wynikających z niepoprawnego przemieszczania się ciekłej kompozycji w formie, w trakcie procesu prasowania.

Formowanie detali o skomplikowanej geometrii, gdzie duża zmiana grubości detalu, a w szczególności obszary wydrążone (ang. *hollow structures*) stanowią obecnie duże wyzwanie w projektowaniu struktur z materiału C-SMC.

ANDRZEJ CZULAK, JACEK SYKULSKI

Dotychczas stosowana technologia wytwarzania tego typu detali polegała na prasowaniu detali monolitycznych, a następnie usuwaniu materiału poprzez jego frezowanie, co prowadzi do niszczenia lub skracania długość włókien przenoszących obciążenia. Taki zabieg powoduje ogromne straty parametrów wytrzymałościowych, co jest szczególnie niebezpieczne w przypadku detali o cienkich ściankach.

Carbon Design Sp. z o.o. jako pierwsza firma na świecie opracowała autorską metodę wytwarzania elementów wydrążonych z materiału Forged Carbon (Carbon SMC) o dużej zmienności grubości ścianki, w procesie zapewniającym brak ścinania i skracania włókien, zapewniając najwyższą wytrzymałość detalu końcowego oraz redukując poziom odpadu i obróbki wykańczającej do minimum.

Udało się to osiągnąć dzięki opracowaniu specjalnych narzędzi pozwalających na pełną kontrolę pozycji wszystkich elementów w trakcie formowania oraz zaprojektowaniu procesu technologicznego umożliwiającego wytwarzanie powtarzalnych, wysokowytrzymałych a zarazem skomplikowanych detali w jednym kroku technologicznym. Poniżej zaprezentowano przykładowe realizacje.









Lightweight nr 1/2022
ISSN: 2720-6009

ANNA J. DOLATA[1*], MACIEJ DYZIA[1],
MICHAŁ STARCZEWSKI[1, 2], MICHAŁ ZŁOTECKI[2]

[1] Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Materiałowej
* anna.dolata@polsl.pl
[2] ZŁOTECKI Sp. z o.o.

Tłok wzmocniony lokalnie kompozytowym insertem typu Al/SiC$_p$ – przykład innowacji produktowej

Streszczenie: W artykule przedstawiono istotne cechy kompozytów metalowych o osnowie lekkich stopów aluminium zbrojonych twardą fazą ceramiczną (AlSi/SiC$_p$) pozwalające na wykorzystanie tej grupy materiałów w złożonym stanie obciążeń, głównie w węzłach tarcia. Uwagę skupiono na właściwościach tribologicznych, kluczowych dla wszystkich par ciernych, zwłaszcza silnie obciążonego układu tłok – pierścień – cylinder (TPC) pracującego w silniku spalinowym. Omówiono budowę, materiały i podstawowe funkcje tłoka. Zaprezentowano nowe rozwiązanie materiałowo-technologiczne, opracowane w ramach współpracy z partnerem przemysłowym Fabryką Tłoków Silnikowych Złotecki Sp. z o.o.

Zaproponowana innowacja produktowa, tłok do silnika spalinowego wzmocniony lokalnie kompozytowym insertem typu Al/SiC$_p$ kształtowanym w procesie odlewania odśrodkowego, jest efektem prac badawczo-rozwojowych zrealizowanych w projekcie pt.: „Opracowanie technologii wytwarzania kształtki kompozytowej z przeznaczeniem na lokalne wzmocnienie odlewów aluminiowych" współfinansowanym ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia Narodowego Centrum Nauki i Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w Programie TANGO2 (umowa nr: TANGO2/340272/NCBR/2017).

Słowa kluczowe: kompozyty metalowe, tłoki wzmocnione lokalnie, inserty, innowacja produktowa

Wprowadzenie

Redukcja emisji substancji szkodliwych to jedno z ważniejszych wyzwań w szeroko rozumianej motoryzacji. Zgodnie z wytycznymi UE w okresie 2020–2021 średnia emisja drogowa dwutlenku węgla powinna wynieść dla wszystkich nowych samochodów osobowych danego producenta 95 g/km CO_2, a do roku 2025 ograniczona do 75 CO_2 g/km [1–3]. W spełnieniu tych wymogów istotną rolę odgrywa obniżenie ciężaru właściwego stosowanych materiałów konstrukcyjnych, a w konsekwencji redukcja masy gotowego pojazdu. Nie dziwi zatem obecny trend jakim jest zastępowanie (*konwersja*) dotychczas stosowanych materiałów nowymi, lekkimi tworzywami konstrukcyjnymi o korzystnym stosunku wytrzymałości do gęstości. Przykładem tego typu materiałów inżynierskich wykorzystywanych do budowy pojazdów są lekkie stopy aluminium i magnezu, tworzywa sztuczne, a także nowoczesne materiały kompozytowe (rys. 1), zarówno o osnowie polimerowej (GFRP, CFRP) jak i osnowie metalowej (MMCs).

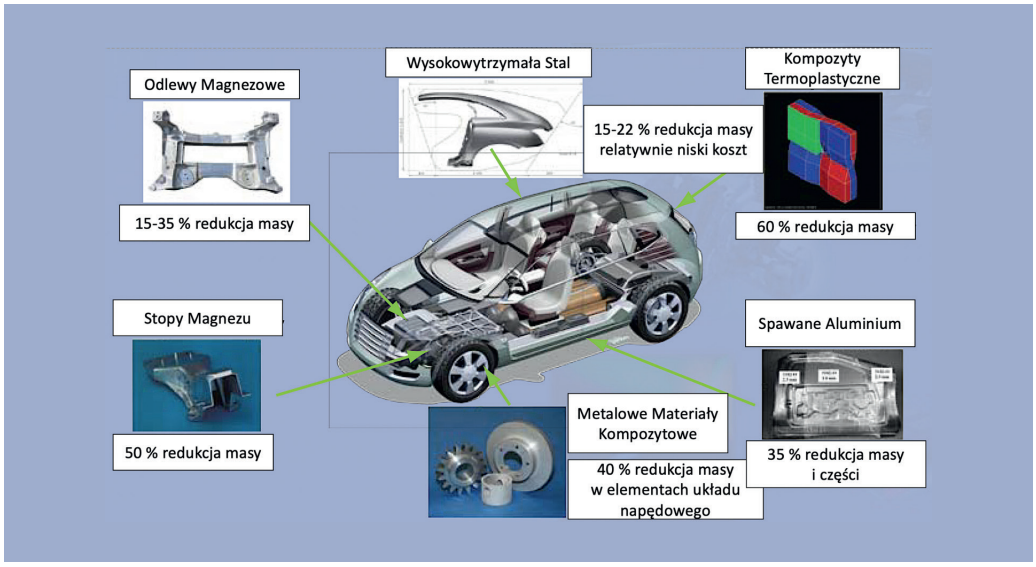
W grupie MMCs spory potencjał wykazują kompozyty wytwarzane w układzie stop aluminium/ceramika (AlMMCs). Tego typu materiały w porównaniu ze stopem bazowym charakteryzują się

głównie wyższą wytrzymałością i sztywnością zwłaszcza w podwyższonej temperaturze, stabilnością współczynnika rozszerzalności cieplnej oraz zwiększoną twardością i odpornością na zużycie w warunkach tarcia [4–6]. Dodatkowo, w badaniach własnych wykazano [7], że wprowadzenie do stopów AlSi komponentów ceramicznych w postaci cząstek węglika krzemu (SiC_p) obniża i stabilizuje współczynnik tarcia metalowej osnowy (rys. 2). Tak korzystny zespół właściwości pozwala na ich wykorzystanie w złożonych warunkach obciążeń, głównie w różnego typu skojarzeniach tribologicznych, np. na elementy grupy tłokowo-cylindrowej, w skład której wchodzą tłoki, pierścienie tłokowe i cylindry (tzw. układ TPC).

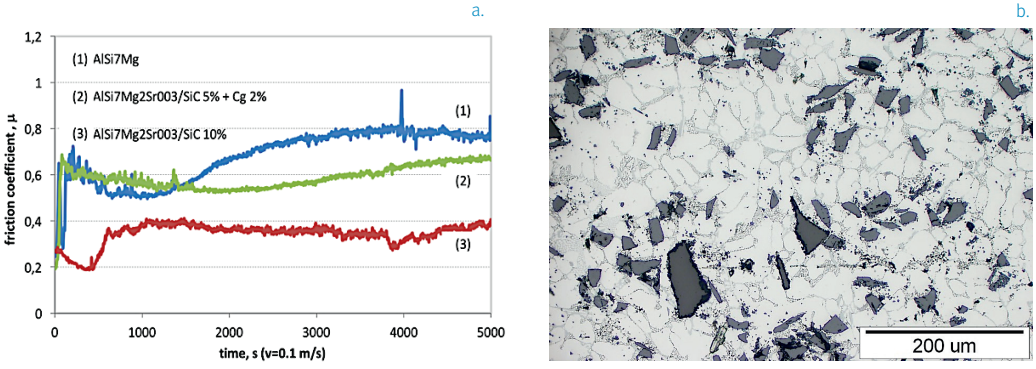
Należy jednak podkreślić, że wdrożenie do produkcji innowacyjnych materiałów kompozytowych uwarunkowane jest opracowaniem kompleksowych rozwiązań konstrukcyjnych, materiałowych i technologicznych zarówno pod kątem spełnienia wysokich wymagań nowoczesnego przemysłu jak i ambitnych norm środowiskowych Unii Europejskiej.

Układ TPC w silniku spalinowym

Układ tłok – pierścienie – cylinder (TPC) jest jednym z najważniejszych węzłów kinematycznych silnika spalinowego decydującym o parametrach jego pracy, zwłaszcza trwałości eksploatacyjnej [9]. Z kolei wszystkim poruszającym się elementom mechanicznym towarzyszy tarcie, ro-



Rys. 1. Grupa „lekkich" materiałów konstrukcyjnych do zastosowań w motoryzacji, źródło: *United States Council For Automotive Research* [8].



Rys. 2. (a) Wykres zmian współczynnika tarcia materiałów kompozytowych w porównaniu do stopu osnowy AlSi7Mg; (b) Struktura kompozytu AlSi7Mg2Sr003/SiC w stanie po odlaniu, badania własne [7].

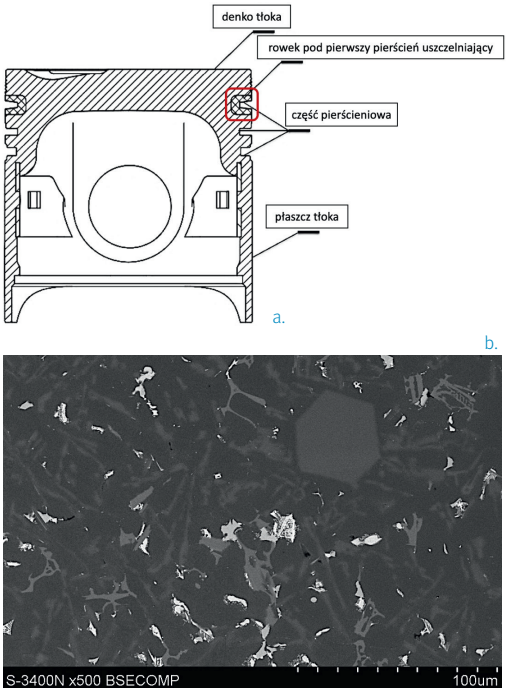
zumiane jako całokształt zjawisk występujących na styku współpracujących ze sobą materiałów. Przyjmuje się, że około 50% strat tarcia w silnikach spalinowych pochodzi od tarcia w układzie tłokowo-cylindrowym z czego 80% stanowią straty tarcia w wyniku współpracy pierścienia z gładzią cylindrową [10]. Szacuje się, że połowa tych strat przypada na komplet pierścieni osadzonych na tłoku. Należy podkreślić, że wzrost lub obniżenie emisji związków toksycznych do środowiska zależą głównie od pracy zespołu TPC, a uszczelnienie pierścieniowe tłoka jest głównym miejscem przedostawania się oleju smarującego z gładzi cylindra do komory spalania [11].

Prace badawcze nad rozwiązaniem problemu poprawy trwałości i sprawności eksploatacyjnej silników spalinowych prowadzone są w dwóch kierunkach. Pierwszy, dotyczy poszukiwania nowych, innowacyjnych rozwiązań materiałowych [12–14]. Z kolei drugi związany jest ze zmianą konstrukcji istotnych elementów silnika spalinowego [15]. Ich wspólnym mianownikiem jest uzyskanie wyższych parametrów pracy, głównie podwyższenie mocy i sprawności silnika, przy jednoczesnym obniżeniu zużycia paliwa i emisji toksycznych składników spalin. Jednym z istotnych kryteriów projektowych jest dążenie do obniżenia masy konstrukcji, w spełnieniu którego pomocne stają się nowe, lekkie materiały kompozytowe (np. Al/SiC$_p$) charakteryzujące się korzystnym stosunkiem wytrzymałości do gęstości.

Funkcje i budowa tłoka oraz materiały stosowane do jego produkcji

Tłok jest istotnym, ruchomym elementem zespołu TPC usytuowanym w komorze spalania. Jego głównym zadaniem jest przekonwertowanie uwolnionej energii ze spalanej w cylindrze mieszanki w pracę mechaniczną, a dodatkowo rozpraszanie ciepła i uszczelnienie cylindra z pomocą pierścieni. Oczekuje się, aby był to produkt „lekki" a zarazem wytrzymały konstrukcyjnie, mowa o stabilności cieplnej i wymiarowej oraz odporny na ścieranie. Podstawową budowę tłoka pokazano schematyczne na rysunku 3a.

Wcześniejsze rozwiązania materiałowe bazowały na tłokach wykonywanych z żeliwa zwykłego lub stopowego o prawie 3-krotnie wyższej gęstości w porównaniu do obecnie stosowanych stopów aluminium z krzemem (Al-Si), tzw. siluminów ($\rho \cong 2{,}7$ g/cm^3), które w zależności od procentowej



Rys. 3. (a) Przekrój tłoka z podziałem na podzespoły; (b) Mikrostruktura siluminu tłokowego.

zawartości krzemu dzielą się na podeutektyczne, eutektyczne i nadeutektyczne [16]. Na rysunku 3b pokazano mikrostrukturę podeutektycznego siluminu tłokowego (AlSi7), w której obok wydzielenia krzemu pierwotnego (Si) widoczne są także różnego typu fazy międzymetaliczne zgodne ze składem chemicznym stopu.

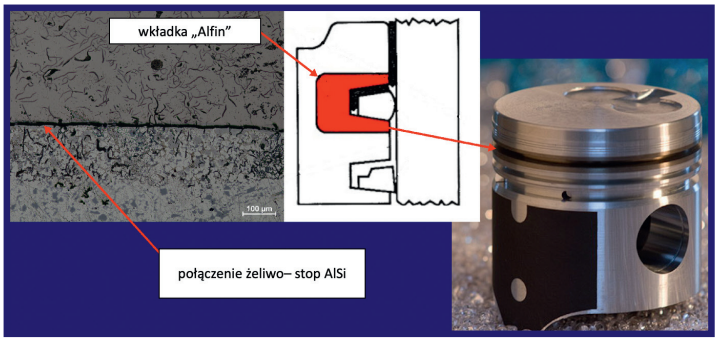
Obok niewątpliwych zalet, które zadecydowały o powszechnym wykorzystaniu stopów aluminium w produkcji tłoków (rys. 4), w tym niski ciężar właściwy i dobre przewodnictwo cieplne, materiały te



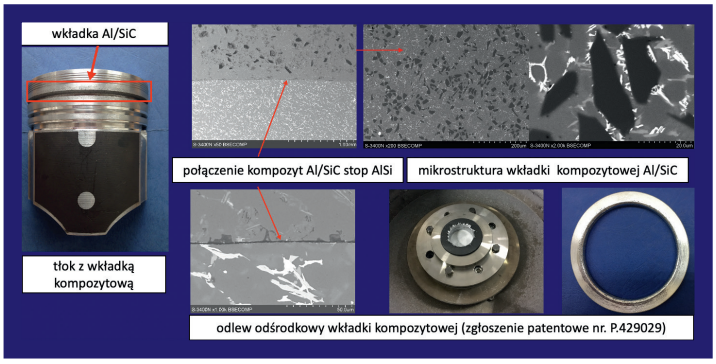
Rys. 4. Tłoki aluminiowe do silników diesla (*silników wysokoprężnych*), silników benzynowych (*o zapłonie iskrowym*), sprężarek układów hamulcowych oraz tłoków do zastosowań specjalnych (np. w przemyśle lotniczym) wytwarzane w Fabryce Tłoków Silnikowych Złotecki Sp. z o.o. [17].

w porównaniu z żeliwem wykazują pewne wady m.in.: wyższy współczynnik rozszerzalności cieplnej, niższą wytrzymałość w podwyższonej temperaturze, a także niższą twardość i odporność na ścieranie.

Efektywność pracy i trwałość eksploatacyjna całego zespołu TPC w dużej mierze zależy od stabilności (umocowania) pierścieni tłokowych. Stąd, ze względu na specyficzną konstrukcję i większe obciążenia mechaniczne, dla silników turbodoładowanych dedykowane są tłoki z wkładką żeliwną wykonywaną w technologii „Alfin" (rys. 5). Zadaniem wkładki tłokowej (ang. *ring carrier*) jest zwiększenie trwałości pierwszego rowka pierścieniowego oraz sprawne odprowadzenie ciepła z tego obszaru [18]. W niektórych typach tłoków do silników diesla montowane są również stalowe wkładki kompensacyjne w płaszczu tłoka [17].



Rys. 5. Widok tłoka do silników diesla z wkładką żeliwną wykonywaną w technologii „Alfin".



Rys. 6. Widok tłoka do silników diesla z wkładką kompozytową typu Al/SiC_p, przykład konwersji materiałowej.

Nowe rozwiązanie materiałowo-technologiczne

Badania własne skoncentrowano na opracowaniu nowej koncepcji materiałowo-technologicznej kształtowania lokalnego insertu kompozytowego (wkładki) typu AlSi/SiC_p w obszarze rowka pod pierścień uszczelniający w tłoku przeznaczonym do pracy w silniku wysokoprężnym (rys.6). Główną motywacją do podjęcia działań w tym kierunku było ograniczenie zużycia aluminium oraz obniżenie masy tłoka a także poprawa jakości połączenia na granicy tłok/wkładka i ograniczenie naprężeń cieplnych.

Sposób wytwarzania kompozytowej wkładki oparto na wykorzystaniu ekonomicznych metod odlewniczych takich jak proces mechanicznego mieszania [19], w którym wytwarza się zawiesinę kompozytową typu AlSi/SiC_p oraz proces odlewania odśrodkowego [20,21], który pozwala na uzyskanie pierścienia kompozytowego o cechach odlewu „near net shape".

Realizując fazę badawczo – rozwojową wykonano prace modelowe [22], szereg eksperymentów i badań w kierunku zarówno doboru odpowiednich komponentów (tj. osnowy oraz ceramicznego zbrojenia) jak i parametrów technologicznych proponowanej metody odlewania odśrodkowego pierścieni tłokowych (tj. prędkość obrotowa i temperatura formy, temperatura zalewania zawiesiny kompozytowej), zaprojektowano również kształt formy odlewniczej i sposób mocowania insertów kompozytowych w formie odlewniczej – objęte wiedzą *know how*.

Próby technologiczne, zrealizowane w Firmie Złotecki Sp. z o.o., partnera przemysłowego prac B+R, potwierdziły możliwość zastosowania insertów kompozytowych jako lokalnego wzmocnienia odlewu tłoka. Wytworzono prototypową serię tłoków w skali przemysłowo-demonstracyjnej o poziomie gotowości wdrożeniowej TRL7, a opracowane rozwiązanie jest przedmiotem zgłoszenia patentowego (UP RP nr. 429029 z dn. 25.02.2019).

Podsumowanie

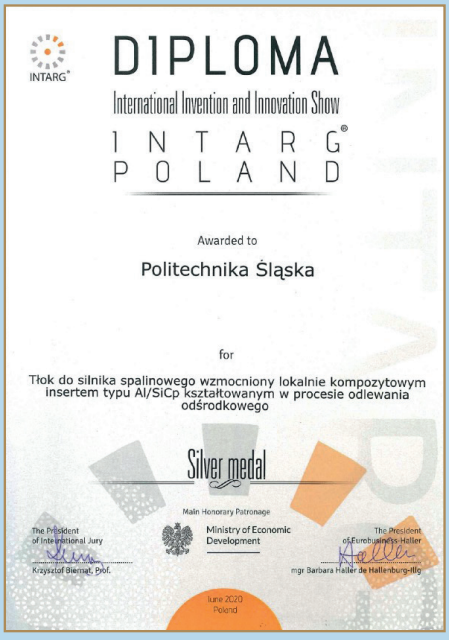
Opracowane rozwiązanie materiałowo-technologiczne, nagrodzone srebrnym medalem na XIII Międzynarodowych Targach Wynalazków i Innowacji „INTARG' 2020" oraz na Międzynarodowych Targach Utrzymania Ruchu i Technologii Przemysłowych „INDUSTRYmeeting' 2020", stanowi alternatywę dla obecnie stosowanych wkładek żeliwnych typu „ALFIN", a podejmowane działania wpisują się w aktualny trend prowadzonych na świecie prac badawczo-rozwojowych dotyczących zmian konstrukcyjno-materiałowych w silnikach spalinowych.

Główną cechą nowości zaproponowanej innowacji produktowej jest konwersja wkładki żeliwnej, stosowanej dotychczas, na kompozytowy insert typu AlSi/SiC$_p$ dedykowany jako lokalne wzmocnienie obszaru rowka pod pierwszy pierścień uszczelniający w tłokach pracujących w silnikach diesla.

Z kolei istotnymi walorami użytkowymi zastosowania wkładki kompozytowej w strefie styku z pierścieniem tłokowym są:

1. nowa funkcjonalność tłoka zwłaszcza w obszarze pracującym w warunkach złożonych obciążeń, głównie tribologicznych i cieplnych;
2. podwyższenie twardości i odporności na zużycie oraz zwiększenie stabilności wymiarowej, także w podwyższonej temperaturze;
3. ograniczenie naprężeń cieplnych w obszarze granicznym tłok-wkładka;
4. obniżenie kosztów produkcji poprzez zastosowanie metody odlewania odśrodkowego pozwalającej na uzyskanie produktu „near net shape";
5. ograniczenie odpadów poprodukcyjnych, związanych z zanieczyszczeniem żelazem stopów AlSi w procesie „alfinizacji", niezbędnym w przypadku stosowania wkładek żeliwnych;
6. obniżenie masy tłoka, istotnego parametru wpływającego na zmniejszenie bezwładności ruchomych elementów silnika, co przekłada się na obniżenie zużycia paliwa a finalnie na ograniczenie emisji toksycznych składników spalin.





Podziękowanie

Prace badawczo-rozwojowe zrealizowano w projekcie pt.: „Opracowanie technologii wytwarzania kształtki kompozytowej z przeznaczeniem na lokalne wzmocnienie odlewów aluminiowych" współfinansowanym ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia Narodowego Centrum Nauki i Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w Programie TANGO2 (umowa nr: TANGO2/340272/NCBR/2017), kierownik projektu Anna Janina Dolata.

Literatura

[1] https://moto.pl/MotoPL/7,88389,23277145,unia-europejska-przycina-emisje-co2-pociagnie-to-za-soba-nizsze.html, dostęp z dnia 13.06.2021.

[2] M. Walczak, J. Caban, P. Pliżga, *Charakterystyka tribologiczna stopów magnezu stosowanych w środkach transportu*, TTS Technika Transportu Szynowego (2015) 12, 1614–1617.

[3] J. Caban, P. Droździel, J. Seńko, *Wybrane materiały konstrukcyjne w budowie pojazdów samochodowych*, Logistyka (2014) 3, 946–953.

[4] S. Boczkal, A.J. Dolata, M. Nowak, *Effect of SiC and GR reinforcement particles on the structure and functional properties of composite casting*, Archives of Metallurgy and Materials 61 (2016) 1, 399–404.

[5] A.J. Dolata, M. Dyzia, L. Jaworska, P. Putyra, *Cast hybrid composites designated for air compressor pistons*, Archives of Metallurgy and Materials, 61 (2016) 2, 705–708.

[6] M. Walczak, D. Pieniak, J. Bieniaś, *Zużycie i struktura powierzchni aluminiowych kompozytów zbrojonych cząsteczkami SiC w warunkach tarcia technicznie suchego*, Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe 13 (2012) 7–8, 167–173.

[7] M. Dyzia, A.J. Dolata, P. Putyra, L. Jaworska, *Dobór składu fazowego kompozytu na bazie stopu AlSi pod kątem możliwości kształtowania powierzchni roboczych tłoków*, Inżynieria Materiałowa 6 (208) (2015), 519–523, DOI 10.15199/28.2015.6.35

[8] http://www.uscar.org/guest/publications.php, PAC Brochure 2010; dostęp z dnia 20.06.2021.

[9] E. Wróblewski, A. Iskra, M. Babiak, *Minimalizacja zużycia elementów grupy tłokowo-cylindrowej, Eksploatacja i testy*, Autobusy 6 (2017), 1137–1147.

[10] A. Niewczas, *Trwałość zespołu tłok-pierścienie tłokowe – cylinder silnika spalinowego*, WNT, Warszawa, 1998.

[11] J. Suchecki, *Reducing mechanical losses of the engine as a method of reducing CO_2*, Combustion Engines 154 (2013) 3, 496–499, ISSN 0138-0346.

[12] J. Sobczak, S. Wojciechowski, *Współczesne tendencje praktycznego zastosowania kompozytów metalowych*, Kompozyty (Composites) 2(2002)3, 24–37.

[13] D. Rudnik, J. Sobczak, *Tłoki kompozytowe do silników spalinowych*, Instytut Transportu Samochodowego, Warszawa 2001, ISBN 83-913045-7-4.

[14] M. Dyzia, *AlSi7Mg/SiC and Heterophase SiC_p+CG Composite for Use in Cylinder-Piston System of Air Compressor*, Solid State Phenomena 176 (2011), 49–54.

[15] Ch. Patil, S. Varade and S. Wadkar, *A Review of Engine Downsizing and its Effects*, International Journal of Current Engineering and Technology 7 (2017), 319–324.

[16] M. Walczak, J. Bieniaś, B. Stradomska, A. Jankowski, D. Bielecki, *Zużycie tłoków silnikowych charakterystyka mikrostrukturalna materiałów wykorzystywanych do ich produkcji*, Zeszyty Naukowe WSEI Seria: Transport i Informatyka, 1 (2021), 59–72.

[17] https://zlotecki.pl/oferta/tloki/; dostęp z dnia 20.06.2021.

[18] P. Lisiak, *Nowa technologia obróbki rowków pod pierścienie oraz powierzchni walcowych tłoków silników samochodów osobowych, Rozprawa doktorska*, Politechnika Poznańska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Poznań 2017.

[19] A.J. Dolata, M. Dyzia, *Aspects of fabrication aluminium matrix heterophase composites by suspension method*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 35 (2012), Article Number: 012020, doi:10.1088/1757-899X/35/1/012020.

[20] A.J. Dolata, M. Dyzia, J. Wieczorek, *Tribological Properties of Single (AlSi7/SiC_p, AlSi7/GC_{sf}) and Hybrid (AlSi7/SiC_p + GC_{sf}) Composite Layers Formed in Sleeves via Centrifugal Casting*, Materials 12 (2019) 17, Article Number 2803, DOI: 10.3390/ma12172803.

[21] A.J. Dolata. M. Mróz, M. Dyzia, M. Jacek-Burek, *Scratch testing of AlSi12/SiCp composite layer with high share of reinforcing phase formed in the centrifugal casting process*, Materials 13 (2020), 7, Article Number 1685, DOI:10.3390/ma13071685.

[22] A.J. Dolata, S. Golak, P. Ciepliński, *The eulerian multiphase model of centrifugal casting process of particle reinforced Al matrix composites*, Composites Theory and Practice, 17 (2017) 4, 200–205.

ISSN: 2720-6009

MACIEJ SKORUPSKI*, KATARZYNA SUCHOROWIEC*, MARTYNA SZATKOWSKA*, PIOTR SZATKOWSKI*, MICHAŁ KISILEWICZ**, HENRYK ŚWITOWSKI***

* Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Katedra Biomateriałów i Kompozytów
** Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Tarnowie
*** New Composite Solutions Sp. z. o. o., Skarżysko-Kamienna

Materiały kompozytowe w głównej roli jako fundament kolonizacji Marsa

Wstęp

Żyjemy w wyjątkowych czasach zmian, nigdy w historii człowieka nie doświadczaliśmy tak prężnego rozwoju nauki i techniki. Wiąże się to z ciągłym i nieszablonowym rozwiązywaniem nowych problemów w każdej dziedzinie, a szczególnie duży rozwój zaobserwowano w dziale inżynierii materiałowej – poszukiwaniu i projektowaniu nowych materiałów. Inżynieria materiałowa jest jedną z dziedzin inżynierii, która staje się fundamentalna w momencie, gdy wyobrażamy sobie kolonizację Księżyca i Marsa. Zostaje wykorzystana podczas znajdowania kluczowych rozwiązań związanych m.in. z transportem międzyplanetarnym, konstrukcjami nośnymi, przewodnictwem w ekstremalnych warunkach atmosferycznych, magazynowaniem energii oraz zapewnieniem bezpieczeństwa kolonizatorów. Idealnymi materiałami do tego są właśnie materiały kompozytowe. Tego rodzaju materiały dają możliwości projektowania właściwości mechanicznych i dodawania funkcjonalności, na których w danym momencie nam zależy z równoczesną redukcją masy elementów.

Kolonizacja Marsa – wyniosły kosmiczny cel, złożony z wielu prowizorycznych, ziemskich ograniczeń

Plan kolonizacji Marsa jest nadrzędnym obiektem zainteresowań najbardziej zaawansowanej technologicznie agencji kosmicznej na świecie, czyli NASA, która lot załogowy na czerwoną planetę planuje na początku lat 30. XXI wieku. Planom eksploracji Marsa towarzyszą również mniej lub bardziej futurystyczne plany jego kolonizacji. Mowa już nie tylko o stworzeniu stałej bazy, ale samowystarczalnego miasta (SpaceX).

Na drodze do realizacji tak śmiałych planów stoją liczne przeszkody. Jedną z nich jest konieczność transportu na marsjański plac budowy surowców i elementów konstrukcyjnych. Gdyby nawet istniały napędy umożliwiające przeprowadzenie takiej operacji, to jej koszty byłyby gigantyczne. Najlepszym ekonomicznie uzasadnionym rozwiązaniem wydaje się wykorzystanie surowców, które znajdują się na czerwonej planecie. Jednym z pomysłów jest pozyskanie polimerów z hodowli owadów. W taki sposób możliwe powinno być pozyskanie regolitu i chityny, najpowszechniej występującego w przyrodzie polimeru, poza celulozą. Patrząc jednak na przetwórstwo i użytkowe zastosowanie na Masie wspomnianych wcześniej polimerów nie należą one do wyborów najkorzystniejszych. Natomiast brak konieczności transportu innych polimerów z ziemi lub jego ograniczenie będzie gigantyczną zaletą decydującą o użyciu tych materiałów pomimo ich niewątpliwych wad.

Wspomniane w poprzednim akapicie ograniczenia praktycznie wykluczają transport konstrukcyjnej stali oraz jej produkcję ze względu na ponoszony wysoki koszt energetyczny. Ziemskie technologie konstrukcyjne sprawdziłyby się na

Marsie znakomicie. Niemniej jednak transfer elementów tych technologii i samych materiałów na czerwoną planetę wydaje się aktualnie kompletnie niemożliwy.

Wysuwają się tutaj trzy koncepcje, które wydają się obecnie możliwe. Pierwsza z nich zakłada opracowanie technologii możliwej do postawienia na planecie kolonizowanej, a co za tym idzie produkcję materiałów konstrukcyjnych z surowców na niej obecnych. Wymaga to dokładnej analizy tych surowców i opracowania sposobów oraz receptur umożliwiających uruchomienie linii produkcyjnych.

Druga koncepcja polega na opracowaniu technologii materiałów kompozytowych, które będą przeniesione i zaadoptowane do warunków marsjańskich. W tym celu planuje się synergetyczne wykorzystanie połączenia komponentów o niskiej gęstości z tworzywami o wysokich parametrach mechanicznych pozwalających na maksymalną redukcję masy elementów. Technologie te będą skupiały się na użyciu składników lekkich, które będą jednocześnie maksymalizowały oczekiwane właściwości konstrukcyjne materiału.

Trzecia koncepcja łączy pierwszą koncepcję z drugą. Polega ona na początkowym transporcie lekkich technologii kompozytowych (np. linii pultruzyjnych) w celu produkcji materiałów tego rodzaju na miejscu. Dzięki temu będzie mógł następować powolny proces zastępowania materiałów dostarczanych z Ziemi materiałami występującymi na Marsie. Materiały, które naturalnie znajdują się na kolonizowanej planecie będą z czasem stanowiły coraz większy udział w wytwarzanych elementach konstrukcyjnych.

Stal konstrukcyjna niedostatecznie dobra – kompozyty konstrukcyjne – technologie kosmiczne

Stal jest szeroko dostępna i można ją znaleźć niemal w każdym zakątku Ziemi. Stała się przez to fundamentalnym materiałem w ziemskich konstrukcjach, szczególnie w formie stalowych prętów. Stal posiada względnie dobre właściwości mechaniczne (500 MPa wytrzymałość na rozciąganie). Do jej zalet możemy również zaliczyć wysoką pracę zniszczenia (w porównaniu z kompozytami nawet 20 krotnie wyższa) oraz możliwość plastycznego formowania i spawania. Mimo to ten materiał posiada jednocześnie wiele wad. Należą do nich wysoka gęstość oraz nieodpowiednie właściwości mechaniczne właściwe (stosunek konkretnego rodzaju wytrzymałości do gęstości). Wady te sprawiają, że stal nie jest brana pod uwagę jako dominujący materiał konstrukcyjny w kolonizacji Marsa. Spowodowane jest to przede wszystkim kosztami, jakie wiązałyby się z transportem tego materiału z planety na planetę. W Tabeli 1 zestawiono właściwości prętów stalowych z alternatywnymi prętami bazaltowymi, które mogłyby zostać wykorzystane właśnie na Marsie redukując jednocześnie zużycie stali na Ziemi.

Wraz ze wzrostem wymagań związanych z budownictwem i perspektywą budowy bazy na czerwonej planecie, kompozytowe wyroby z włókien bazaltowych wytwarzane metodą pultruzji zysku-

Tabela 1. Porównanie właściwości prętów stalowych i bazaltowych [1–4].

Parametr	Pręt stalowy	Pręt bazaltowy
Gęstość [t/m^3]	7,8	1,9–2,1
Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	440–600	1100–1700
Wytrzymałość właściwa na rozciąganie [MPa/g/cm^3]	56–77	560–850
Współczynnik rozszerzalności liniowej [%]	10–20	2,5–5,0
Adhezja z betonem	Mechaniczna	Mechaniczna oraz chemiczna
Przewodność cieplna	Przewodzi	Nie przewodzi
Przewodność elektryczna	Przewodzi	Nie przewodzi
Okres eksploatacji	do 50 lat	ok. 100 lat
Wpływ na środowisko	Nieekologiczne	Łatwa utylizacja, ekologiczne
Odporność na korozję	Koroduje	Odporne nawet w kwasowych środowiskach

ją coraz większe znaczenie na rynku. Ze względu na duże problemy związane z użytkowaniem stalowego zbrojenia, pręty kompozytowe okazały się idealnym substytutem [1–4].

Pręty bazaltowe, w porównaniu ze stalowymi, posiadają wiele korzyści takich jak:

- Niższa gęstość – obniża się masę własną budowli, co przekłada się na wytrzymałość całej konstrukcji. Dlatego pręty chętnie stosowane w budownictwie mostów, gdzie redukcja masy jest priorytetowa. Dodatkowo mniejsza masa zmniejsza koszty logistyczne związane z transportem, magazynowaniem oraz wyładunkiem.
- Minimalne przewodnictwo cieplne – przewodność cieplna jest stukrotnie mniejsza niż w przypadku stali, nie tworzą się w ten sposób tak zwane mostki termiczne przez które ucieka ciepło z budynków. Dlatego tego typu zbrojenie idealnie nadaje się do budowy domów pasywnych.
- Rozszerzalność cieplna porównywalna z betonem – dzięki tej właściwości nie powstają naprężenia, które mogą wywołać pęknięcie i degradację betonu. Zwiększa to również wytrzymałość budowli podczas pożaru.
- Niekorozyjność – w porównaniu do stali nie następuje korozja w agresywnych środowiskach. Zmniejsza to koszty związane z utrzymaniem obiektu.
- Dłuższy okres eksploatacji – pręty bazaltowe wytrzymują przynajmniej 100 lat, gdy tymczasem stalowe zbrojenie można użytkować według norm tylko przez 50 lat.
- Brak degradacji pod wpływem przepływu prądu elektrycznego.
- Brak negatywnego oddziaływania na środowisko.
- Nieograniczona długość otrzymywanych prętów [1–4].

Z Tabeli 1 porównującej właściwości mechaniczne stali i prętów bazaltowych uwidaczniają się głównie różnice w wytrzymałości na rozciąganie, a szczególnie w wytrzymałości właściwej na rozciąganie. Patrząc na zestawienie możemy także wywnioskować, że przy takiej samej masie transportowanego materiału możemy przetransportować objętościowo cztery razy więcej prętów bazaltowych, które jednocześnie posiadają wytrzymałość dziesięć razy większą od stali. Zyski z tego płynące można zauważyć zatem na pierwszy rzut oka.

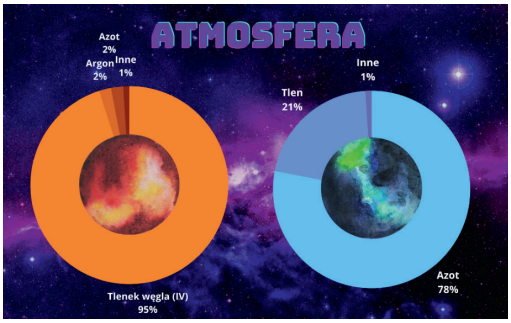
Projekt autonomicznej linii do wytwarzania bazaltowych prętów zbrojących realizowany przez studentów AGH, wspierany przez partnerów z Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych

Fabryki na Marsie – futurystyczna wizja, która przewija się w literaturze *science-fiction* od jej początków. Na Wydziale Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie grupa studentów i naukowców zafascynowanych kolonizacją kosmosu zrzeszonych wokół Koła Naukowego Nucleus podjęła pracę nad wcieleniem tej wizji w życie.

Partnerzy Polskiego Klastra Technologii Kompozytowych dysponują odpowiednią wiedzą i technologią, które połączone ze sobą, umożliwiają pracę nad projektem i wspomagają KN Nucleus AGH w stworzeniu autonomicznej linii marsjańskiej do produkcji prętów bazaltowych. Firma New Composite Solutions Sp. z o. o. w Skarżysku Kamiennej jako jedna z nielicznych w Polsce specjalizuje się w projektowaniu i wytwarzaniu kompozytów na bazie włókien bazaltowych. NCS wspiera projekt studentów z AGH poprzez udostępnienie, *know-how*, elementów linii oraz konsultując projekt na każdym etapie w zakresie technologiczno-materiałowym.

Budowa sieci fabryk na Marsie wymaga użycia materiałów konstrukcyjnych, niezbędnych do postawienia pierwszych konstrukcji. Materiały te można oczywiście zabrać z Ziemi, jednak każdy dodatkowy transport to generacja nowych gigantycznych kosztów. Dlatego naszym rozwiązaniem jest produkcja odpowiednich materiałów konstrukcyjnych, powstałych z surowców możliwych do wydobycia na Marsie. Jednym z nich są powszechnie występujące na Marsie skały bazaltowe, z których możliwe jest uzyskanie rdzenia naszego materiału – włókna bazaltowego. Produkcja takich materiałów jest niskoenergetyczna, a elementy grzewcze projektowanej linii technologicznej nie będą musiały generować wysokich temperatur. Również ważnym aspektem projektu jest praca ciągła, umożliwiająca nieprzerwaną produkcję elementów konstrukcyjnych.

Projekt opracowywanej linii technologicznej uwzględnia również niekorzystne warunki panujące na obcej planecie. Różnice w składzie atmosfer Ziemi i Marsa przedstawiono na rysunku nr 1. Jednym z kluczowych czynników jest niska temperatura, w której odbywać się będzie produkcja. Niska temperatura planety przekłada się na deficyt energii, co z kolei może wpływać na trudności podczas procesów przetwórstwa i obróbki



Rys. 1. Różnice w składzie atmosfery Marsa i Ziemi.

cieplnej materiałów (do wytwarzania i przetwarzania materiałów niezbędna jest energia). Istotną częścią pogody na Marsie jest występowanie burz piaskowych, których występowanie może znacząco wpłynąć na wytrzymałość konstrukcji i stopień zanieczyszczenia surowców. Aby uniknąć wszelkich defektów w otrzymanych strukturach nasz zespół uwzględnił w projekcie odpowiednią izolację, która podczas sezonu burz piaskowych zamknie dostęp pyłu do wnętrza instalacji.

Wstępne wyniki prac pilotażowych i projektowych wytworzonych prętów oraz profili bazaltowych

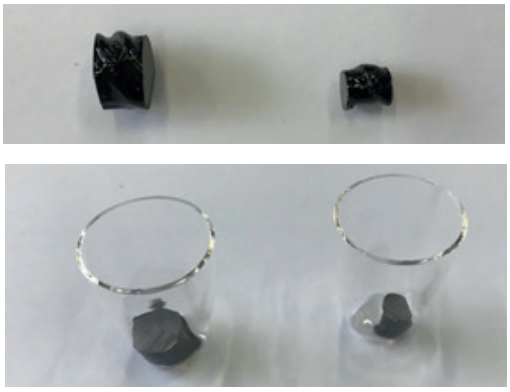
W toku prowadzonych badań i prac wykonano bazaltowe pręty metodą pultruzji z uwzględnieniem wytycznych wynikających z obliczeń i badań nad bilansem energetycznym sieciowania żywic epoksydowych. Temperatura procesu sieciowania w piecu została dobrana na podstawie szczegółowej analizy badań wykonanych w metodami kalorymetrii różnicowej (DSC), a następnie zweryfikowana eksperymentalnie w piecach laboratoryjnych. Proces doboru żywic i optymalizacji energii do prętów oraz wyniki z tych badań objęte są klauzulą poufności w firmie New Composite Solutions, stąd nie mogą one zostać opublikowane w tym artykule.

Wykonano pręty o średnicy 6 mm oraz 12 mm (Rys. 2) w warunkach ustalonych na etapie określania strumieni ciepła utwardzających żywicę oraz czasów do tego utwardzenia potrzebnych. Utwardzanie prętów było trzystrefowe tak, aby podczas tego procesu nie powstawały defekty strukturalne w matrycy.



Rys. 2. Pręty bazaltowe wykonane przez SKN Nucleus AGH.

Metodą kalcynowania ustalono wagową zawartość bazaltu w wytworzonych prętach. Próbki prętów bazaltowych przed badaniem przedstawia rysunek nr 3. Zawartość włókna bazaltowego w wytworzonym pręcie jest kluczowa w kontekście finalnych właściwości mechanicznych gotowych konstrukcji. Poza stosunkiem wagowym włókna modyfikującego do matrycy ważna jest również skuteczność jego przesycenia osnową. Każde włókno musi być zwilżone na całej swojej powierzchni, obecność „suchych" miejsc generować będzie koncentrację naprężeń krytycznych, a co za tym idzie znaczny spadek właściwości mechanicznych.

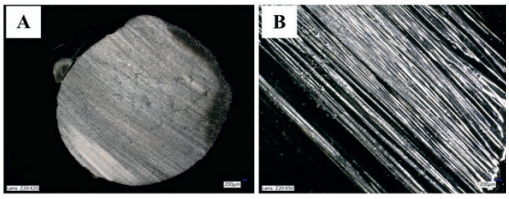


Rys. 3. Próbki prętów bazaltowych przygotowane do badań.

Otrzymane wyniki przesycenia pokazują, że wytworzone pręty mają optymalną zawartość włókien bazaltowych w zakresie od 70 do 80% wag (Tabela 2). Dalsze zwiększanie ilości włókna może powodować niedosycenie objętości między powierzchniami włókien co dodatkowo sprawi, że otrzymywane pręty pomimo wysokiej zawartości włókien będą niepowtarzalne lub znacznie odchylone od średniej.

Przeprowadzono wstępne badania rozciągania wytworzonych prętów, których wyniki przedstawiono w Tabeli 3. Z badań na rozciąganie jasno wynika, że mierzone właściwości są powyżej 1000 MPa. Pręty podczas badania ścinają się w szczękach, co oznacza, że odpowiedni rozkład naprężeń ściskających, które szczeki generują pozwoli na uzyskanie jeszcze wyższych wytrzymałości wytworzonych prętów.

Ostatnim badaniem była analiza na cyfrowym mikroskopie optycznym. Na rysunku nr 4 przedstawiono zdjęcia z mikroskopu stereoskopowego. Na ich podstawie można stwierdzić, że pręty są



Rys. 4. Pręty bazaltowe o średnicy 6 mm.
A) przekrój, B) powierzchnia

jednorodne, pozbawione wad i powtarzalne, a żywica jest jednorodnie usieciowana. Nie zauważono żadnych fragmentów degradacji, obecności powietrza czy zanieczyszczeń.

Podsumowanie, rozwój prętów bazaltowych oraz plany na przyszłość

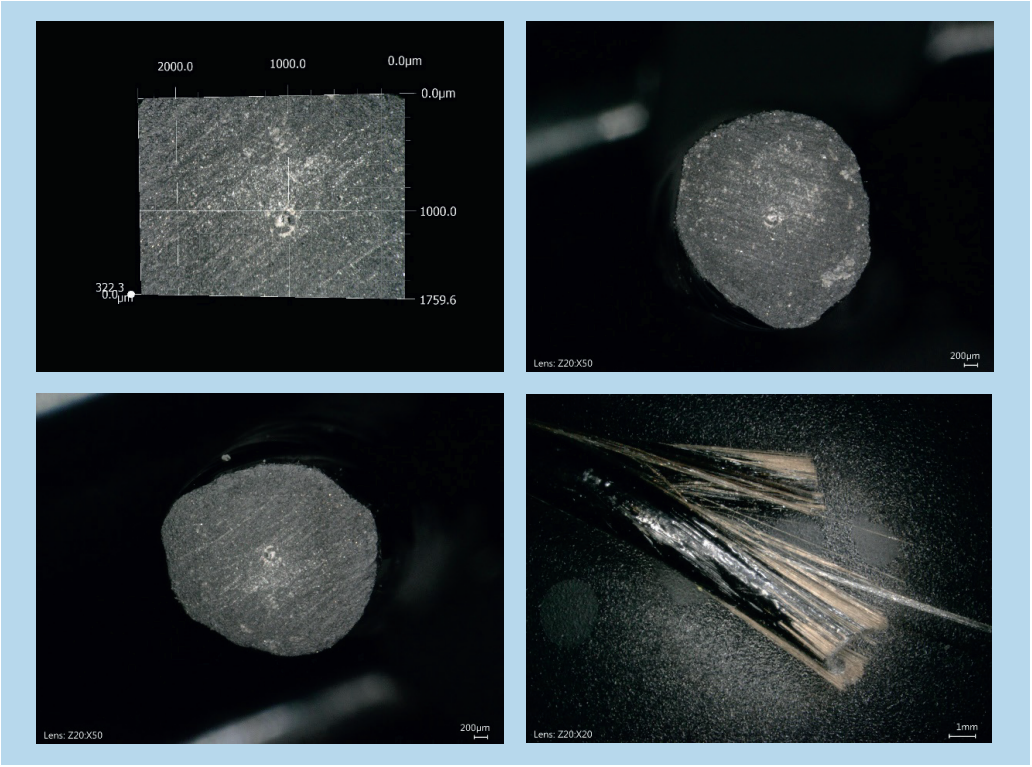
Kolonizacja kosmosu nie może odbyć się bez udziału kompozytowych materiałów konstrukcyjnych takich jak pręty czy profile bazaltowe. Wiąże się to z koniecznością projektowania i modyfikowania właściwości, takich jakich akurat potrzebujemy, co niemożliwe jest w przypadku konwencjonalnych materiałów konstrukcyjnych np. stali. Jedną z ciekawych modyfikacji opraco-

Tabela 2. Wyniki badania udziału masowego włókien w prętach bazaltowych.

Średnica pręta [mm]	Masa pęta [g]	Masa włókien [g]	Udział masowy włókien [%]
6	0,490	0,367	79,783
12	1,838	1,326	72,144

Tabela 3. Zestawienie wyników zginania prętów (dla rozstawu podpór 105 mm).

Średnica pręta [mm]	Wytrzymałość [MPa]	Odkształcenie [%]	Moduł sprężystości [GPa]
6	1690	2,1	58,6
12	1150	2,7	52,9



Rys. 5. Przekroje prętów z obecnym światłowodem sondującym.

wanych przez firmę New Composite Solution Sp. z o.o. jest opracowanie technologii wytwarzania prętów, w których pomiędzy włókna bazaltowe wplatane będą światłowody. Przekroje takich prętów zostały przedstawione na rysunku nr 5.

Wplecione światłowody służyć będą do monitoringu i rejestracji obecnych naprężeń w czasie rzeczywistym. Przy braku dostępu do konstrukcji oraz utrudnionym dostępie ekip remontowych takie rozwiązanie jest bardzo przydatne. Daje możliwość śledzenia pracy całych konstrukcji i umożliwia wczesne reagowanie na mogące pojawić się uszkodzenia.

Zespół KN Nucleus z AGH w Krakowie planuje złożyć i zoptymalizować linię do wytwarzania prętów kompozytowych w warunkach marsjańskich. Prace nad projektem trwają intensywnie, a cel jaki został założonych wkrótce zostanie osiągnięty. Zapraszamy przemysł do partnerskiej współpracy w celu wprowadzenie naszego rozwiązania na rynek.

Literatura

[1] V. Fiore, et al. "A review on basalt fibre and its composites." Composites Part B: Engineering 74 (2015): 74–94.
[2] C. Brainard Abraham, V. Boobesh Nathan, S. Rajesh Jaipaul, D. Nijesh, M. Manoj, and S. Navaneeth, "Basalt fibre reinforced aluminium matrix composites – A review," Mater. Today Proc., 2019.
[3] A. Ross, "Basalt fibers: alternative to glass?." Composites Technology 12.4 (2006).
[4] H. Jamshaid, "Basalt Fiber and its Applications," J. Text. Eng. Fash. Technol., vol. 1, no. 6, pp. 18–20, 2017.

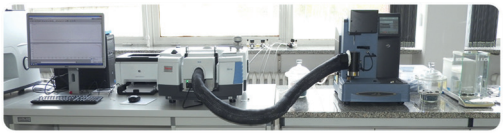
ISSN: 2720-6009

ANNA BRZOZOWSKA-STANUCH
businessdevelopment@bosmal.com.pl

Kompleksowe badania materiałów kompozytowych w przemyśle motoryzacyjnym

Tworzywa sztuczne i kompozyty, w tym kauczuki, polimery i powłoki, są coraz częściej stosowane we wszystkich gałęziach przemysłu. Zalet tych materiałów jest wiele, jednak ważne jest, aby wybrać najlepszy materiał, który spełnia wymagania dla danego produktu lub komponentu. Sektor motoryzacyjny jest jedną z wiodących branż napędzających szybki rozwój technologii kompozytowych. Dostawcy części samochodowych są często bezpośrednio zaangażowani w projektowanie i rozwój nowych produktów, w których zastąpienie tradycyjnych stopów metali polimerami i kompozytami o wysokiej wydajności stało się standardową praktyką ze względu na ich mniejszą masę przy lepszej wytrzymałości mechanicznej i odporności chemicznej oraz odporności na warunki środowiskowe. Dla przykładu, polimerowe materiały kompozytowe wzmocnione włóknem węglowym są o 50 proc. lżejsze od konwencjonalnej stali i o 30 proc. lżejsze od aluminium, zachowują przy tym zbliżone właściwości wytrzymałościowe, co czyni je atrakcyjną alternatywą dla dostawców i producentów.

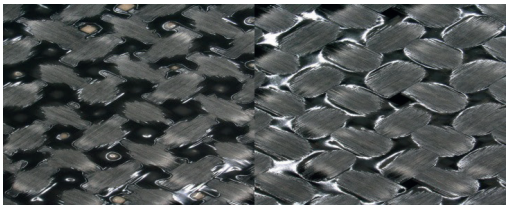
Tworzywa sztuczne i kompozyty polimerowe będąc jednocześnie niezwykle trwałymi i mocnymi, dodają wartości estetycznej, zmniejszają wagę pojazdów obniżając tym samym zużycie paliwa a dzięki zdolności do pochłaniania energii spełniają bardzo rygorystyczne normy bezpieczeństwa. Biorąc pod uwagę proponowane przepisy dotyczące limitów emisji spalin z samochodów oraz liczne zalety kompozytów polimerowych, przewiduje się stały wzrost liczby ich zastosowań w przemyśle motoryzacyjnym w ciągu najbliższych kilku lat. Tworzywa sztuczne, takie jak PA, PP, ABS i PC, są stosowane w wielu komponentach samochodowych: od deski rozdzielczej, przez panele drzwiowe i oświetlenie, aż do elementów silnika. Polimery wysokowydajne, takie jak PVC, PEEK, PPS i PEI, są drogie i mają wyższe koszty przetwarzania. W związku z tym, aby utrzymać niskie koszty produkcji, konieczne jest unikanie błędów projektowych i przetwórczych. Z tego względu konieczna jest dokładna ocena i zbadanie wszystkich wymaganych właściwości materiału, aby wybrać ten, który jest najbardziej odpowiedni do zamierzonych zastosowań motoryzacyjnych i nie tylko.



Rys. 1. Zestaw do analizy gazów wydzielanych TGA-FTIR.

W BOSMAL prowadzone są od ponad pięćdziesięciu lat wszechstronne badania nad strukturą, budową i funkcjonalnością tychże materiałów. Nasi specjaliści zajmują się wszystkimi materiałami z grupy tworzyw sztucznych i kompozytów, dokonując kompleksowych badań zarówno jakości materiałów jak i funkcjonalności produktów w czasie codziennego użytkowania. Poprzez stały kontakt z Klientem elastycznie dostosowujemy się do jego sugestii i potrzeb. Badamy odporność na warunki atmosferyczne (komory klimatyczne, UV i Weather-o-Meter). Dysponujemy wiedzą na temat wpływu

takich czynników jak światło, wilgoć i chemikalia na trwałość i żywotność produktu. Możemy zbadać parametry mechaniczne jak również wytrzymałość połączeń i klejów, np. spoin i linii klejenia, oraz określić, czy kompozyty spełnią wymagania klienta. Określamy przyczepność farby lub powłoki ochronnej. Laboratoria BOSMAL nieustannie się udoskonalają a zaangażowanie w badania i rozwój oznacza, że pracownicy posiadają aktualną wiedzę i praktyczne *know-how*, które przynoszą korzyści klientom – nasze kompetencje potwierdziło m.in. Polskie Centrum Akredytacji PCA, nadając certyfikat akredytacji AB 128. Nasza wiedza obejmuje



Rys. 2. Badania mikroskopowe prepregu z włóknami węlowymi przed i po utwardzeniu.

analizę chemiczną zarówno materiału bazowego, wypełniaczy i innych dodatków poprzez analizę spektrofotometryczną w podczerwieni (FTIR), klasyczną metodę spopielenia, analizę rentgenowską XRF oraz analizę termiczną – metodami różnicowej kalorymetrii skaningowej DSC w celu określenia temperatury topnienia, zeszklenia, krystalizacji jak i entalpii tychże przemian oraz składu ilościowego i (jakościowego produktów lotnych) metodą analizy termograwimetrycznej i analizy łączonej gazów wydzielanych TGA-FTIR. Badania powierzchni materiałów poprzez techniki mikroskopowe, umożliwiają nam ocenę morfologii, składu, właściwości fizycznych i dynamicznego zachowania materiałów, przekształcenia morfologiczne i strukturalne wynikające z degradacji materiału. W celu modelowania procesów propagacji pęknięć, szczególnie tych związanych z progresywnym wzrostem uszkodzenia, ważne jest zrozumienie fizycznych mechanizmów pękania kompozytów, co jest osiągane poprzez fraktografię, gdzie badanie powierzchni pęknięć dostarcza nam cennych informacji na temat uszkodzenia i zniszczenia komponentów.

ISSN: 2720-6009

DOMINIK BUGAJSKI
Koordynator ds. wdrożeń Przemysłu 4.0
Konsultant ADMA

Czy polscy przedsiębiorcy są zainteresowani i gotowi na przemysł 4.0?

Odpowiedzi na powyższe pytanie zdają się być już wypracowane, stąd czy zasadne jest aby zadawać je po raz kolejny teraz, na początku 2022 roku? Otóż tak, ponieważ ostatnie dwa lata to okres bardzo zmiennego i nieprzewidywalnego okresu w gospodarce. W świetle tej wiedzy, warto zająć się nie tylko analizą odpowiedzi, ale i próbą wskazania dalszych kroków w działaniach prorozwojowych przemysłu 4.0 (dalej: P.4.0.) w Polsce.

Dogłębna analiza wyników badań [1] przeprowadzonych na zlecenie Departamentu Nadzoru Właścicielskiego i Gospodarki Województwa Małopolskiego opublikowanego w opracowaniu pt. ,,Badanie potrzeb i gotowości małopolskich MMŚP do adaptacji rozwiązań właściwych modelowi tzw. Przemysłu 4.0" nasuwa kilka podstawowych wniosków. W opracowaniu tym podjęto próbę obiektywnej oceny najważniejszych aspektów, które są kluczowe dla przedsiębiorców zainteresowanych implementacją rozwiązań P.4.0. w swoich firmach. Schemat, jaki przyjęto przy omówieniu wspomnianego raportu jest analogiczny do kolejności zagadnień w nim analizowanych. Badania przeprowadzone były na terenie Małopolski na próbie 1016 mikro, małych i średnich przedsiębiorstw pod kątem wiedzy, poziomu zainteresowania oraz implementacji rozwiązań z zakresu P.4.0.

Z czym kojarzony jest P.4.0.?

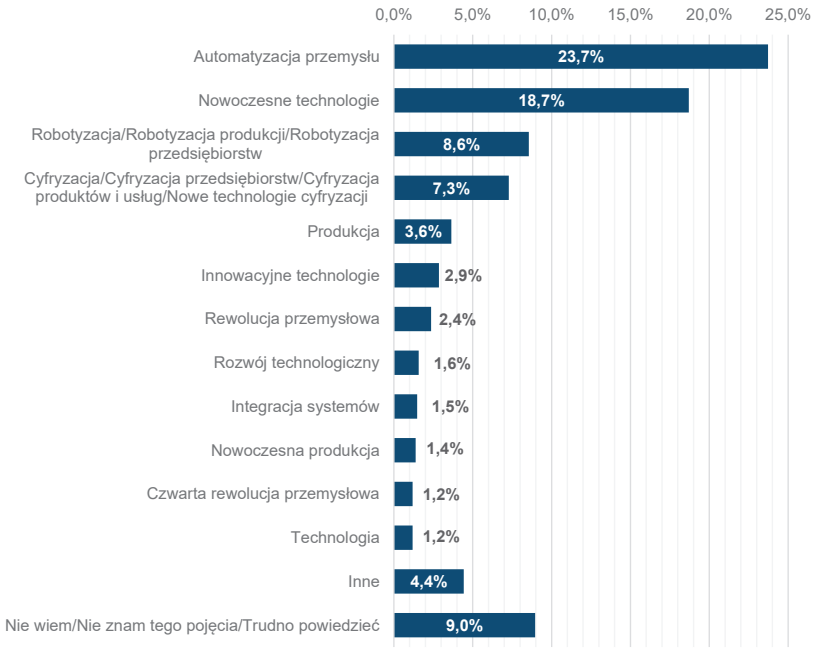
Pierwszymi zagadnieniami badania była analiza rozumienia idei P.4.0. oraz wiedzy na jej temat. Pojawia się od razu kłopot z postrzeganiem terminologii związanej z przemysłem 4.0. Należy mieć świadomość, że czwarta rewolucja przemysłowa to rewolucja cyfrowa. Oczywiście nie można tego osiągnąć bez przejścia przez wcześniejsze poziomy 2.0 i 3.0, ale w P4.0 celem jest integracja cyfrowa wszystkich dotychczasowych procesów i włączenie do nich analizy cyklu życia produktu oraz tworzenie nowych modeli biznesowych. Nie należy wykazywać w komponentach P.4.0 celów takich jak automatyzacja (przemysł 3.0) oraz mechanizacja (przemysł 2.0). W kontekście drogi do P.4.0., nasze przedsiębiorstwa muszą najpierw przejść przez kolejne etapy rewolucji przemysłowej.. Zrozumienie samej idei wdrażania rozwiązań P.4.0, oceny poziomu dojrzałości i procesu implementacji wybranych rozwiązań, są kluczową wiedzą, determinującą dalsze decyzje przedsiębiorców. Brak możliwości szybkiego jej pozyskania lub korzystanie ze źródeł, które same nie dają pełnego obrazu czym P.4.0 jest, niejednokrotnie zniechęca władze firm do podejmowania działań w tym kierunku.

Jakie jest zapotrzebowanie na wiedzę z zakresu P.4.0.?

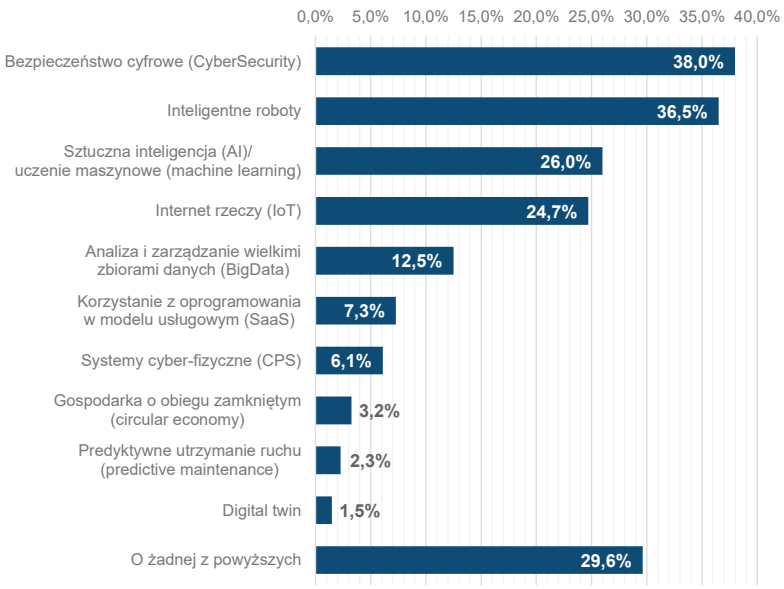
Zapotrzebowania z zakresu wiedzy i pożądanych informacji na temat P.4.0 jest znikome, gdyż wynosi zaledwie 2,6% badanych przedsiębiorstw. Wynik ten należy rozpatrywać w dwojaki sposób.

Po pierwsze, większość instytucji zajmujących się promowaniem wdrażania P.4.0 robi to w sposób bierny. Podejmują działania takie jak publikacje i promocja informacji za pomocą stron internetowych, portali i konferencji, bez równoczesnego

DOMINIK BUGAJSKI



Rys. 1. Pojęcia kojarzące się z Przemysłem 4.0, źródło: „Badanie potrzeb i gotowości małopolskich MMŚP do adaptacji rozwiązań właściwych modelowi tzw. Przemysłu 4.0".



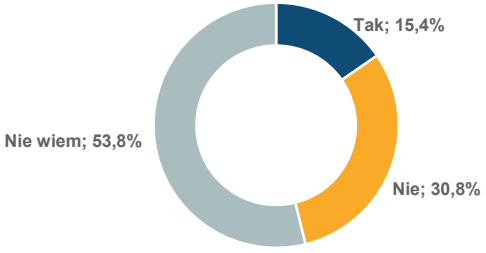
Rys. 2. Znajomość poszczególnych koncepcji/rozwiązań związanych z modelem P4.0, źródło: „Badanie potrzeb i gotowości małopolskich MMŚP do adaptacji rozwiązań właściwych modelowi tzw. Przemysłu 4.0".

wejścia do przedsiębiorców ze spersonalizowaną ofertą wsparcia.

Po drugie, kluczowa jest jakość informacji, która jest dostarczana do przedsiębiorców. Rzetelna wiedza na temat innowacji wdrażanej do przedsiębiorstwa, to fundament powodzenia inwestycji, niezależnie od tego czy to będzie system szkoleniowy dla pracowników, czy implementacja nowoczesnej technologii wartej miliony złotych. Pojęcie rzetelnej wiedzy dla przedsiębiorcy należy tutaj rozumieć jako informację o konkretnych korzyściach płynących z implementacji danego rozwiązania, ryzykach z nim związanych oraz wymaganiach, nie tylko finansowych, którym musi sprostać przedsiębiorstwo. Informacje te powinny dawać pełen obraz działań zarówno na etapie wdrożenia jak i pełnego później jego wykorzystania. Informacje nie mogą być zbyt pobieżne, gdyż należy założyć, że osoby szukające rozwiązań z danej dziedziny mają już wiedzę podstawową w temacie.

W kolejnej części badania, przedsiębiorcy wskazują konkretne potrzeby w zakresie dostarczania wiedzy o P.4.0. Można je podzielić na:

- potrzebę określenia kosztów wdrożenia, jej opłacalności oraz rentowności dla przedsiębiorstwa,
- potrzebę określenia drogi wdrożenia, czyli zbioru procedur oraz sposobu weryfikacji skuteczności podjętych działań,
- potrzebę informacji na temat rozwiązań cyfrowych, celu ich wdrażania oraz wizji działania przedsiębiorstwa po takiej implementacji.



Rys. 3. Gotowość przedsiębiorców do odpłatnego korzystania z informacji w zakresie automatyzacji i cyfryzacji, źródło: „Badanie potrzeb i gotowości małopolskich MMŚP do adaptacji rozwiązań właściwych modelowi tzw. Przemysłu 4.0" [1].

Jako najważniejszy czynnik, który opóźnia wprowadzanie zmian w przedsiębiorstwach w kierunku P.4.0, wskazywane są kwestie finansowe. Zagadnienie to jest dość złożone. Oprócz wydatków na nową technologię, na które są potrzebne środki finansowe, kosztem dodatkowym będzie oddelegowanie pracowników już pracujących w zakładzie lub zatrudnienie nowych osób, które będą odpowiedzialne za proces wdrożenia nowego rozwiązania. Kolejne środki należy przeznaczyć na dostosowanie infrastruktury do wymagań nowych technologii oraz na utrzymanie implementowanego rozwiązania. Nie dziwi więc sceptyczne podejście przedsiębiorców do odpłatnego nabywania wiedzy z zakresu rozwiązań P.4.0, które stanowi kolejny koszt związany z całym procesem implementacji.

Niestety zauważyć należy, że sytuację opisaną powyżej wykorzystują podmioty zajmujące się dostarczaniem rozwiązań, które zaliczane są do grupy P.4.0. Zjawisko to polega na uporczywym przekonywaniu klientowi, że wdrożenie danego rozwiązania poprawi procesy w przedsiębiorstwie oraz zbliży go do P.4.0. Cechą takiej promocji rozwiązań jest brak należytej i obiektywnej analizy całości działania przedsiębiorstwa oraz powiązania z innymi planowanymi lub potrzebnymi wdrożeniami. Wśród ekspertów P.4.0 wręcz kultowym przykładem powyższego zachowania jest zakup robota przemysłowego, który stoi pośrodku hali zastępującego proste czynności wcześniej wykonywane przez ludzi. Pomijając kwestie, że robotyzacja, czyli implementacja robotów przemysłowych zalicza się do przemysłu 3.0, to sam fakt zastąpienia jakiegoś fragmentu procesu robotem, nie gwarantuje opłacalności wdrożenia, zwłaszcza kiedy pozostała część procesu nie podlega transformacji.

Na jakim poziomie jest planowanie wdrożeń rozwiązań P.4.0 w przedsiębiorstwach?

Ważnym aspektem poruszonym w raporcie, była kwestia posiadania przez przedsiębiorstwa mapy drogowej i planu transformacji jako narzędzi do skutecznej implementacji komponentów P.4.0. Autorzy analizy, odnosząc się do wyniku powyższych odpowiedzi pozytywnych na poziomie 8,3%, wyrażają wysokie zaniepokojenie tak niskim wynikiem, z czym należy się zgodzić. Z drugiej jednak strony, wynik ten wygląda znacznie bardziej optymistycznie jeśli doda się, że 6,3% respondentów, co prawda nie posiada mapy drogowej lub planu transformacji, ale za to ma działy lub osoby odpowiedzialne za planowanie transformacji w przedsiębiorstwie. Wynika z tego, że prawie

15% badanych przedsiębiorstw podjęła już działania w kierunku spójnych dążeń do wdrażania nowych technologii. Co więcej, potwierdza to, że część firm rozumie ideę P.4.0, jaką jest integralność wewnętrzna organizacji. Potwierdzeniem takich działań są wyniki odpowiedzi na pytania, o dotychczasowe szkolenia pracowników w zakresie P.4.0 oraz planowanie transformacji przedsiębiorstw, które osiągnęły poziom 18%. Niestety, równocześnie wynik 70%, który określa ilość zakładów produkcyjnych, które nie planują w następnych dwóch latach podejmować decyzji o tworzeniu strategii dotyczącej rozwoju cyfrowego, , może wynikać z silnie niekorzystnego środowiska ekonomicznego. Wnioskiem nasuwającym się po analizie powyższych wyników , jest fakt, że jakiekolwiek poszerzanie wiedzy przedsiębiorców odnośnie implementacji komponentów P.4.0, musi obejmować zarówno główne jego założenia jak i obraz drogi oraz narzędzi, jakimi powinny się posługiwać firmy w trakcie tych działań. To właśnie badanie dojrzałości cyfrowej organizacji oraz jego wynik – mapa drogowa oraz plan transformacji i implementacji są podstawowymi narzędziami weryfikującymi zasadność oraz stopień wdrożeń danych rozwiązań z zakresu P.4.0.

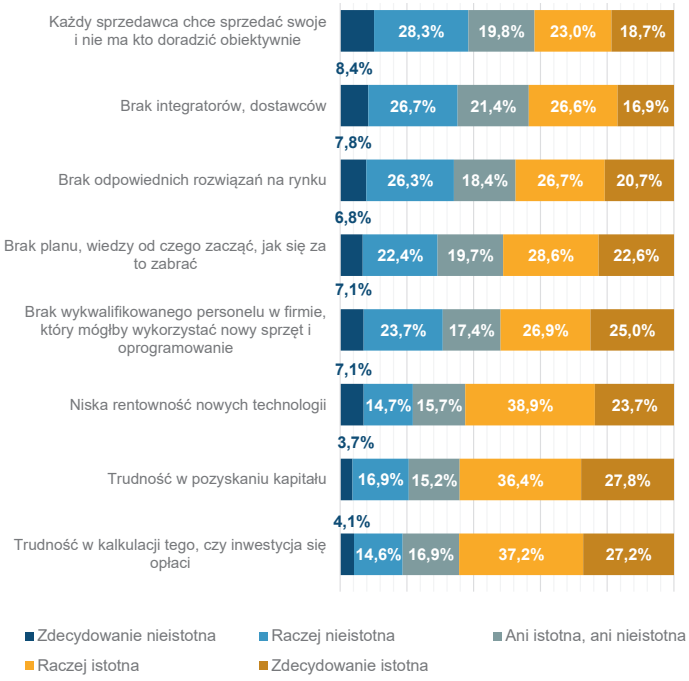
Wśród ankietowanych przedsiębiorstw, zainteresowanie doradztwem w zakresie zmian w technologiach produkcyjnych oraz implementacji nowych rozwiązań cyfrowych, jak również wiedza na temat instytucji oferujących takie wsparcie jest bardzo niskie – nie przekracza 10%. Należy tu jednak zauważyć, że pytania dotyczyły okresu ostatnich 2 lat, który jak już wcześniej wspomnieliśmy, przypada na bardzo trudny okres pandemii. Niepewność oraz niestabilność otoczenia ekonomicznego, nie są sprzyjającymi warunkami do podejmowania strategicznych decyzji inwestycyjnych. Oczywiście część przedsiębiorców, która wykorzystała pojawiające się nisze na rynku, na pewno jest zainteresowana wdrażaniem nowych technologii. Rozwojowi P.4.0. sprzyja również niekorzystna sytuacja na rynku pracy, gdzie brakuje wykwalifikowanego personelu co zmusza przedsiębiorców do zastępowania ich nowoczesnymi rozwiązaniami. Potwierdzeniem tych obserwacji może być deklaracja 21,5% przedsiębiorców o planach wdrożenia nowego produktu, natomiast ponad 27% z nich planuje wdrożenie nowej technologii lub procesu produkcyjnego.

Co stoi na drodze implementacji nowoczesnych rozwiązań w przedsiębiorstwach?

Kolejnymi częściami analizy były badania dotyczące wyzwań i przeszkód we wdrażaniu P.4.0 oraz jego ocena jako szansy w dalszym rozwoju przedsiębiorstw. Wysokie koszty inwestycji we



Rys. 4. Deklaracja przedsiębiorców na temat planowanych wdrożeń w kierunku Przemysłu 4.0 w kolejnych 2 latach, źródło: „Badanie potrzeb i gotowości małopolskich MMŚP do adaptacji rozwiązań właściwych modelowi tzw. Przemysłu 4.0".



Rys. 5. Wskazane bariery i ich waga w planowaniu transformacji cyfrowej i automatyzacji firm, źródło: „Badanie potrzeb i gotowości małopolskich MMŚP do adaptacji rozwiązań właściwych modelowi tzw. Przemysłu 4.0".

wdrożenie rozwiązań i technologii związanych z P.4.0 oraz brak wiedzy to niejedyne przeszkody wykazane w raporcie. Przedsiębiorcy wskazali również na problemy z obiektywnym wsparciem eksperckim oraz dostępnością integratorów wszystkich potrzebnych cyfrowych rozwiązań w przedsiębiorstwach.

Większość barier wskazywanych przez przedsiębiorców, wynika z braku wiedzy na temat dostępnych rozwiązań. Należą do nich badanie dojrzałości cyfrowej, nieodpłatne warsztaty dla przedsiębiorców organizowane przez instytucje komercyjne oferujące wsparcie w opracowywaniu planów transformacji przedsiębiorstw.

Część obaw przedsiębiorców skupiała się również na bezpieczeństwie własnych przedsiębiorstw, zwłaszcza pod kątem ochrony i analizy zbieranych danych. Ataki hackerskie czy wycieki udostępnianych danych są coraz częstszym zjawiskiem związanym ze szpiegostwem przemysłowym oraz handlem danymi osobowymi. Trzeba tutaj zaznaczyć, że niezależnie od tego czy przedsiębiorcy będą chcieli implementować rozwiązania P.4.0, to inwestycje w zabezpieczenia wewnętrznych sieci i baz danych i tak ich nie ominą, ze względu na coraz surowsze wymogi prawne w tej dziedzinie. Dlatego firmy, które planują implementacje P.4.0, powinny przewidzieć kompatybilność wdrażanych systemów bezpieczeństwa z planowanymi innymi komponentami cyfrowych technologii.

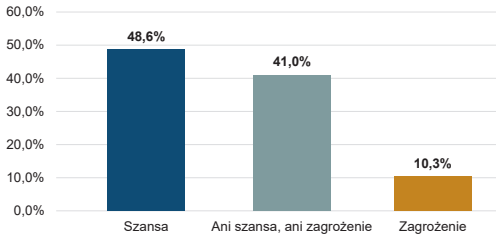
Kolejnym zagrożeniem jest brak kompetencji pracowników z zakresu informatyki i wewnętrznej kultury cyfrowej. Wysoce niepokojące są powszechne braki przeprowadzanych szkoleń oraz ich brak w planowanych przyszłych działaniach. Mimo to, że przedsiębiorcy dobrze rozumieją te potrzeby, to jednak bariery takie jak finanse, niechęć pracowników na zmiany i przyzwyczajenia do działania od lat w ten sam sposób, są bardzo trudne w przełamaniu, zarówno do szeregowych pracowników, jak i kadry kierowniczej rożnych szczebli.

Przemysł 4.0 – szansa czy zagrożenie dla przedsiębiorstw?

Podsumowując, nie trudno się oprzeć wrażeniu, że zarówno przedsiębiorcy jak i instytucje promujące oraz organizacje czynnie wspierające mają duże wyzwanie przed sobą. Za nami prawie cztery lata,

od kiedy P.4.0 w Polsce zaczął być intensywnie promowany. Niestety, okres ten nie był łatwy dla firm, ponieważ prawie połowa tego czasu to okres pandemiczny, który ograniczał zarówno działania już rozpoczęte jak i planowanie dalszych zmian. Paradoksalnie, jedną z idei twórców pojęcia P.4.0 była zwiększenie odporności przedsiębiorstw na negatywne czynniki mikro- i makroekonomiczne takie jak zmienność otoczenia, brak przewidywalności oraz niepewność. Być może z tego powodu, w przywołanych okresie, został ogłoszony przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości konkurs ,,Pilotaż przemysłu 4.0", w którym firmy mogły się starać o dofinansowania na drodze do realizacji wdrożeń zmierzających do P.4.0. W okresie pandemicznym nagle zaczęło być głośno o P.4.0., a sam konkurs zaskoczył Agencję skalą zainteresowania. Zapotrzebowanie na badania dojrzałości cyfrowej i mapy drogowe, było tak duże, że niejednokrotnie były one przygotowywanie szybko, w nieprzemyślany sposób. Wyniki konkursu zweryfikowały jakość składanych wniosków. Firmy, które otrzymały wsparcie, miały już znacznie wcześniej starannie przygotowane mapy drogowe, a co za tym idzie, ich działania od dłuższego czasu ukierunkowane są na P.4.0. Jednocześnie, prowadząc działania w kierunku rozwoju przedsiębiorstw, możemy stwierdzić, że większość firm zainteresowana jest implementacją rozwiązań P.4.0 tylko i wyłącznie w kontekście przyszłych środków unijnych, jako potencjalnych źródeł finansowania wdrażania nowych technologii.

Proces transformacji przedsiębiorstw do P.4.0 może się okazać długotrwały i w efekcie mocno nieefektywny, jeżeli będzie pozbawiony czynników wspierających takich jak programy dofinansowań wyłącznie w tym obszarze. Jednocześnie planowane na najbliższe lata programy wsparcia, wymagają również zmiany podejścia od samych przedsiębiorców. Trzeba mieć świadomość, że pilotażowy program P.4.0 raczej się już nie powtórzy, a na następne formy wsparcia, przedsiębiorcy muszą mieć już gotowe strategie oraz wiedzę, na jakim poziomie technologicznym są. Wymaga to zarówno wsparcia instytucji promujących P.4.0 jak i zmiany podejścia firm odnośnie integracji łańcucha wartości, edukacji pracowników w kierunku podniesienia kompetencji technicznych oraz odejścia od dotychczasowych form myślenia. Warto zastanowić się nad słowami jednego z największych innowatorów wszystkich rewolucji przemysłowych – Henry'ego Forda zamieszczonymi w jego biografii pt. „Moje życie i dzieło": *Jeżeli myślisz, że coś możesz lub czegoś nie możesz, za każdym razem masz rację*.



Rys. 6. Ocena zmian przedsiębiorstw w kierunku cyfryzacji i automatyzacji, źródło: „Badanie potrzeb i gotowości małopolskich MMŚP do adaptacji rozwiązań właściwych modelowi tzw. Przemysłu 4.0" [1].

Literatura:

[1] „Badanie potrzeb i gotowości małopolskich MMŚP do adaptacji rozwiązań właściwych modelowi tzw. Przemysłu 4.0" przygotowane przez Grupę BST sp. z o.o, pod redakcją naukową: dr hab. inż. Jarosław Brodny, dr hab. Małgorzata Dobrowolska, Zdzisław Wolny, Wojciech Szymala, Aneta Stefaniak dla Województwa Małopolskiego: Departamentu Nadzoru Właścicielskiego i Gospodarki Zespół ds. Zarządzania Inteligentnymi Specjalizacjami. Źródło: https://innowacyjna.malopolska.pl/wez-udzial-w-webinarze-i-dowiedz-sie-czy-malopolskie-firmy-sa-gotowe-na-rewolucje-przemyslowa/

cebrio

Kontakt dla przedsiębiorców poszukujących aktywnego wsparcia z dziedziny przemysłu 4.0 (szkoleń, badań dojrzałości, planów transformacji i implementacji, mentoringu oraz opinii niezależnych ekspertów): tel. +48 732 555 837, e-mail: dominik.bugajski@cebrio.pl

Lightweight nr 1/2022
ISSN: 2720-6009

KAROLINA GRUSS-KUFEL
kgrusskufel@coldjet.com

Zapobiegawcze utrzymanie ruchu w branży kompozytowej. Zastosowanie technologii czyszczenia suchym lodem

Dla producentów części kompozytowych istotne jest zwiększenie wydajności urządzeń produkcyjnych i poprawa jakości wytwarzanych detali. Odpowiednie oprzyrządowanie jest kluczowe w produkcji dobrej jakości elementów kompozytowych. Projektowanie oprzyrządowania (form) jest pracochłonne, wymaga przygotowania odpowiedniego materiału, powłok oraz doboru środków antyadhezyjnych. Biorąc te aspekty pod uwagę nie dziwi fakt, że producenci chcą wydłużyć żywotność stosowanego w produkcji oprzyrządowania. Tradycyjne metody czyszczenia mogą mieć niestety negatywny wpływ na oprzyrządowanie oraz zastosowane powłoki. Jeżeli proces nie jest realizowany prawidłowo, w trakcie może dojść do zmiany krytycznych wymiarów i uszkodzenia powierzchni. Tu z pomocą przychodzi czyszczenie suchym lodem, które jest bardzo dobrą metodą zapobiegawczą w konserwacji narzędzi, form i maszyn w zakładach produkcyjnych.

Czym jest suchy lód?

Zacznijmy od magii, która drzemie w procesie, czyli od suchego lodu. Suchy lód to zwyczajowa nazwa zestalonego dwutlenku węgla (CO_2). Jest to gaz naturalnie występujący w środowisku, który wydychamy. Prawie cały dwutlenek węgla do produkcji suchego lodu pochodzi z recyklingu produktów ubocznych niektórych procesów przemysłowych, takich jak rafinacja petrochemiczna, destylacja oraz produkcja amoniaku, gazu ziemnego czy etanolu. 90 proc. suchego lodu używane jest jako medium chłodzące w transporcie, głównie w przemyśle spożywczym i farmaceutycznym. Niewielka ilość wykorzystywana jest do czyszczenia. Od formy suchego lodu zależy rodzaj urządzenia, które należy zastosować. Niemniej istnieją już narzędzia wykorzystujące różne formy suchego lodu. Przykładem takiego urządzenia jest PCS 60 z serii Aero2 firmy Cold Jet (www.coldjet.com).

Urządzenie czyszczące suchym lodem PCS 60 serii Aero2 firmy Cold Jet jest obecnie najlepszym rozwiązaniem w zakresie czyszczenia oprzyrządowania dla przetwórców tworzyw sztucznych, bez konieczności schładzania i demontażu, bez ryzyka generowania odpadów, powodowania ścierania lub negatywnego wpływu na środowisko. Zastosowanie PCS 60 umożliwia usuwanie wypływek i przebłyszczeń oraz przygotowanie powierzchni przed malowaniem. Opatentowany System Kontroli Cząsteczek (PCS) w maszynie PCS 60 precyzyjnie tnie suchy lód w jeden z 28 dostępnych rozmiarów w zakresie od 3 mm do 0,3 mm. Dzięki temu można wykorzystać maszynę PCS 60 do czyszczenia różnych maszyn stosowanych w procesie produkcji. PCS 60 jest najbardziej zaawansowanym technologicznie urządzeniem do czyszczenia suchym lodem i przy tym najprostszym w obsłudze. Sterowanie z wykorzystaniem wyświetlacza HMI gwarantuje intuicyjną obsługę, umożliwiając operatorowi łatwy podgląd i kontrolę parametrów czyszczenia oraz ustawień maszyny. Urządzenie posiada programowalne i zabez-

KAROLINA GRUSS-KUFEL



Rys. 1. Urządzenie do czyszczenia suchym lodem Aero2 PCS 60 firmy Cold Jet.

pieczone hasłem receptury dla danego procesu czyszczenia. Dzięki temu przetwórcy tworzyw sztucznych mogą zapisać takie parametry jak: ciśnienie czyszczenia, wielkość i zakres podawania suchego lodu dla każdej formy osobno. Zapobiega to błędom użytkownika i zapewnia wykorzystanie właściwych parametrów dla każdej aplikacji. Wszystko to za pomocą jednego pokrętła. PCS 60 jest pierwszą maszyną czyszczącą na rynku, w której wdrożono rozwiązania Przemysłu 4.0. Dzięki łączności opartej na Internecie Rzeczy (IoT) można ją skomunikować i zintegrować z całym procesem produkcyjnym zakładu.

Jak przebiega proces czyszczenia suchym lodem?

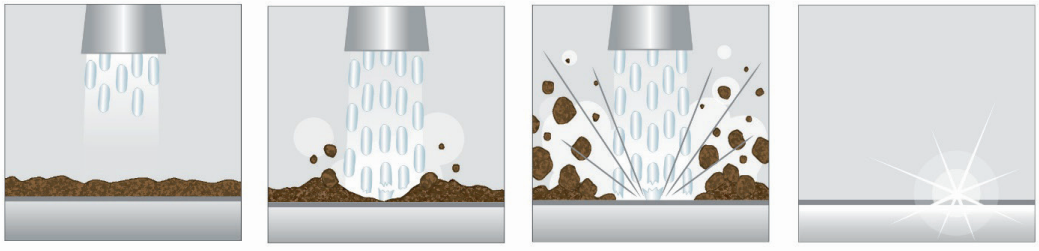
Czyszczenie suchym lodem przypomina piaskowanie lub mycie sodą, gdzie środek czyszczący przyspieszany jest w strumieniu sprężonego powietrza, dzięki czemu oddziałuje na powierzchnię czyszczoną lub przygotowywaną do dalszych czynności. Podstawową jednak różnicą jest stosowane odpowiedniego medium. W tym przypadku jest to suchy lód, który nie powoduje ścierania, nie jest toksyczny oraz nie generuje odpadów wtórnych. Ogólnie przyjmuje się, że proces czyszczenia suchym lodem oparty jest na trzech czynnikach, które można opisać stosując akronim ICE.

„I" jak *impact* (z ang. uderzenie) oznacza efekt działania energii mechanicznej lub kinetycznej granulatu. Efekt kinetyczny sprawia, że granulat suchego lodu wyrzucany jest przez specjalną dyszę z ogromną prędkością w kierunku zabrudzonej powierzchni w strumieniu sprężonego powietrza. „C" jak *cold* (z ang. zimno) oznacza efekt termiczny. Niska temperatura suchego lodu (-78.9°C) wywołuje efekt szoku termicznego, a różnica temperatur powoduje skruszenie zabrudzeń, które odrywają się od podłoża. Wreszcie „E" jak *expansion* świadczy o efekcie rozszerzalności cieplnej gazu lub sublimacji. Przy zetknięciu z powierzchnią suchy lód gwałtownie sublimuje, a powstałe tzw. mikro eksplozje usuwają nagromadzone zanieczyszczenia. Ponieważ suchy lód jest nieabrazyjny i zamienia się w gaz, pozostawia czystą powierzchnię, bez dodatkowych odpadów i żadnych uszkodzeń.

Istnieje wiele korzyści wynikających z zastosowania technologii czyszczenia suchym lodem. Poniżej przedstawimy kilka z nich.

Brak korozji i zmian chemicznych

Do opisania procesu czyszczenia suchym lodem można użyć wielu określeń. Suchy lód jest niekorozyjny, nieprzewodzący, obojętny, nietoksyczny i niepalny. To bardzo stabilna cząsteczka o budowie liniowej. Nie wchodzi w reakcję z podłożem oprzyrządowania, podczas gdy cząsteczki o budowie kątowej (jak w przypadku środków czyszczących na bazie wody) mogą wchodzić w reakcje z węglem w niektórych narzędziach i powodować korozję. Suchy lód natomiast nie powoduje zmian chemicznych w oprzyrządowaniu.

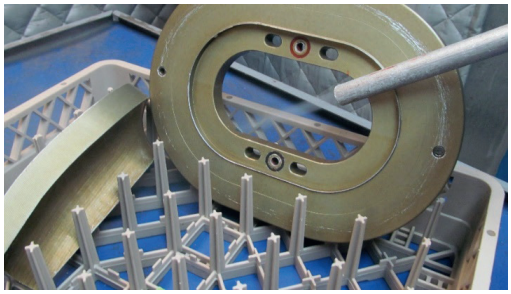


Rys. 2. Etapy procesu czyszczenia suchym lodem.

Przed zastosowaniem suchego lodu



Po zastosowaniu suchego lodu



Rys. 3. Przedstawia element poddawany czyszczeniu suchym lodem. Przed zastosowaniem tej metody i po.

Zrównoważony proces czyszczenia

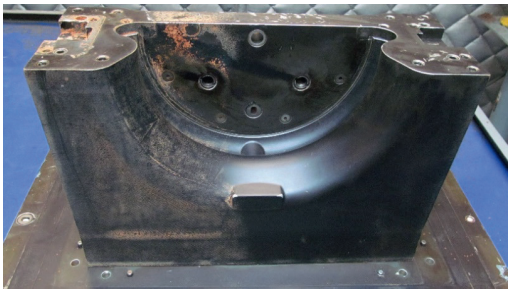
Czyszczenie suchym lodem jest procesem zrównoważonym. Metoda wykorzystuje odzyskany dwutlenek węgla (CO_2), który naturalnie występuje w środowisku; nie ma więc negatywnego wpływu na środowisko, a przy tym nie generuje odpadów wtórnych.

Czysty proces czyszczenia

Czyste formy są aspektem kluczowym dla wytwarzania dobrej jakości produktów końcowych. Technologia ta zapewnia wzorową czystość, która przekłada się na jakość gotowych produktów. To proces suchy, który nie pozostawia osadów wtórnych. Ułatwia czyszczenie przyrządów zarówno o prostej, jak i skomplikowanej geometrii.

Ekologiczne czyszczenie

Metoda czyszczenia suchym lodem jest przyjazna dla środowiska. CO_2 wykorzystywany do czyszczenia odzyskiwany jest z procesów rafinacji, a jego użycie nie przyczynia się do zwiększenia efektu cieplarnianego. Suchy lód jest bezbarwny, bezsmakowy, bezzapachowy, nietoksyczny, nietrujący i bezpieczny dla żywności. Suchy lód zastępuje inne szkodliwe, powodujące zubożenie warstwy ozonowej chemiczne środki czyszczące, zawierające lotne związki organiczne (LZO). W trakcie czyszczenia suchym lodem nie powstają odpady wtórne, które należy utylizować, co jest zaletą z punktu widzenia zakładów dążących do maksymalnej redukcji odpadów. Zagrożenia dla zdrowia są ograniczane, a bezpieczeństwo operatora jest wyższe dzięki mniejszej ekspozycji na działanie szkodliwych chemikaliów. W rezultacie środowisko pracy jest bezpieczniejsze (w myśl metodologii 5S lub 6S). Udowodniono również, że zastosowanie suchego lodu w procesie czyszczenia jest nie tylko ekologiczne, ale i tańsze niż inne metody.



Rys. 4. Kompozytowa forma poddana czyszczeniu.

Szczupłe zarządzanie

Powszechnym problemem w branży tworzyw sztucznych jest czasochłonne czyszczenie oprzyrządowania. Wymaga ono użycia ścierek, rozpuszczalników, ostrz i chemikaliów. Proces czyszczenia manualnego jest często nieefektywny ze względu na bardzo małe obszary, odpowietrzenia, czy trudno dostępne przestrzenie. Czyszczenie suchym lodem zwiększa efektywność pracy, redukuje odpady produkcyjne i koszty oraz wspiera inicjatywy na rzecz doskonalenia procesów, takie jak 6S, i Total Productive Management (TPM). Wiele zakładów szacuje, że 60–70 proc. czynności w zakresie utrzymania formy w odpowiednim stanie zajmuje jej czyszczenie. W świetle tego, zmarnowanie nawet 15 minut na czyszczenie jest bardzo kosztowne.

Wnioski

Zastosowanie metody czyszczenia suchym lodem wydłuża żywotność form i oprzyrządowania, dzięki zastąpieniu chemikaliów i narzędzi ściernych

suchym lodem. Suchy lód nie ściera powierzchni form ani oprzyrządowania i chroni je. Czyszczenie tą metodą doskonale sprawdza się w przypadku narzędzi wykorzystywanych m.in. do formowania ciśnieniowego, formowania transferowego, tłoczenia, pultruzji, wstępnej impregnacji i formowania na mokro. Może też bezpiecznie usunąć z form różne osady powstałe przy pracy, np. żywicę epoksydową, taśmę teflonową, środki antyadhezyjne (np. alkohol poliwinylowy, pasta woskowa), silikon, fenol, węgiel, grafit i wiele innych, bez uszkodzenia narzędzi. Czyszczenie suchym lodem to przede wszystkim szybki i delikatny proces, który nie uszkadza powierzchni i może być wykonywany w temperaturze roboczej procesu, bez demontażu. Suchy lód służy także do przygotowywania elementów do malowania, powlekania lub łączenia. Realizacja tych zadań na sucho, bez ścierania i bez odpadów wtórnych wydłuża czas pracy maszyn oraz żywotność oprzyrządowania, poprawia jakość produkcji, obniża koszty i zwiększa bezpieczeństwo w środowisku pracy. Dzięki zastosowaniu urządzeń do czyszczenia suchym lodem firmy Cold Jet producenci z branży kompozytowej mogą skrócić czas czyszczenia urządzeń i przygotowania powierzchni nawet o 75 proc.

O firmie Cold Jet®

Cold Jet® posiada dwie odrębne linie biznesowe skupione wokół zastosowania suchego lodu. Firma zapewnia systemy do ekologicznego czyszczenia, przygotowania i wykończenia powierzchni dla wielu branż przemysłowych na całym świecie. Urządzenia te wykorzystują suchy lód jako medium czyszczące. Drugą linią są systemy do produkcji, dozowania i pakowania suchego lodu. Systemy te umożliwiają nieprzerwaną produkcję suchego lodu w różnych rozmiarach, który stosowany jest do transportu żywności, zarządzania łańcuchem chłodniczym i czyszczenia suchym lodem. Siłą firmy Cold Jet jest globalna wiedza w połączeniu z lokalną dostępnością poprzez biura i sieć partnerów biznesowych na całym świecie. Dzięki temu firma oferuje wsparcie 24H/7 w obszarach sprzedaży, pomocy technicznej oraz kompleksowej obsługi klienta. Firma Cold Jet posiada główną siedzibę w Loveland, Ohio (USA) oraz kilka międzynarodowych biur w Europie, Azji, Kanadzie i Meksyku. W Polsce siedziba firmy znajduje się w Obornikach koło Poznania. Więcej informacji o firmie można uzyskać na stronie www.coldjet.pl, dzwoniąc pod numer telefonu +48 798 33 88 00 lub pisząc na adres e-mail: info.eu@coldjet.com, tel. 506 179 323.