

Załącznik nr 3

AUTOREFERAT

Dr inż. Rafał Oliwa

Rzeszów 2023

Spis treści

1. Imię i nazwisko	3
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.....	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych	3
4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)	4
4.1. Uzasadnienie wyboru obszaru badawczego.....	4
4.2. Cel i zakres prowadzonych prac naukowo-badawczych.....	9
4.3. Omówienie osiągniętych rezultatów prac badawczo-naukowych	11
4.3.1. Kompozyty epoksydowo-szklane o zwiększonej odporności na płomień i ograniczonej gęstości oraz toksyczności wydzielanych dymów	11
4.3.2. Kompozyty epoksydowe umocnione włóknem węglowym o dobrej odporności na wyładowania atmosferyczne	21
4.3.3. Podsumowanie prowadzonych badań pracy naukowo-badawczej i osiągniętych rezultatów	28
5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.....	31
6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.	40
6.1. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych	40
6.2. Informacja o osiągnięciach organizacyjnych	41
6.3. Informacja o osiągnięciach popularyzujących naukę	42
7. Pozostałe informacje dotyczące kariery zawodowej (po uzyskaniu stopnia doktora)	43
7.1. Recenzje artykułów naukowych	43
7.2. Udział w konferencjach – prezentacje ustne (z wyłączeniem pozycji wymienionych w pkt. 5.).....	43
7.3. Udział w konferencjach – prezentacja posteru (z wyłączeniem pozycji wymienionych w pkt. 5.).....	44
7.3. Przygotowanie materiałów i posterów na konferencje	44
7.4. Recenzowane materiały konferencyjne	47
7.5. Patenty i zgłoszenia patentowe	48
7.6. Nagrody za działalność naukową.....	50
7.7. Dane naukometryczne.....	52

1. Imię i nazwisko

Rafał Łukasz Oliwa

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe lub artystyczne – z podaniem podmiotu nadającego stopień, roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej.

- 14.01.2015 Doktor nauk chemicznych
Dziedzina: nauki chemiczne
Dyscyplina: technologia chemiczna
Politechnika Rzeszowska, Wydział Chemiczny
Tytuł rozprawy doktorskiej: *Kompozyty epoksydowe do zastosowań w lotnictwie*
Promotor: dr hab. inż. Maciej Heneczowski (Politechnika Rzeszowska)
Recenzenci: prof. dr hab. inż. Tadeusz Spychaj (ZUT w Szczecinie)
prof. dr hab. inż. Józef Kuczmaszewski (Politechnika Lubelska)
- 30.09.2014 Ukończenie studiów doktoranckich w Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Herberta Polskiej Akademii Nauk w Krakowie
- 01.06.2010 Magister inżynier
Dziedzina: nauki chemiczne
Dyscyplina: technologia chemiczna
Kierunek: technologia chemiczna
Specjalność: technologia organiczna i tworzywa sztuczne
Politechnika Rzeszowska, Wydział Chemiczny
Temat pracy: *Kompozyty polimerów syntetycznych z modyfikowanymi bentonitami*
Promotor: prof. dr hab. inż. Mariusz Oleksy

3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych lub artystycznych

- 1.10.2019-obecnie Politechnika Rzeszowska, Wydział Chemiczny, Katedra Kompozytów Polimerowych,
Stanowisko: adiunkt w grupie pracowników badawczo-dydaktycznych

1.04.2015-30.09.2019 Politechnika Rzeszowska, Wydział Chemiczny, Katedra Technologii i Materiałoznawstwa Chemicznego,
Stanowisko: asystent w grupie pracowników naukowo-dydaktycznych

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.)

Osiągnięcia naukowe stanowiące znaczny wkład w rozwój dyscypliny **Inżynieria materiałowa**, według art. 219 ust. 1 pkt 2 Ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. – Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce przedstawiono w: **monografii naukowej**, zgodnie z art. 219 ust. 1 pkt 2a Ustawy, pt. **Funkcjonalne kompozyty epoksydowe wzmocnione włóknami**, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów **2022**, s. 175, ISBN: 978-83-7934-621-9.

Recenzenci wydawniczy:

Prof. dr hab. inż. Jan Sieniawski (Politechnika Rzeszowska)

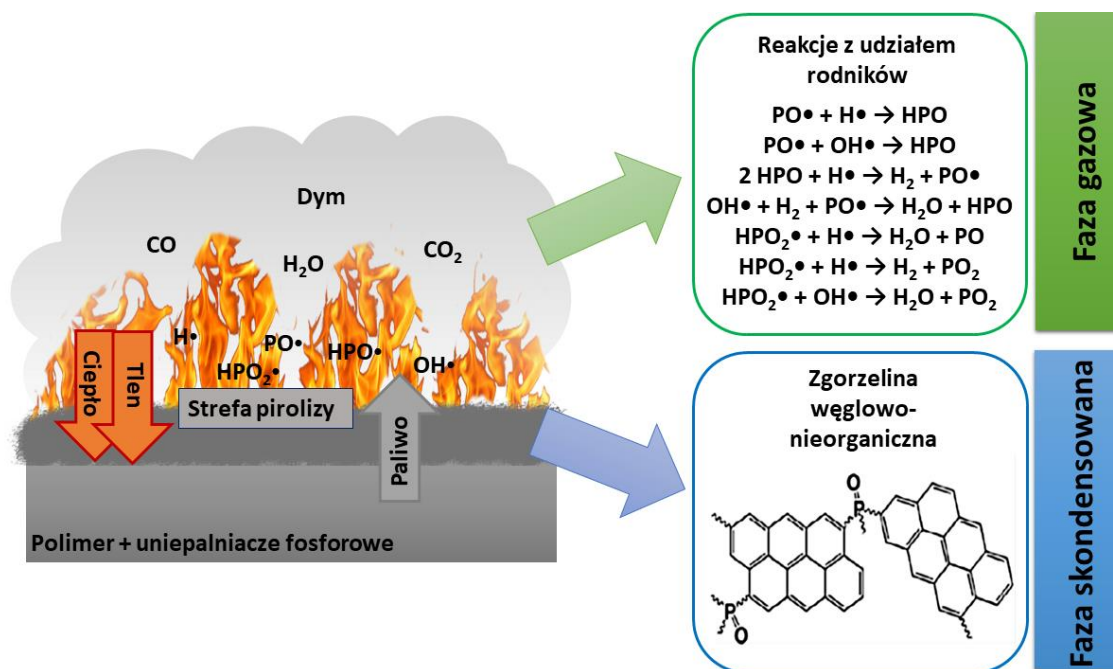
Prof. dr hab. inż. Anna Boczkowska (Politechnika Warszawska)

4.1. Uzasadnienie wyboru obszaru badawczego

Intensywny rozwój wysoko zaawansowanych technologii wprowadzanych do techniki w ostatnim dziesięciu lat umożliwiło opracowanie i wytwarzanie nowych funkcjonalnych materiałów kompozytowych o unikatowych właściwościach. Do tej grupy materiałów należą również kompozyty o osnowie polimerowej umacniane włóknami oraz cząstkami drugiej fazy. Obecnie zyskują duże znaczenie do wytwarzania elementów konstrukcyjnych w budownictwie, lotnictwie i motoryzacji. Wzrost zastosowania polimerowych materiałów kompozytowych w publicznych środkach transportu jest spowodowany możliwością modyfikowania ich właściwości użytkowych w zależności od wymagań prognozowanych dla wytworzonych wyrobów. W transporcie wzrasta liczba pasażerów, zwiększa się również liczba i masa przewozów towarowych. Zużycie paliwa i emisja zanieczyszczeń zależy zarówno od masy przewozów jak również masy stosowanych środków transportu. Wprowadzenie materiałów o mniejszej gęstości umożliwia zatem zmniejszenie masy oraz zwiększenie ładowności statków powietrznych, także morskich oraz wagonów pociągu. W transporcie kolejowym w mniejszym stopniu niszczone są tory kolejowe - następuje rozwój pojazdów elektrycznych.

Kompozyty polimerowe, które wyróżniają się małą gęstością, łatwością formowania, zdolnością do tłumienia drgań i hałasu oraz dobrymi właściwościami wytrzymałościowymi z powodzeniem zastępują materiały metaliczne o większej gęstości (m.in. stal oraz stopy tytanu i aluminium). Zastąpienie materiałów metalicznych przez kompozyty polimerowe wymaga jednak spełnienia przepisów bezpieczeństwa. Głównymi wadami kompozytów polimerowych, ograniczającymi ich zastosowanie, są: łatwopalność polimerów, a także ich właściwości dielektryczne. W przypadku pojawienia się ognia, również spowodowanego wyładowaniami atmosferycznymi, to elementy wewnętrznego wyposażenia, m.in. polimerowe fotele, ściany i podłogi, determinują szybkość i intensywność pożaru. Z tego względu w procesie projektowania i doboru materiałów konstrukcyjnych uwzględnia się kryterium zachowania bezpieczeństwa pożarowego zgodnie z wymaganiami Federalnej Administracji Lotnictwa Stanów Zjednoczonych i Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego oraz kryteriów określonych w normach dotyczących m.in. transportu kolejowego.

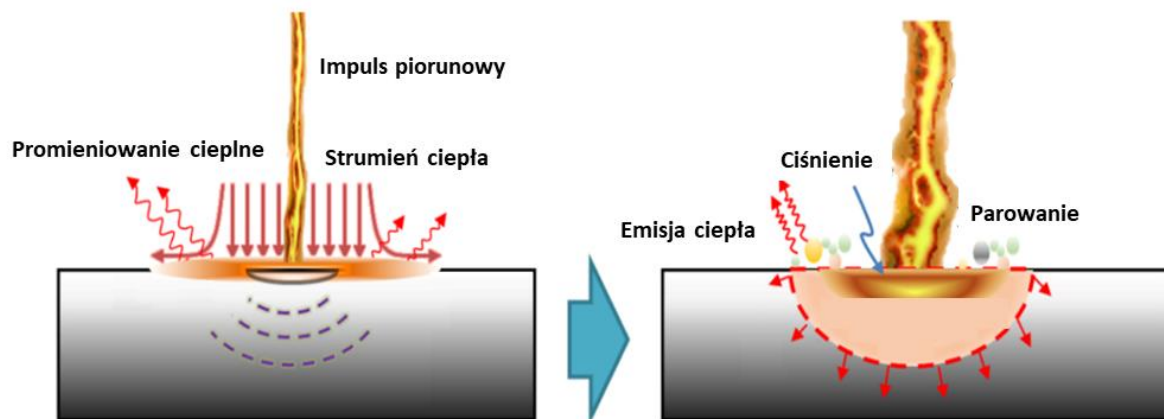
Zmniejszenie samopalenności materiałów polimerowych lub jej zahamowanie jest możliwe przez wprowadzenie uniepalniaczy. Dotychczas ważną rolę w zwiększaniu odporności na płomień odgrywały związki halogenopochodne. Mają duże znaczenie również w technologii żywic epoksydowych, ze względu na ich mały koszt, wysoką wydajność i mały wpływ na właściwości mechaniczne. Analiza składu fazowego produktów rozpadu polimerów zawierających w swojej budowie chlor i brom wykazała jednak, że podczas spalania generują toksyczne dymy, w tym dioksyny. Substancje te charakteryzują się dużą trwałością w środowisku i bioakumulacją oraz są szkodliwe dla środowiska i zdrowia człowieka. Dlatego ze względu na ochronę środowiska i dla poprawy bezpieczeństwa pożarowego stosowane są bezhalogenowe środki zmniejszające palność. Największą grupą bezhalogenowych uniepalniaczy wprowadzanych w technologii kompozytów epoksydowych są związki fosforu. Charakteryzują się działaniem zarówno w fazie gazowej, jak również w fazie skondensowanej procesu spalania (rys. 1.). Cechują się także małą toksycznością dymów. Dotychczasowe wyniki prowadzonych badań świadczą również, że o efektach oddziaływania uniepalniaczy fosforowych decyduje stopień utlenienia fosforu. Wykazano, że związki, w których fosfor występuje na wyższym stopniu utlenienia (+3, +5), cechują się silnym oddziaływaniem w fazie skondensowanej, natomiast przy niższym stopniu utlenienia (+1, 0) – silnym oddziaływaniem w fazie gazowej.



Rys. 1. Reakcje uniepalniaczy fosforowych w fazie gazowej i skondensowanej w procesie spalania substancji organicznych

Czynnikami decydującymi o wymaganiach dla kompozytów polimerowych są przede wszystkim rodzaj i rzeczywiste położenie elementu konstrukcyjnego w samolocie oraz w wagonie. Dla elementów wewnętrznych oprócz odporności na płomień (pionowa próba spalania, szybkość wydzielania się ciepła) istotnym kryterium w doborze ich materiału jest objętość oraz stopień toksyczności dymów wydzielanych w trakcie jego spalania. Dym – główny produkt pożaru – stanowi połączenie związków całkowitego spalania (CO_2 , H_2O i gazy kwasowe) oraz niepełnego spalania (CO , sadza i częściowo utlenione paliwa gazowe). Wytworzone składniki produktów spalania decydują o toksyczności powstałej podczas pożaru mieszaniny gazowej oraz gęstości generowanego dymu i cząstek sadzy o dużej dyspersji. Jest to istotne ponieważ dodatek uniepalniaczy często powoduje zwiększenie objętości wydzielanego tlenku węgla, który jest główną przyczyną wzrostu liczby ofiar pożarów wskutek zatrucia. Ponadto, wprowadzenie niewielkiej zawartości uniepalniaczy, zapewniającej uzyskanie dobrych parametrów palnościowych, przekłada się na nieznaczne zmniejszenie gęstości wydzielanych dymów. Często również dochodzi do zwiększenia emisji dymów po wprowadzeniu uniepalniaczy oddziałujących głównie w fazie gazowej. Poprawę skuteczności uniepalniaczy w zmniejszeniu emisji dymów oraz CO uzyskuje się przez stosowanie związków metali przejściowych, nanonapełniaczy, także przez wprowadzenie wielofunkcyjnych uniepalniaczy lub środków tłumiących dym (tzw. supresantów) – podczas ich rozpadu

wydzielają się znaczne objętości obojętnych gazów. Dla polimerowych materiałów kompozytowych stosowanych na elementy konstrukcji zewnętrznej statków powietrznych dużym zagrożeniem są również wyładowania atmosferyczne. Około 50% masy nowoczesnych samolotów, m.in. Boeing 787 czy Airbus A350XWB, stanowią elementy wytworzone z kompozytów polimerowych umocnionych włóknem węglowym. Dobre właściwości izolacyjne polimerów skutkują koncentracją ładunków elektrycznych na ich powierzchni i uzyskaniem wysokiego potencjału elektrycznego, stwarzającego ryzyko pożaru lub wybuchu. Szczególnie w przypadku kompozytów stosowanych jako zewnętrzne elementy konstrukcji nośnej statków powietrznych stanowi poważne ograniczenie. Podczas uderzenia pioruna występuje wiele niekorzystnych zjawisk spowodowanych m.in. oddziaływaniem pola elektromagnetycznego i szokiem akustycznym. Dielektryczny charakter osnowy polimerowej powoduje przekształcenie energii elektrycznej w energię cieplną. Duży wzrost energii cieplnej prowadzi do szybkiego podwyższenia temperatury i powoduje natychmiastowe topienie się osnowy polimerowej, a także włókna wzmacniającego (rys. 2.). Można zatem stwierdzić, że efekty cieplne i degradacja struktury wewnętrznej kompozytu determinują powstanie uszkodzeń



Rys. 2. Schemat procesu uszkodzenia kompozytu wywołanego uderzeniem pioruna

spowodowanych uderzeniem pioruna. Oddziałują one również na właściwości wytrzymałościowe kompozytów, sztywność oraz ogólną reakcję na ich obciążenie. Dlatego od tych materiałów kompozytowych, poza dobrą względną wytrzymałością, wymaga się także dodatkowo właściwości zmniejszających niekorzystne efekty wyładowania atmosferycznego. Wynika stąd konieczność poprawy przewodności i odporności na płomień kompozytów polimerowych. Konwencjonalnym rozwiązaniem zapewniającym uzyskanie ścieżki przewodzenia – ciągle stosowanym – jest wprowadzenie cienkiej metalowej siatki lub folii do wierzchniej warstwy kompozytu tworzącego poszycie samolotu. Prąd wyładowania

atmosferycznego ulega w tych warunkach rozproszeniu i opuszcza powierzchnię poszycia samolotu. Takie rozwiązanie jednocześnie zwiększa masę samolotu i podnosi koszty wytwarzania. Ponadto siatki i folie są trudne do ułożenia na powierzchni o złożonym kształcie. Powstają miejscowe zniekształcenia powierzchni poszycia skrzydeł co prowadzi do obniżenia ich nośności. Dla siatek aluminiowych dodatkowym ograniczeniem jest korozja galwaniczna występująca na powierzchni połączenia węgiel–aluminium. Nowe koncepcje ochrony statków powietrznych przed uderzeniem pioruna zakładają wprowadzenie dodatkowych warstw przewodzących wewnątrz kompozytu lub stosowanie warstwy zewnętrznej kompozytu wykonanej na przykład z grafenu, srebra czy polianiliny. Poprawę odporności na wyładowania atmosferyczne można uzyskać również przez modyfikowanie materiału umocnienia osnowy. Stosuje się tkaniny węglowe o większej gramaturze lub natryskiwanie na ich powierzchnię cząstek przewodzących materiałów metalicznych. Spośród stosowanych sposobów poprawy konduktywności kompozytów żywicy epoksydowej rozwijana jest także koncepcja jej modyfikowania przez wprowadzenie napełniaczy i nanonapełniaczy przewodzących, m.in. cząstek metali oraz grafenu, grafitu i sadzy.

Ważnym kryterium doboru rodzaju i zawartości modyfikatorów dla materiałów i kompozytów polimerowych z uwzględnieniem prognozowanego ich zastosowania w technice są właściwości mechaniczne. Jest to szczególnie istotne w konstrukcyjnych kompozytach włóknistych. Ich niejednorodna budowa prowadzi do przyspieszonej degradacji przez: delaminację, zarodkowanie mikropęknięć w osnowie, odklejanie włókien od osnowy, wyciąganie włókien lub ich zerwanie. Ustalono, że dodatek uniepalniaczy i napełniaczy przewodzących powoduje wzrost lepkości żywic epoksydowych. Wpływa więc na zdolność do zwilżania włókien i wzajemne oddziaływanie na powierzchni międzyfazowej włókno-osnowa. Konsekwencją jest zmniejszenie właściwości mechanicznych kompozytów, a w przypadku zawartości napełniaczy przewodzących również ich odporności na płomień. Możliwe jest ograniczenie tego efektu przez uzyskanie na granicy włókno-polimer rozwiniętej powierzchni międzyfazowej przez wprowadzenie nanonapełniaczy do osnowy polimerowej lub nanoszenie ich na powierzchnię włókna. Zatem poprawa odporności na płomień, także jakości i gęstości wydzielanych dymów oraz odporności na wyładowania atmosferyczne kompozytów polimerowych, z uwzględnieniem zachowania odpowiednich właściwości reologicznych i mechanicznych, wymaga poszukiwania synergii oddziaływania wprowadzonych uniepalniaczy, napełniaczy i nanonapełniaczy.

4.2. Cel i zakres prowadzonych prac naukowo-badawczych

Żywica epoksydowa stosowana jako osnowa w kompozytach umocnionych włóknem węglowym, także włóknem szklanym należy do grupy polimerów łatwopalnych i generujących dużą objętość gęstego dymu. Z kolei dielektryczne właściwości żywicy epoksydowej powodują koncentrację na powierzchni kompozytu ładunków elektrycznych i stanowi szczególny problem przy wyładowaniach atmosferycznych – uderzeniu pioruna w zewnętrzne elementy konstrukcyjne. Dlatego skoncentrowano się w prowadzonej pracy własnej na dwóch głównych zagadnieniach badawczych. Dotyczą opracowania: (1) kompozytów epoksydowo-szklanych o zwiększonej odporności na płomień i cechujących się mniejszą gęstością i toksycznością wydzielanych dymów, oraz (2) kompozytów epoksydowo-węglowych o dobrej odporności na wyładowania atmosferyczne.

Obecnie wiele ośrodków naukowo-badawczych w kraju i na świecie jest skoncentrowanych na poszukiwaniu nowych rozwiązań dotyczących poprawy ich odporności na płomień, przez zastosowanie uniepalniaczy zawierających fosfor, azot i krzem, także przez wprowadzanie do osnowy napełniaczy w postaci nanomateriałów. Pomimo tego, jest niewiele publikacji opisujących kompozyty epoksydowe umocnione włóknem szklanym i cechujących się jednocześnie dużą odpornością na płomień, oraz znacznym ograniczeniem wydzielających się dymów i tlenku węgla. Stąd w badaniach własnych podjęto próbę zastosowania boranu cynku i modyfikowanych glinokrzemianów warstwowych oraz uniepalniaczy fosforowych o różnym stopniu utlenienia fosforu w procesie wytwarzania materiałów kompozytowych o dobrej odporności na płomień i mniejszej gęstości oraz toksyczności wydzielanych dymów. Przeprowadzona analiza danych literaturowych wskazuje, że jednoczesne wprowadzenie kilku uniepalniaczy zmienia charakter ich oddziaływania w fazie gazowej i skondensowanej. Stwierdzono ograniczone informacje o skuteczności i mechanizmie oddziaływania jednoczesnego fosforanów i fosfinianów oraz innych dodatków. Dotyczy to zwłaszcza ich roli w zmniejszaniu toksyczności oraz gęstości optycznej dymów wydzielanych podczas spalania kompozytów epoksydowych. Uwzględniono, w analizie efektywności działania wprowadzanych uniepalniaczy, zastosowanie termoutwardzalnej żywicy epoksydowej w postaci proszku. Na podstawie dotychczasowych prac własnych Autora stwierdzono, że zastosowanie proszkowej żywicy epoksydowej jako osnowy w kompozytach umocnionych włóknem szklanym wpływa na skuteczność działania uniepalniaczy w porównaniu do takich kompozytów wytworzonych z użyciem ciekłej żywicy epoksydowej. Głównym celem

naukowym badań było określenie wpływu zawartości oraz stopnia oddziaływania opracowanych i wytworzonych glinokrzemianów warstwowych oraz komercyjnych uniepalniaczy fosforowych, także boranu cynku na odporność na płomień oraz na zmniejszenie gęstości i toksyczności wydzielających się dymów dla kompozytów epoksydowych umocnionych włóknem szklanym i wytworzonych w procesie prasowania. Wykonano analizę porównawczą efektu synergii oddziaływania wprowadzonych uniepalniaczy oraz modyfikowanych glinokrzemianów i boranu cynku, także ich indywidualnego oddziaływania. Dla opracowanej hybrydowej mieszaniny uniepalniaczy ustalono stopnień ich oddziaływania przez przeprowadzenie ilościowej analizy ich aktywności zarówno w fazie gazowej, jak i również w fazie stałej podczas procesu spalania, oraz analizę składu fazowego i chemicznego produktów rozpadu procesu spalania.

Materiały kompozytowe stosowane jako zewnętrzne elementy konstrukcji nośnej samolotu, oprócz wymaganej ich ognioodporności i właściwości mechanicznych, muszą się również cechować minimalizacją niekorzystnych efektów wywołanych wyładowaniami atmosferycznymi. Stwierdzono także, że jedną z metod poprawy konduktywności żywic epoksydowych jest zastosowanie napełniaczy przewodzących. Ustalono jednocześnie, że często poprawie konduktywności kompozytów epoksydowych towarzyszy pogorszenie ich innych właściwości użytkowych takich jak odporność na płomień czy właściwości mechanicznych. W badaniach własnych w zakresie rozwiązań materiałowych zastosowano mieszaninę napełniaczy przewodzących i uniepalniaczy. W prowadzonej analizie danych literaturowych nie stwierdzono zbliżonych rozwiązań dotyczących technologii uniepalnionych kompozytów polimerowych o zwiększonej konduktywności i jednocześnie dużej odporności na efekty wyładowań atmosferycznych. Głównym celem poznawczym prowadzonych prac było zatem opracowanie kryteriów doboru rodzaju napełniaczy przewodzących o różnej morfologii cząstek i ciekłych uniepalniaczy fosforowych wprowadzanych do osnowy epoksydowej stosowanej w technologii ciśnieniowo-próżniowej kompozytów włóknistych w celu uzyskania prognozowanych funkcjonalnych właściwości użytkowych. Określono wpływ zawartości fosforu w uniepalniaczach oraz ustalono zależność dotyczącą wpływu rodzaju i zawartości napełniaczy przewodzących na konduktywność oraz odporność na płomień wytworzonych kompozytów. Istotnym zadaniem badawczym było określenie odporności wytworzonych kompozytów na wyładowania atmosferyczne poprzez zastosowanie impulsów prądu elektrycznego o dużym natężeniu. Równoległe do badań odporności na wyładowania

atmosferyczne prowadzono pomiary rezystywności kompozytów. Wykonano także próbę statyczną rozciągania oraz badania makroskopowe powierzchni próbek kompozytów poddanych działaniu impulsów prądu elektrycznego o dużym natężeniu. Ocenę wewnętrznych uszkodzeń wykonano metodą echa w nieniszczących badaniach ultradźwiękowych.

Dla kompleksowej oceny możliwości aplikacji opracowanych kompozytów epoksydowych, wykonano analizę ich właściwości reologicznych i reaktywności, także ich właściwości mechanicznych.

4.3. Omówienie osiągniętych rezultatów prac badawczo-naukowych

Osiągnięcia naukowe będące podstawą wszczęcia postępowania habilitacyjnego opisane w monografii zatytułowanej *Funkcjonalne kompozyty epoksydowe wzmocnione włóknami*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2022, s. 175, ISBN: 978-83-7934-621-9 dotyczą opracowania nowych grup kompozytów epoksydowych: 1. umacnianych włóknem szklanym o zwiększonej odporności na płomień oraz ograniczonej gęstości i toksyczności wydzielanych dymów, oraz 2. umacnianych włóknem węglowym o dobrej odporności na wyładowania atmosferyczne.

4.3.1. Kompozyty epoksydowo-szklane o zwiększonej odporności na płomień i ograniczonej gęstości oraz toksyczności wydzielanych dymów

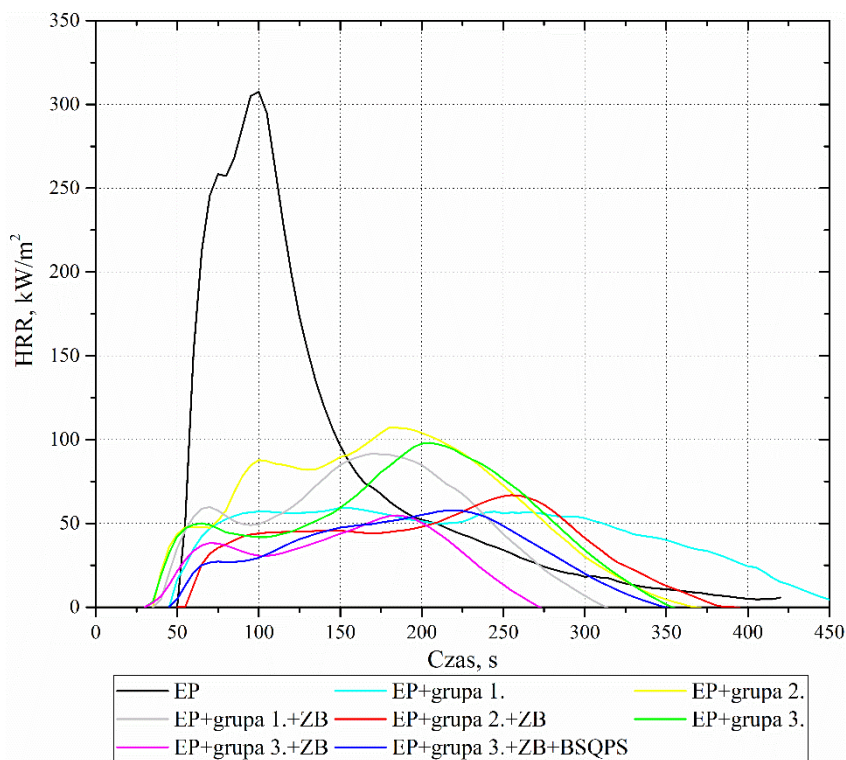
Dotychczasowe doświadczenie własne oraz analiza danych literaturowych pozwalały stwierdzić, że jednym z głównych czynników wpływających na stopień uniepalnienia kompozytów epoksydowych umocnionych włóknami jest dobór rodzaju uniepalniaczy oraz ich zawartość. Dobrą skuteczność oddziaływania w poprawie odporności na płomień żywic epoksydowych wykazują uniepalniacze fosforowe w tym polifosforany oraz fosfiniany. Przyjęto założenie, że polifosforany będące składnikami kwasowymi uniepalniaczy, wskutek oddziaływania wysokiej temperatury zwiększają swoją objętość i tworzą na powierzchni płonącego materiału zgorzelinę o budowie wielokomórkowej, która może stanowić stabilną barierę ochronną przed rozprzestrzenianiem ognia. Fosfiniany natomiast cechują się dodatkowo efektywnością oddziaływania w fazie gazowej poprzez wychwytywanie wolnych rodników i spowalnianie reakcji egzotermicznych. W badaniach własnych wytworzone kompozyty wyodrębniono w zależności od rodzaju i zawartości wprowadzanych uniepalniaczy: **grupa 1.** - polifosforan amonu (**APP**) i dipentaerytrytol (**DPER**); **grupa 2.** - dietylofosfinian glinu (**AIDPi**) i polifosforan melaminy (**MPP**), **grupa 3.** - hybrydowa zawartość uniepalniaczy (**APP**,

DPER, AIDPi, MPP). Dodatkowo wszystkie grupy uniepalniaczy wprowadzonych do żywicy epoksydowej cechowały się także określoną zawartością boranu cynku (**ZB**) i modyfikowanego bentonitu (**BSQPS**) - **grupa 4**. Boran cynku jest znanym i opisanym w literaturze uniepalniaczem, który wykazuje się dużą wydajnością tworzenia zgorzeli o szklistej powłoce. Cechuje się także działaniem w fazie gazowej poprzez rozcieńczenie palnych gazów w wyniku uwalniania pary wodnej w trakcie jego rozpadu cieplnego. Stwierdzono ograniczoną liczbę prac dotyczących zastosowania boranu cynku w uniepalnianiu żywic epoksydowych z zawartością uniepalniaczy fosforowych. Modyfikowane glinokrzemiany warstwowe były odrębnymi dodatkami należącymi do grupy nanonapełniaczy. Zastosowane zostały dla uniepalniania polimerów głównie do wywołania efektu synergii oddziaływania pomiędzy wprowadzonymi uniepalniaczami. W prowadzonych pracach modyfikowanie bentonitu przeprowadzono z użyciem czwartorzędowej soli fosfoniowej (chlorek tributylu(tetradecylo)fosfoniowy) zgodnie z opracowaną recepturą (współautorstwo patentu II-5.p.9. i 10. – załącznik nr 4). Jako materiał osnowy do wytworzenia kompozytów umocnionych włóknem szklanym przyjęto jednoskładnikową żywicę epoksydową w postaci proszku A.S.SET Powder 01. Do wzmocnienia osnowy zastosowano rowingową tkaninę szklaną o gramaturze 350 g/m² i splocie rzędkowym 2/2. Kompozyty umocnione 6-cioma warstwami tkaniny szklanej o osnowie proszkowej żywicy epoksydowej z zawartością uniepalniaczy wytworzono zgodnie z opracowaną procedurą (współautorstwo zgłoszenia patentowego – II-5.p.6. - załącznik nr 4). Uzyskane wyniki badań wykazały, że optymalna całkowita zawartość uniepalniaczy gwarantująca prognozowane parametry palno-dymowe wynosi 45% mas. Celem realizacji badań było udowodnienie przyjętej hipotezy, że: *dobrą odporność na płomień oraz mniejszą gęstość i toksyczność wydzielanych dymów podczas spalania kompozytów epoksydowo-włóknistych, umożliwi ich modyfikowanie przez wprowadzenie do ich osnowy hybrydowej mieszaniny uniepalniaczy oddziałujących w fazie skondensowanej i gazowej procesu spalania: fosforanów, fosfinianów także boranu cynku oraz modyfikowanych glinokrzemianów warstwowych, dla wywołania synergii ich oddziaływania i uzyskania prognozowanych funkcjonalnych właściwości użytkowych*. Sformułowana hipoteza badawcza wymagała przeprowadzenia kompleksowych badań dotyczących dymotwórczości, palności, odporności cieplnej, także analizy ilościowej ich aktywności zarówno w fazie gazowej, jak również w fazie stałej procesu spalania, oraz analizy składu fazowego i chemicznego produktów rozpadu procesu spalania. Dopełnieniem prowadzonych badań było określenie

właściwości mechanicznych kompozytów oraz reologicznych (lepkości i reaktywności) mieszanek żywicy epoksydowej z uniepalniaczami z uwzględnieniem zastosowania w technologii prasowania laminatów. Analiza danych literaturowych pozwoliła stwierdzić, że badania właściwości palno-dymowych, uzupełnione o analizę właściwości fizycznych, mechanicznych i przetwórczych kompozytów epoksydowych z hybrydową zawartością scharakteryzowanych uniepalniaczy są ograniczone. Ustalono synergię oddziaływania uniepalniaczy oraz modyfikowanych glinokrzemianów warstwowych i boranu cynku na właściwości palno-dymowe opracowanych kompozytów. W realizowanych badaniach sumaryczna zawartość wprowadzonych uniepalniaczy wynosi: 30 i 45% mas. Zawartość ZB oraz BSQPS w kompozytach z 1., 2. i 3 grupą uniepalniaczy wynosi odpowiednio 15 i 3% mas.

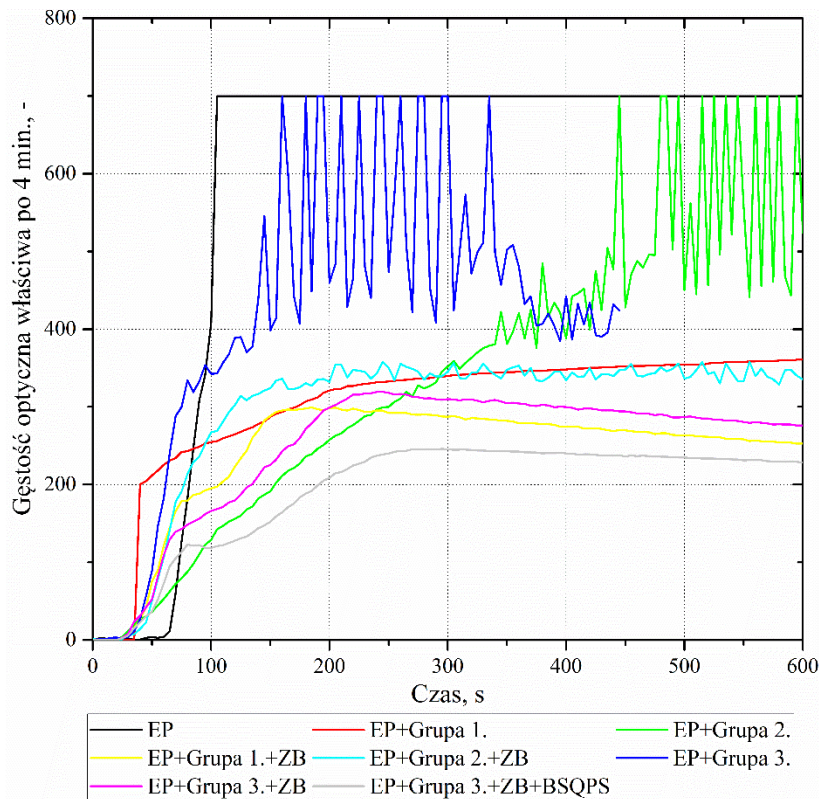
Ustalono na podstawie przeprowadzonych badań palności kompozytów z uniepalniaczami grupy 1. i 2., że ważnym czynnikiem decydującym o skuteczności tego rodzaju uniepalniaczy jest sposób wymieszania i rozmieszczenia ich cząstek w osnowie polimerowej. Spośród kompozytów z zawartością uniepalniaczy 30% mas. większą skutecznością w ograniczeniu palności wykazały się kompozyty z uniepalniaczami grupy 2. – mniejsze wartości wskaźników wyznaczonych w mikrokalorymetrii stożkowej. Wykazano skuteczność ich oddziaływania w fazie gazowej, oraz tworzenie zgorzeliny o właściwościach barierowych. Spowodowane są obecnością glinu i fosforu w fazie skondensowanej – analiza SEM/EDS zgorzeliny powstałej po spaleniu kompozytu. Pomimo tego w badaniach dymotwórczości wykonanych metodą statyczną wykazano niewielką zmianę wartości wskaźnika VOF_4 (pole powierzchni pod krzywą zależności gęstości optycznej właściwej po czasie 4 min) oraz gęstości optycznej właściwej dymów po czasie 4 min. ($D_s(4)$). Dotyczy kompozytów o zawartości dietylofosfinianu glinu i polifosforanu melaminy 30% mas. w proporcji 1:1 i 2:1. Ponadto, ustalono zwiększenie wskaźników dymotwórczości wyznaczonych metodą dynamiczną (TSR - całkowity wydzielony dym na jednostkę powierzchni; SPR - szybkość emisji dymu; TSP - całkowity wydzielony dym). Stwierdzono także, znaczny wzrost objętości wydzielanego tlenu węgla (Y_{co}) w porównaniu do kompozytu z osnową niemodyfikowanej żywicy oraz kompozytów z uniepalniaczami grupy 1. Zwiększenie zawartości polifosforanu melaminy w porównaniu do AIDPi (AIDPi:MPP = 1:2) spowodowało zmniejszenie wartości wskaźników dymotwórczości wyznaczonych metodą statyczną i dynamiczną oraz ograniczyło wydzielanie się tlenu węgla. Powoduje jednocześnie wzrost maksymalnej szybkości wydzielania ciepła (pHRR) od 74 do 107 kW/m², także po

wprowadzeniu 45% mas. tych uniepalniaczy (rys. 3.). Ustalono, że zmiana proporcji zawartości uniepalniaczy AIDPi i MPP spowodowała zmianę sposobu ich oddziaływania.



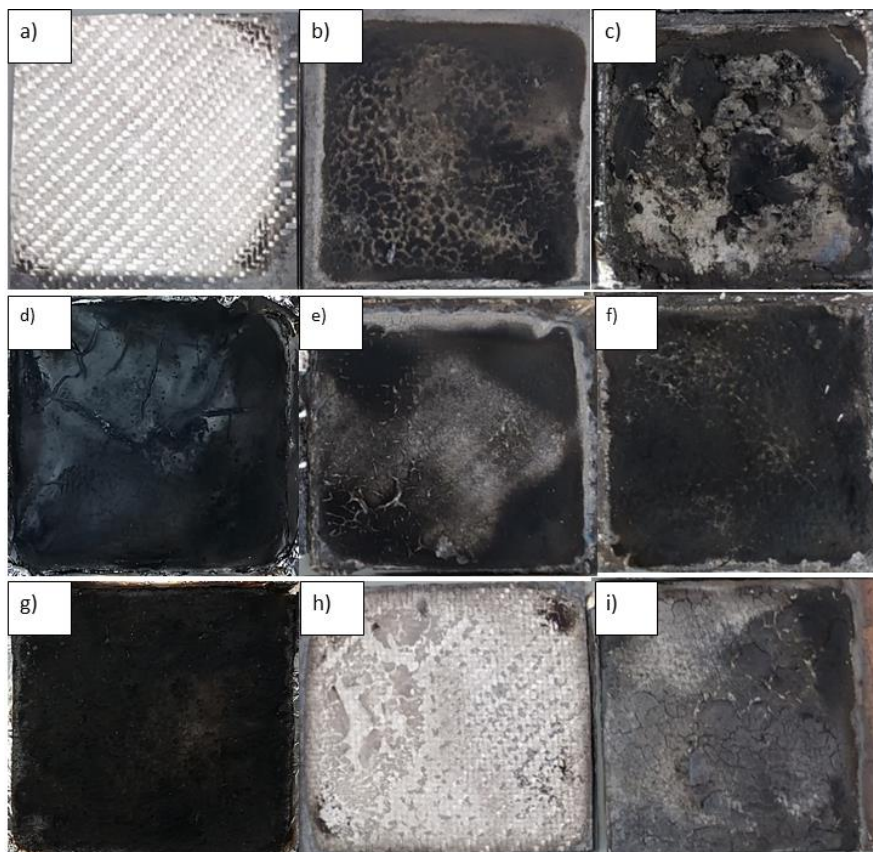
Rys. 3. Szybkość wydzielenia ciepła w funkcji czasu w próbie spalania kompozytów o osnowie żywicy niemodyfikowanej i żywicy modyfikowanej przez wprowadzenie 45% mas. uniepalniaczy: grupy 1. – APP/DPER; grupy 2. – MPP/AIDPi; grupy 3. – APP/DPER/MPP/AIDPi

Potwierdzono, że w zmniejszeniu gęstości wydzielanych dymów ważną rolę odgrywa jednoczesna aktywność uniepalniaczy w fazie gazowej i stałej. Wykazano jednocześnie, że pomimo zawartości 45% mas. uniepalniaczy grupy 2. maksymalna wartość gęstości optycznej właściwej (D_s max) osiąga wartość > 700 po 400 sekundach (rys. 4.). Ustalono, że spowodowane jest mało efektywnym oddziaływaniem uniepalniaczy w fazie skondensowanej. Świadczy o tym ubytek masy $> 42\%$ uzyskany w badaniach mikrokalorymetrycznych. Również potwierdza niewielka wydajność w tworzeniu zgorzeliiny po rozpadzie cieplnym w atmosferze azotu w temperaturze 700°C ($W_{700}=14,1\%$). Większą skutecznością oddziaływania w zmniejszeniu wartości wskaźników: $D_s(4)$, VOF_4 oraz TSR i TSP cechowały się kompozyty z zawartością polifosforanu amonu oraz dipentaerytrytolu dla zarówno 30 jak również 45% mas. zawartości tych uniepalniaczy. Kompozyty z zawartością 45% mas. uniepalniaczy grupy 1. uzyskały $pHRR = 64 \text{ kW/m}^2$ oraz $D_s\text{max} = 350$ (rys. 3. i 4.). Stwierdzono jednak mniejszą ich



Rys. 4. Gęstość optyczna właściwa w funkcji czasu w trakcie spalania kompozytów o osnowie żywicy niemodyfikowanej i żywicy modyfikowanej przez wprowadzenie 45% mas. uniepalniaczy: grupy 1. – APP/DPER; grupy 2. – MPP/AIDPi; grupy 3. – APP/DPER/MPP/AIDPi skuteczność w ograniczaniu spalania dla zawartości 30% mas. w porównaniu do kompozytów z AIDPi:MPP = 2:1. Ustalono, w przeprowadzonej ilościowej ocenie oddziaływania uniepalniaczy na podstawie wartości wskaźników EHC, pHRR, THR oraz PML, że ograniczenie palności kompozytów z zawartością uniepalniaczy grupy 1., APP/DPER, zależy od ich aktywności w fazie gazowej oraz ich zdolności do zwęglania. Nie stwierdzono natomiast dla tych kompozytów efektu ochronnego powstałej zgorzeli, pomimo jej dużej objętości. Spowodowane jest brakiem tworzenia się wielokomórkowej i spęczniałej zgorzeli charakterystycznej dla tych uniepalniaczy (rys. 5.).

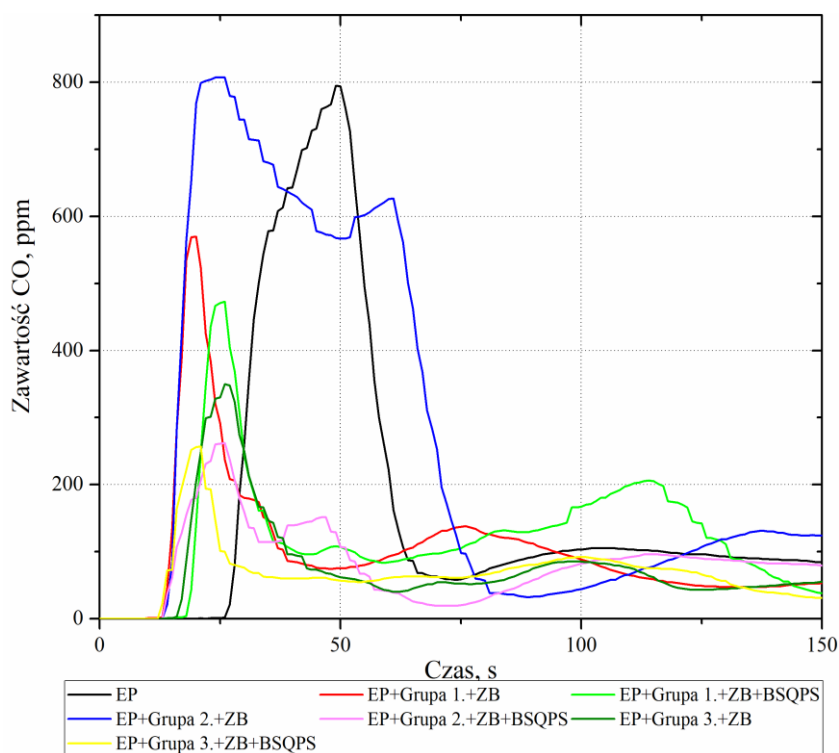
Przeprowadzono analizę porównawczą wartości wskaźnika gęstości optycznej $D_s(4)$ dla kompozytów z zawartością 45% mas. uniepalniaczy grupy 1., 2. i 3. Nie wykazano efektu synergii ich oddziaływania na właściwości przeciwdymne kompozytów z hybrydową zawartością uniepalniaczy (rys. 4.). Odwrotną zależność uzyskano dla kompozytów z tą grupą



Rys. 5. Obraz powierzchni kompozytów o osnowie: a) żywicy epoksydowej niemodyfikowanej, oraz żywicy modyfikowanej przez wprowadzenie uniepalniaczy: b) APP-22,5%/DPER-7,5%/ZB-15%, c) APP-34%/DPER-11%, d) MPP-20%/AIDPi-15%/ZB-15%, e) MPP-30%/AIDPi-15%, f) APP-17,25%/DPER-5,25%/AIDPi-7,5%/MPP-15%, g) APP-9%/DPER-3%/AIDPi-5%/MPP-10%/ ZB-15%/BSQPS-3%, h) BSQPS-3%, oraz i) ZB-45% – próba palności w mikrokalorymetrze stożkowym

uniepalniaczy o zawartości 30% mas. Stwierdzono, że zastosowanie hybrydowej mieszanki uniepalniaczy – niezależnie od zawartości – nie oddziałuje również korzystnie na bezpieczeństwo pożarowe tych materiałów (mikrokalorymetria stożkowa) (rys. 3.). Określona mała wartość indeksu wytrzymałości cieplnej T_{HRI} obliczona na podstawie wskaźników rozpadu cieplnego (TGA) pozwoliła stwierdzić, że główną przyczyną jest mała stabilność cieplna pierwotnej zgorzliny wytworzonej przez kompozyt z hybrydową zawartością uniepalniaczy, która w trakcie spalania ulega zniszczeniu. Dla poprawy efektu oddziaływania stosowanych grup uniepalniaczy w celu zmniejszenia dymotwórczości i palności kompozytów epoksydowych w dalszych pracach badawczych wprowadzono boran cynku ZB oraz modyfikowany glinokrzemian BSQPS. Analiza wyników badań dymotwórczości wykonanych w statycznych i dynamicznych warunkach pozwoliły stwierdzić, że wprowadzenie bentonitu

do osnowy epoksydowej nie wpływa znacząco na emisję dymów wytworzonych kompozytów umocnionych włóknem szklanym. Ustalono jednocześnie, że bentonit efektywnie oddziałuje na jakość powstałych dymów przez zmniejszenie objętości wydzielającego się tlenku węgla kompozytów z uniepalniaczami 1., 2. i 3 grupy (rys. 6.). Uzyskane wyniki badań



Rys. 6. Zawartość tlenku węgla w funkcji czasu wydzielanego w trakcie spalania kompozytów o osnowie żywicy niemodyfikowanej i żywicy modyfikowanej przez wprowadzenie 45% mas. uniepalniaczy: grupy 1. – APP/DPER; grupy 2. – MPP/AIDPi; grupy 3. – APP/DPER/MPP/AIDPi dymotwórczości, potwierdzone obliczoną wartością indeksu efektu synergii $SE > 1$ dla przyjętego kryterium zmniejszenia gęstości wydzielanych dymów wskazały także silny wpływ bentonitu jako adiuwanta wzmacniającego oddziaływanie boranu cynku. Oddziaływanie takie przypisano ponadprzeciętnemu wzrostowi wydajności tworzenia zgorzeli podczas rozpadu cieplnego kompozytu z zawartością ZB-15% mas. i BSQPS-3% mas. w porównaniu do kompozytu zawierającego wyłącznie boran cynku. Analiza rozpadu cieplnego kompozytów wykazała także wzrost wydajności tworzenia zgorzeli o dużej wytrzymałości cieplnej – wysoka temperatura rozpadu IPDT oraz duża wartość indeksu wytrzymałości cieplnej T_{HRI} – po wprowadzeniu boranu cynku do kompozytów z uniepalniaczami 1, 2. i 3. grupy. Wykazano, że niezależnie od wprowadzonej grupy uniepalniaczy wartości maksymalnej gęstości optycznej

dymów D_s max, gęstości optycznej właściwej dymów po czasie 4 min ($D_s(4)$) oraz pola powierzchni pod krzywą zależności gęstości optycznej właściwej po czasie 4 min (VOF_4) są na podobnym poziomie. Wykazano także, że spośród kompozytów z uniepalniaczami grupy 1., 2. i 3. mniejszymi wartościami wskaźników maksymalnej średniej szybkości emisji ciepła $MARHE = 76 \text{ kW/m}^2$ oraz maksymalnej szybkości wydzielania ciepła $pHRR = 55 \text{ kW/m}^2$ cechują się kompozyty z uniepalniaczami AIDPi i MPP. Z kolei mniejszą objętością wydzielanego CO po wprowadzeniu ZB cechował się kompozyt z APP/DPER (rys. 6.). Wykazano, w prowadzonej analizie wyników, że pomimo zmiany kinetyki reakcji rozpadu, zastąpienie części APP/DPER przez wprowadzenie ZB-15% mas. nie wpływa korzystnie na zmianę charakteru procesu spalania. Uzyskane zależności $HRR(t)$ także nie wykazują cech typowych dla materiałów pęczniejących. Określono pogorszenie wskaźników palnościowych i obniżenie indeksu tlenowego kompozytów z zawartością uniepalniaczy grupy 1. i boranu cynku (rys. 3.).

W realizowanych badaniach stosowano do jakościowej i ilościowej charakteryzacji rozprzestrzeniania się pożaru i skuteczności działania uniepalniaczy, obliczone na podstawie kalorymetrii stożkowej wskaźniki: szybkości wzrostu pożaru FIGRA (ang. *fire growth index*), izolacji ogniowej FPI (ang. *fire performance index*), ognioodporności FRI (ang. *flame retardancy index*). Przeprowadzona analiza wyników potwierdziła zróżnicowane oddziaływanie boranu cynku i bentonitu z poszczególnymi grupami uniepalniaczy. Ustalono negatywny efekt oddziaływania boranu cynku ZB z uniepalniaczami grupy 1. Według wskaźnika FRI zastąpienie części uniepalniaczy grupy 1. przez wprowadzenie ZB powoduje obniżenie stopnia klasyfikacji od doskonałej dla kompozytu z APP-34% i DPER-11% do dobrej dla kompozytu z APP-22,5%/DPER-7,5%/ZB-15%. Odwrotną zależność uzyskano dla kompozytów z polifosforanem MPP i dietylofosfinianem AIDPi. W tych kompozytach częściowe zastąpienie przez dodatek ZB skutkowało uzyskaniem efektu synergii ($SE > 1$) oddziaływania dla wszystkich przyjętych wskaźników palno-dymowych. Spowodowało także zmianę charakteru spalania z materiałów niewęglających się na materiały wykazujące znaczną aktywność w fazie skondensowanej (rys. 3.). Wykazano, że pomimo zmniejszenia zawartości fosforu, wytwarzanie znacznej objętości zgorzeli po wprowadzeniu boranu cynku – najmniejszy ubytek masy podczas spalania w mikrokalorymetrze stożkowym spośród kompozytów z zawartością uniepalniaczy grupy 1. i 2. – spowodowało ponad dwukrotne zmniejszenie $pHRR$ oraz zmianę stopnia klasyfikacji tych kompozytów z „dobrej” ognioodporności na „doskonałą” (wg wskaźnika FRI). Wprowadzenie ZB zmienia oddziaływanie fosfinianu AIDPi

z polifosforanem MPP – potwierdzono w analizie składu fazowego zgorzeliny. Podobne zależności stwierdzono także po wprowadzeniu dodatku boranu cynku do kompozytów z hybrydową zawartością uniepalniaczy – wykazano, że ZB jest niezbędny także w skuteczności działania hybrydowej mieszanki uniepalniaczy. Boran cynku zgodnie z oczekiwaniami spowodował zmianę charakteru spalania wytworzonych kompozytów od niezwęglających się do tworzących zgorzelinę o dobrych właściwościach izolacyjnych i z dużą wydajnością (rys. 3.). Stąd uzyskano największy efekt zmniejszenia wartości wskaźników palnościowych i emisji dymów spośród badanych kompozytów po wprowadzeniu ZB (rys. 4.). Wykazano jednocześnie, że w przypadku kompozytów z uniepalniaczami grupy 1. kluczowa jest zawartość fosforu w celu tworzenia wydajnej zgorzeliny. Ustalono, że wspólną cechą kompozytów położonych w strefie „doskonałej” ognioodporności i największym bezpieczeństwie pożarowym (wykres Petrella) jest możliwość zwiększenia aktywności oddziaływania w ich zwęglaniu dla określonego rodzaju i zawartości uniepalniaczy po wprowadzeniu lub usunięciu boranu cynku.

Opracowane rozwiązanie i zastosowanie hybrydowej mieszanki uniepalniaczy oraz boranu cynku jest także skuteczne w zmniejszeniu emisji tlenku węgla. Przeprowadzona analiza porównawcza wyników badań palności i dymotwórczości, także emisji tlenku węgla potwierdziła również skuteczne oddziaływanie bentonitu jako adiuwanta wzmacniającego działanie boranu cynku i uniepalniaczy grupy 3. – poprawia wartości wskaźników palnościowych (MARHE, $D_s(4)$, D_{smax} i VOF_4 , Y_{co}) (rys. 3-6.). Należy podkreślić, że kompozyt z uniepalniaczami grupy 3. bez zawartości bentonitu uzyskuje wartości wskaźnika szybkości wzrostu pożaru FIGRA dwukrotnie większe.

Charakteryzację produktów gazowych powstałych z rozpadu cieplnego kompozytów wykonano metodą termogravimetrii połączonej ze spektroskopią w podczerwieni (TGA-FTIR) i spektrometrią MS (TGA-MS). Wykazała, że wprowadzenie boranu cynku i bentonitu do kompozytów z hybrydową zawartością uniepalniaczy powoduje ponadto zwiększoną intensywność wydzielania się gazów obojętnych – dominuje w początkowym etapie. Gazy obojętne ograniczają zadymienie do minimum – przy niewielkim wzroście gęstości optycznej powstałego dymu spowodowanego uwalnianiem się fragmentów bisfenolu A. Analiza składu chemicznego i fazowego utworzonej zgorzeliny (SEM/EDS, FTIR, WAXS) umożliwiła ustalić silny udział fosforu w tworzeniu struktur usieciowanych. Natomiast ilościowa ocena oddziaływania hybrydowej mieszanki uniepalniaczy pozwoliła stwierdzić, że wprowadzenie dodatku boranu

cynku znacznie poprawia efekt zwęglania w fazie skondensowanej. Uzyskane rezultaty potwierdzono w analizie rozpadu cieplnego TGA oraz analizie składu fazowego. Wykazano, że wzrost wydajności w tworzeniu zgorzeliny jest spowodowany katalizowaniem reakcji sieciowania i tworzenia się szklistej warstwy o strukturze krystalicznej na powierzchni zgorzeliny. Dodatkowe wprowadzenie bentonitu znacznie wzmocniło oddziaływanie uniepalniaczy poprzez efekt barierowy utworzonej zgorzeliny. Powoduje zmniejszenie masy związków aromatycznych zwiększających zadymienie, - zapewnia najmniejszą, stałą wartość gęstości optycznej właściwej po 4 min badania $D_s(4)$ (rys. 4.). Wykonana analiza FTIR oraz MS produktów gazowych wykazała także, że utworzona zgorzelina znacznie ogranicza wydzielanie się węglowodorów alifatycznych i produktów karbonylowych do strefy gazowej (uznawanych za skrajnie łatwopalne). Jest więc czynnikiem prowadzącym do obniżenia wartości wskaźników, charakteryzujących obciążenie ogniowe i zdolność do rozprzestrzeniania się płomienia, wyznaczonych dla kompozytu z APP/DPER/MPP/AIDPi/ZB/BSQPS. Stwierdzono jednocześnie, że opracowany kompozyt o hybrydowej zawartości uniepalniaczy i z dodatkiem BSQPS/ZB wykazuje efekt synergii. Obliczono wartość indeksu efektu synergii dla przyjętych kryteriów poprawy wskaźników palnościowych (pHRR, LOI) oraz dymowych (VOF_4 , $D_s(4)$). Potwierdzono, że jednym ze sposobów uzyskania synergii oddziaływania uniepalniaczy jest wprowadzenie boranu cynku/bentonitu do hybrydowej mieszaniny uniepalniaczy fosforowych zapewniający zrównoważone ich oddziaływanie w ograniczaniu procesu spalania w fazie gazowej i skondensowanej.

W prowadzonych zadaniach badawczych wykazano także, że zastosowanie hybrydowej zawartości uniepalniaczy jest również korzystne dla uzyskania dobrych właściwości mechanicznych kompozytów. Ustalono, że mniejsza zawartość dietylofosfinianu glinu AIDPi w hybrydowej mieszaninie oraz dodatek bentonitu prowadzi do złagodzenia negatywnego oddziaływania dużej zawartości uniepalniaczy na właściwości mechaniczne kompozytów. Przyczyną bezpośrednią jest zmiana ich właściwości reologicznych. W badaniach właściwości reologicznych żywicy epoksydowej z zawartością uniepalniaczy MPP/AIDPi stwierdzono utrudnienie w przesycaniu tkaniny – dużą lepkość początkową mieszaniny oraz wartość tangensa kąta stratności $\text{tg}(\delta) < 1$ ($G_0' < G_0''$). Wykazano także skrócony czas utwardzania oraz mały wzrost lepkości dla żywicy z zawartością bentonitu i/lub boranu cynku. Katalityczne oddziaływanie modyfikowanego bentonitu i boranu cynku w połączeniu z niewielką zawartością AIDPi w hybrydowej mieszaninie uniepalniaczy skutkuje bowiem

zmianą właściwości reologicznych. Stwierdzono zmniejszenie lepkości początkowej oraz zmianę charakterystyki w zależności modułu zachowawczego G' i stratności G'' w funkcji czasu żelowania ($G_0' > G_0''$). Ustalono, że taki przebieg procesu żelowania charakteryzuje dobre parametry przetwórcze umożliwiające przesycanie włókien i uzyskanie dobrej ich adhezji z osnową.

Analiza wyników badań wytrzymałości na ścinanie opracowanych kompozytów oraz badania makroskopowe obrazów powierzchni próbek uzupełnione o analizę odkształcenia potwierdziły słaby efekt oddziaływania uniepalniaczy grupy 2. z żywicą epoksydową - wyraźne odklejenie się osnowy od tkaniny. Nie stwierdzono tej wady w pozostałych badanych kompozytach.

Analiza wyników realizowanych prac badawczych potwierdziła korzystny efekt wprowadzenia do kompozytów epoksydowych uniepalniaczy cechujących się różnym stopniem oddziaływania z uwzględnieniem przyjętych kryteriów zmniejszenia palności i dymotwórczości, także ich właściwości przetwórczych i mechanicznych. Ponadto wykazano, że dodatkowe wprowadzenie boranu cynku oraz bentonitu do hybrydowej zawartości uniepalniaczy zapewnia intensywny stopień ich oddziaływania dla przyjętych kryteriów: hamowania spalania w fazie gazowej poprzez rozcieńczanie palnych gazów, aktywności w fazie skondensowanej poprzez wzrost wydajności zgorzeli i nadania powstałej warstwie cech barierowych. Ustalono, że boran cynku oraz modyfikowany glinokrzemian są również skuteczne w poprawie parametrów przetwórczych, które bezpośrednio oddziałując na jakość wytworzonych kompozytów i strukturę, zapewniają dobre właściwości mechaniczne kompozytów.

4.3.2. Kompozyty epoksydowe umocnione włóknem węglowym o dobrej odporności na wyładowania atmosferyczne

Ważnym kryterium oceny zdolności aplikacyjnych kompozytów polimerowych stosowanych na zewnętrzne elementy konstrukcyjne statków powietrznych, także pojazdów i łodzi, oprócz ognioodporności jest ich odporność na efekty wyładowań atmosferycznych. Dlatego w pracy naukowo-badawczej wprowadziłem zagadnienia dotyczące opracowania funkcjonalnych kompozytów epoksydowych umocnionych włóknami, mających dobrą konduktywność, przy jednoczesnym zachowaniu dobrej odporności na płomień i dobrych właściwości mechanicznych. Do wytworzenia kompozytów umocnionych włóknem węglowym stosowano ciekłą żywicę epoksydową Epidian 624 o lepkości 600-800 mPa·s, oraz

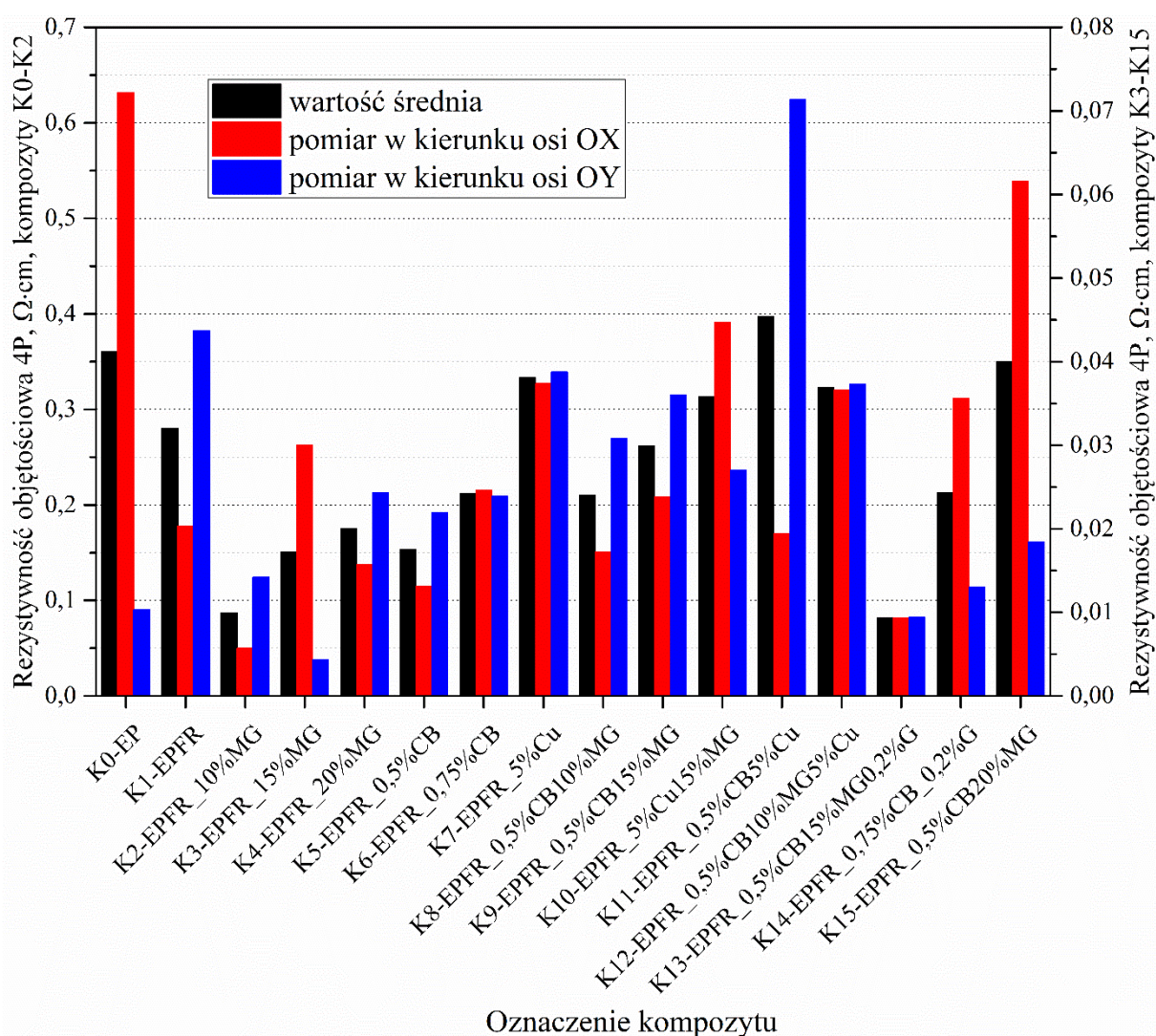
utwardzacz Z1 (trietylenotetraamina). Dla umocnienia osnowy wprowadzano rowingową tkaninę węglową o gramaturze 220 g/m² i splocie skośnym 2/2. Na podstawie wyników badań wstępnych nad zastosowaniem ciekłych uniepalniaczy w technologii kompozytów epoksydowo-włóknistych przyjęto do realizacji mieszaninę żywicy epoksydowej i hybrydową zawartość uniepalniaczy – mieszaninę fosfonianów i fosfinianów o nazwie handlowej CT90 (20% mas.) oraz uniepalniacz TEPHP (5% mas.). Uniepalniacz TEPHP przygotowano poprzez rozpuszczenie fosforanu trifenylu w fosforanie trietylu w proporcji zawartości 2:5. Opracowana i wytworzona mieszanina żywicy z uniepalniaczami **EPFR**, charakteryzowała się mniejszą lepkością w porównaniu do żywicy epoksydowej. Umożliwiono więc jej modyfikowanie poprzez wprowadzenie napełniaczy przewodzących. W prowadzonych badaniach jako napełniacze przewodzące stosowano: grafit płatkowy **MG**, sadzę **CB**, grafen **G** i nanoproszek miedzi **Cu**. Były wprowadzane do ciekłej żywicy epoksydowej Epidian 624 jako zawiesina w ciekłej mieszaninie uniepalniaczy i poddawane wielostopniowemu procesowi mieszania zgodnie z opracowaną procedurą (współautorstwo zgłoszenia patentowego – II-5.p.3 – załącznik nr 4).

Badania fraktograficzne powierzchni przełomów usieciowanych mieszanin żywicy, pozwoliły stwierdzić, że stosowany proces homogenizacji zapewnia równomierne rozłożenie cząstek napełniaczy w osnowie. Dla mieszaniny z grafenem potwierdzono także metodą dyfrakcji rentgenowskiej – brak charakterystycznego maksimum natężenia promieniowania dla kąta $2\theta = 26,5^\circ$ od płaszczyzny (002). Wytworzone mieszaniny uniepalnionej żywicy z zawartością jednego lub kilku napełniaczy przewodzących stanowiły osnowę kompozytów umocnionych tkaniną węglową i wytworzonych w procesie infuzji. *Głównym celem zadań badawczych prowadzonych w tym etapie badań było wykazanie, że zastosowanie hybrydowej zawartości napełniaczy przewodzących o różnej morfologii cząstek oraz uniepalniaczy fosforowych umożliwi wywołanie synergii ich oddziaływania i uzyskanie prognozowanych funkcjonalnych właściwości użytkowych kompozytów – przede wszystkim odporności wytworzonych kompozytów na wyładowania atmosferyczne.*

W próbie odporności na wyładowania atmosferyczne stosowano impulsy prądu elektrycznego o dużym natężeniu. W trakcie badań odporności na wyładowania atmosferyczne równolegle prowadzono pomiary rezystywności opracowanych i wytworzonych kompozytów. Dla weryfikacji i oceny możliwości aplikacji opracowanych kompozytów epoksydowych, wykonano analizę ich właściwości reologicznych, także ich

właściwości mechanicznych, oraz konduktywności i odporności na płomień. Dla dopełnienia prowadzonej charakteryzacji tych kompozytów określono ich wytrzymałości na rozciąganie oraz przedstawiono obrazowanie powierzchni próbek kompozytów poddanych działaniu impulsów prądu elektrycznego o dużym natężeniu, uzupełnionej o ocenę wewnętrznych uszkodzeń metodą echa w nieniszczących badaniach ultradźwiękowych.

W badaniach rezystywności wytworzonych kompozytów wykazano, że najmniejszą rezystancją cechuje się kompozyt z zawartością sadzy-0,5% mas. oraz z hybrydową zawartością napełniaczy: grafitu-15% mas., grafenu-0,2% mas. i sadzy-0,5% mas. odpowiednio 0,018 i 0,007 $\Omega \cdot \text{cm}$ (rys. 7.). Wprowadzone napełniacze przewodzące przyczyniły się do



Rys. 7. Rezystywność objętościowa kompozytów umocnionych włóknem węglowym o osnowie żywicy epoksydowej niemodyfikowanej oraz żywicy modyfikowanej przez wprowadzenie napełniaczy przewodzących – metoda 4-elektrodowa

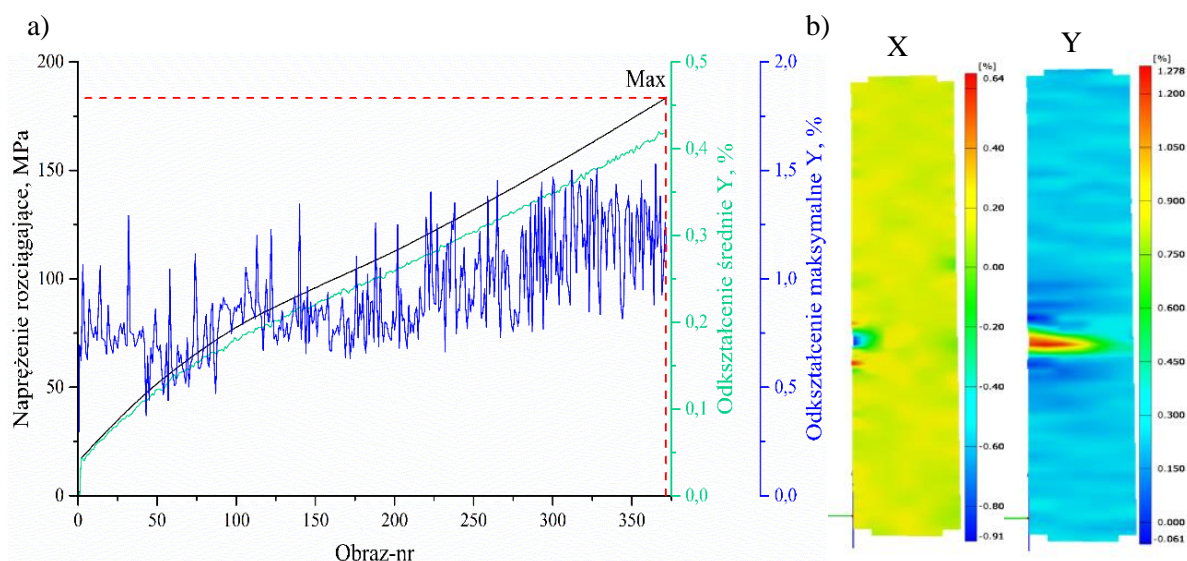
zmniejszenia wartości różnicy w rezystywności, określonych w kierunku zgodnym z przepływem żywicy w trakcie jej infuzji – OX i prostopadłym – OY. Ustalono jednocześnie, że grafen powoduje zmniejszenie rezystywności kompozytów oraz ogranicza niekorzystne oddziaływanie napełniaczy na właściwości mechaniczne kompozytów z hybrydową ich zawartością. Efekt ten przypisano równomiernemu rozmieszczeniu cząstek grafenu w osnowie epoksydowej oraz mniejszą lepkością mieszaniny żywicy z zawartością grafenu wykazaną w badaniach reologicznych – ułatwia przesycanie tkaniny i wytworzenie kompozytów o dobrych właściwościach użytkowych. Zróżnicowany wpływ rodzaju i zawartości napełniaczy przewodzących stwierdzono także podczas badań palności (mikrokalorymetr stożkowy). Ustalono, że największe efekty w zmniejszeniu wartości wskaźnika: maksymalnej szybkości wydzielania się ciepła (pHRR), szybkości wydzielania się ciepła (HRR), całkowitej ilości wydzielającego się ciepła (THR) i efektywnie wydzielonego ciepła (EHC) cechują kompozyty z zawartością nanoproszku miedzi-5% mas. jako napełniacza przewodzącego. Również te kompozyty charakteryzują się najmniejszym zagrożeniem ogniowym definiowanym wartością wskaźnika FIGRA. Jednocześnie jednak odznaczają się najmniejszą wytrzymałością na rozciąganie i dużą wartością rezystywności w porównaniu do innych kompozytów z modyfikowaną osnową epoksydową.

W prowadzonych badaniach wykazano dobre oddziaływanie stosowanych uniepalniaczy fosforowych z hybrydową zawartością napełniaczy węglowych w zmniejszeniu wartości wskaźnika pHRR. Przeprowadzona analiza wyników badań aktywności uniepalniaczy pozwala stwierdzić, że jest spowodowana wyłącznie ich aktywnością w fazie gazowej. Kompozyt o zawartości: MG-15%/CB-0,5%/G-0,2% mas. cechował się natomiast największą wydajnością tworzenia zgorzliny. Potwierdza to uzyskana wartość wskaźnika ubytku masy PML. Wskaźnik pHRR uległ więc dalszemu zmniejszeniu do 42,6%, i jest spowodowany dodatkowym działaniem ochronnym tworzącej się zgorzliny.

Analiza uzyskanych wyników próby konduktywności i odporności na płomień kompozytów stanowią podstawę do określenia ich odporność na wyładowania atmosferyczne. W trakcie badań odporności na wyładowania atmosferyczne równolegle prowadzono pomiary rezystywności kompozytów w próbie wyładowań elektrycznych symulacji uderzenia pioruna zgodnie z opracowaną procedurą (współautorstwo patentu – II-5.p.2. – załącznik nr 4.). W wykonanej analizie porównawczej uzyskanych wyników ustalono, że kompozyty z zawartością sadzy, sadzy z grafitem oraz mieszaniny sadzy, grafitu i grafenu cechuje

najmniejsza rezystywność. Mają także zbliżoną wartość rezystywności określonej podczas kolejnej próby wyładowania impulsów prądu. W celu weryfikacji odporności kompozytów na wyładowania atmosferyczne wykonano analizę porównawczą właściwości mechanicznych określonych w próbie statycznej rozciągania próbek wyciętych z płyt kompozytowych po próbie wyładowania dla określonej ich odległości od miejsca oddziaływania impulsu prądu o dużym natężeniu. Analiza wyników próby statycznej rozciągania kompozytów przewodzących po próbie symulacji wyładowania atmosferycznego wskazuje na zależność od ich określonej rezystywności. Mniejsza wytrzymałość na rozciąganie kompozytów jest spowodowana powstałymi uszkodzeniami wewnętrznymi zarówno osnowy, jak i włókna umacniającego. Kompozyty o osnowie żywicy epoksydowej z zawartością napełniaczy przewodzących charakteryzują się dobrą odpornością na impulsy prądu o dużym natężeniu, wykonane w próbach symulacji wyładowania piorunowego. Największe obniżenie wytrzymałości na rozciąganie cechuje kompozyt o osnowie niemodyfikowanej żywicy epoksydowej z miejscem przyłożenia impulsu prądu. Ustalono, że ze zwiększeniem odległości od miejsca oddziaływania impulsu prądu wzrasta wytrzymałość na rozciąganie kompozytu. W największej odległości od miejsca przyłożenia impulsu prądu uzyskano wytrzymałość kompozytu zbliżoną do jej wartości wyjściowej – przed próbą wyładowań impulsów prądu. Należy jednak podkreślić, że uzyskana wytrzymałość na rozciąganie tego kompozytu jest najmniejsza spośród ustalonej w tej odległości wytrzymałości wszystkich badanych kompozytów. Ustalono, że największą odporność na wyładowania atmosferyczne mają kompozyty z zawartością sadzy-0,5% mas., sadzy-0,75% mas. z grafenem-0,2% mas. oraz mieszaniny: sadzy-0,5% mas., grafitu-15% mas. i grafenu-0,2% mas.

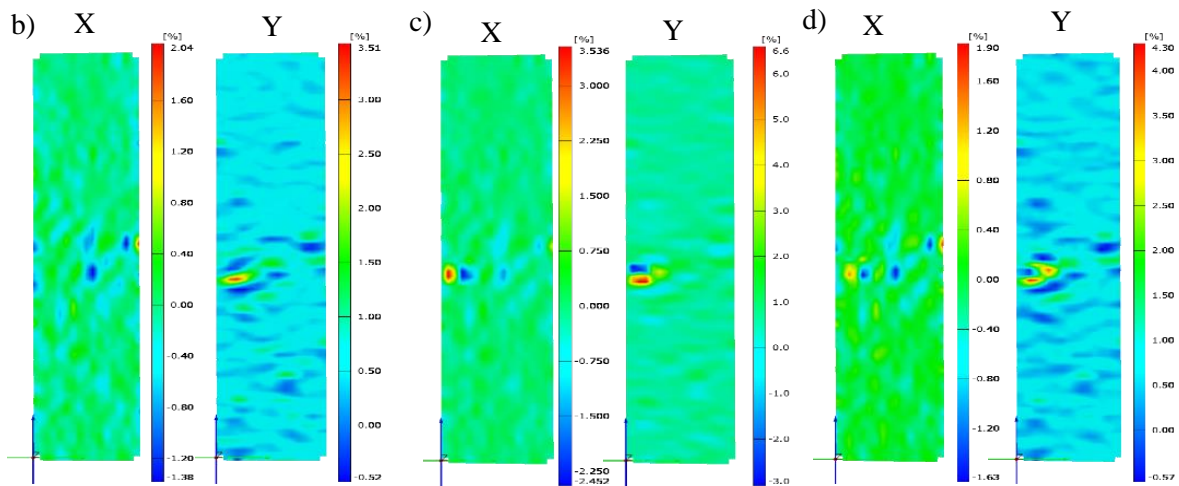
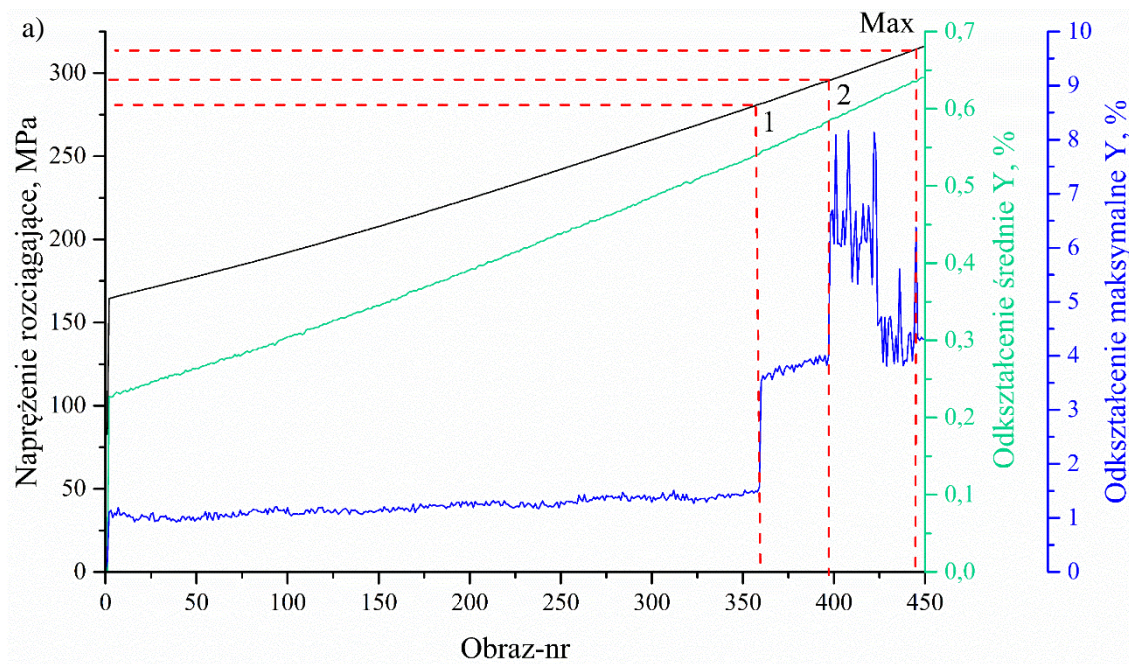
Analiza cyfrowa uzyskanych obrazów stanowiła podstawę charakteryzacji stopnia odkształcenia w kierunku osi X i Y powierzchni kompozytu w miejscu oddziaływania impulsu elektrycznego (próbka I). Określona zależność naprężenia od odkształcenia średniego i maksymalnego dla próbek kompozytów z lokalnym oddziaływaniem impulsu prądu ujawniła katastroficzne zniszczenie dla niemodyfikowanego kompozytu (rys. 8a). Ustalono, że odkształcenie na powierzchni niemodyfikowanego kompozytu jest najmniejsze spośród badanych materiałów kompozytowych (rys. 8b). Uzyskane krzywe zależności naprężenie-odkształcenie umożliwiły wyodrębnienie kilku etapów wzrostu odkształceń maksymalnych dla kompozytów z zawartością napełniaczy przewodzących (rys. 9.). Świadczą o stopniowym wzroście rozmiarów uszkodzenia od impulsów elektrycznych. Oddziałują na zwiększenie



Rys. 8. Zależność naprężenia i odkształcenia średniego i maksymalnego w próbie statycznej rozciągania (a), oraz rozkład odkształcenia w kierunku osi X i Y dla maksymalnego naprężenia (b) dla kompozytu z osnową niemodyfikowanej żywicy

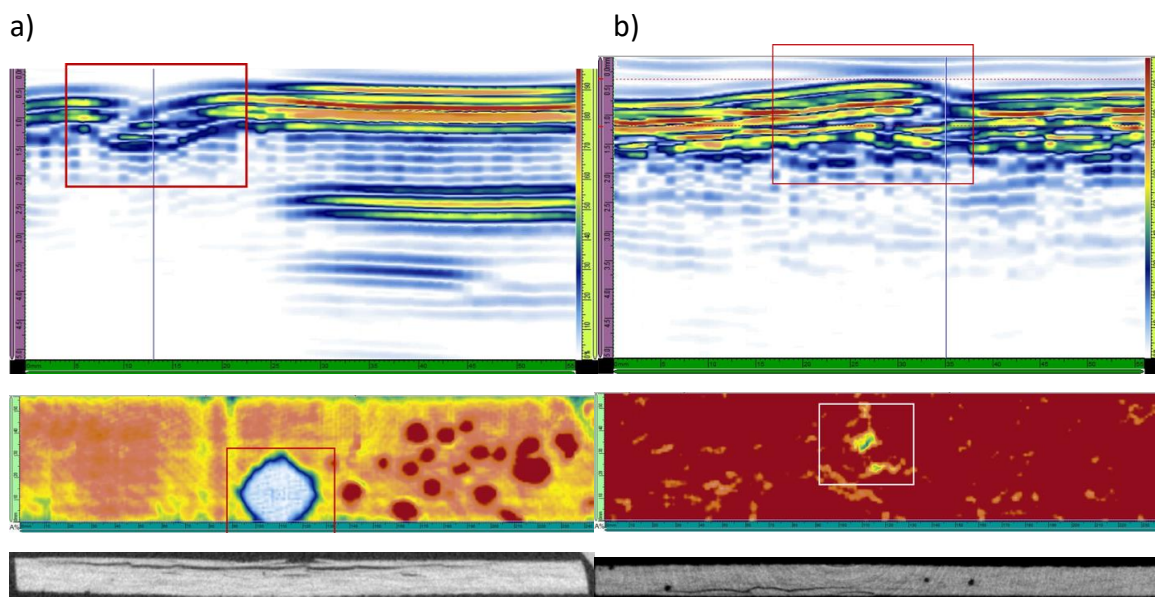
dopuszczalnych obciążeń maksymalnych dla wytworzonych kompozytów. W badaniach ultradźwiękowych, uzupełnionych analizą tomografii komputerowej, wykazano, że nagłe zniszczenie kompozytu z osnową niemodyfikowanej żywicy w próbie statycznej rozciągania jest spowodowane wytworzeniem dużego uszkodzenia o średnicy 40 mm w miejscu oddziaływania impulsu prądu. Uszkodzenie cechuje się rozpadem cieplnym osnowy, zniszczeniem włókien 1. warstwy oraz ich delaminacją w warstwie wierzchniej kompozytu (rys. 10a). Oddziaływanie napełniaczy oraz uniepalniaczy fosforowych zależy od stopnia ograniczenia procesu pirolizy żywicy. Prowadzi także do ograniczenia rozmiarów delaminacji struktury międzywarstwowej kompozytów. W prowadzonej analizie morfologii powstałych wewnętrznych uszkodzeń stwierdzono, że wprowadzenie hybrydowej zawartości napełniaczy przewodzących lub wyłącznie sadzy-0,5% do osnowy epoksydowej wpływa na zmniejszenie ich rozmiarów (rys. 10b).

Przeprowadzone prace badawcze potwierdziły, że jedną z metod poprawy właściwości funkcjonalnych kompozytów polimerowych jest zastosowanie hybrydowej mieszanki modyfikatorów o synergicznym efekcie ich oddziaływania na określone właściwości użytkowe. Dotyczy zwiększenia odporności na płomień oraz ograniczenia dymotwórczości poprzez wprowadzenie uniepalniaczy fosforowych na różnym stopniu utlenienia fosforu oraz boranu cynku i modyfikowanych glinokrzemianów warunkujące ich oddziaływanie



Rys. 9. Zależność naprężenia i odkształcenia średniego i maksymalnego w próbie rozciągania (a), oraz rozkład odkształcenia w kierunku osi X i Y w pkt. 1 (b) i pkt. 2 (c) oraz dla maksymalnego naprężenia (d) dla kompozytu z hybrydową zawartością napełniaczy przewodzących: grafitu-15%, sadzy-0,5% oraz grafenu-0,2% mas.

w fazie gazowej i w fazie stałej. Wykonano także badania opracowanych i wytworzonych kompozytów dla określenia ich odporności na wyładowania atmosferyczne poprzez zastosowanie napełniaczy przewodzących o różnej morfologii cząstek poprawiających konduktywność osnowy polimerowej, także uniepalniaczy fosforowych ograniczających zapłon osnowy w miejscu uderzenia pioruna.



Rys. 10. Obrazowanie typu C i typu D oraz obraz przekroju próbki w płaszczyźnie XY uzyskany metodą CT w miejscu uszkodzenia kompozytu o osnowie niemodyfikowanej żywicy (a) oraz modyfikowanej żywicy epoksydowej z hybrydową zawartością napętniaczy przewodzących: grafitu-15%, sadzy-0,5% oraz grafenu-0,2% mas. (b) - po badaniach symulacji wyładowań piorunowych

4.3.3. Podsumowanie prowadzonych badań pracy naukowo-badawczej i osiągniętych rezultatów

Przeprowadzone badania i uzyskane ich wyniki stanowiły podstawę określenia wpływu czynników technologicznych na właściwości funkcjonalne kompozytów epoksydowo-włóknistych. Rozszerzyły wiedzę z zakresu jednoczesnego ograniczania palności i dymotwórczości kompozytów polimerowych, oraz ich odporności na efekty wyładowań atmosferycznych przy uwzględnieniu procesów ich wytwarzania i zachowania zdolności do przenoszenia dużych obciążeń. Stopień oddziaływania przyjętych i stosowanych w badaniach modyfikatorów na właściwości funkcjonalne kompozytów określono przez opracowanie kompleksowej metodyki badawczej. Dla kompozytów umocnionych włóknem szklanym wykonano ilościową i jakościową analizę aktywności uniepalniaczy zarówno w fazie gazowej, jak i również w fazie stałej procesu spalania. Była uzupełniona o analizę składu fazowego i chemicznego produktów rozpadu procesu spalania. Wykonana analiza porównawcza umożliwiła określenie efektu synergii oddziaływania wprowadzonych uniepalniaczy oraz ich indywidualnego oddziaływania dla określonych kryteriów oceny właściwości funkcjonalnych wytworzonych kompozytów.

Istotnym rozwiązaniem uzyskanym w prowadzonych pracach było także ustalenie wpływu zawartości napelnaczy przewodzących i uniepalniaczy na odporność na wyładowania atmosferyczne kompozytów epoksydowych umocnionych włóknem węglowym. Realizacja tego zadania badawczego wymagała opracowania metodyki badań rezystywności w warunkach: (1) niskiego napięcia prądu stałego i (2) dużego natężenia prądu – symulacja wyładowań elektrycznych podczas uderzenia pioruna, oraz oceny morfologii powstałych wewnętrznych uszkodzeń – degradacja kompozytu.

Realizacja tych badań wymagała prawidłowego doboru parametrów technologicznych procesu wytwarzania kompozytów. Wykonano charakterystykę reologiczną i reaktywności zmodyfikowanych żywic epoksydowych, oraz ocenę morfologii ich mikrostruktury, także określono właściwości mechaniczne wytworzonych kompozytów.

Analiza uzyskanych wyników badań realizowanych w obszarze funkcjonalnych materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej i umocnionych włóknem pozwala na wykazanie następujących jej rezultatów o charakterze poznawczym i technologicznym.

- Opracowanie i wytworzenie kompozytów epoksydowych umocnionych włóknem szklanym o zwiększonej odporności na płomień oraz mniejszej gęstości i toksyczności wydzielanych dymów, poprzez wprowadzenie mieszaniny hybrydowej zawartości uniepalniaczy fosforowych o różnym stopniu utlenienia fosforu i modyfikowanych glinokrzemianów warstwowych cechujących się dużym efektem synergii oddziaływania. Uwzględniono zdolność wytworzonych kompozytów do ich aplikacji przyjmując kryteria właściwości mechanicznych, także technologicznych dotyczących przetwarzania żywicy epoksydowej.
- Określenie wpływu hybrydowej mieszaniny uniepalniaczy fosforowych o różnym stopniu utlenienia fosforu, oraz boranu cynku i modyfikowanych glinokrzemianów warstwowych na mechanizm ich oddziaływania w fazie gazowej i stałej procesu spalania. Opracowano i przyjęto kryteria oceny poprawy odporności na płomień i zmniejszenia gęstości oraz toksyczności wydzielanych dymów. Ocenę uzupełniono o kompleksową analizę składu fazowego produktów spalania w fazie gazowej i stałej.
- Ustalenie stopnia wpływu modyfikowanego glinokrzemianu warstwowego na wydzielanie się tlenku węgla w procesie spalania kompozytów oraz jego oddziaływania z boranem cynku na wydajność tworzenia zgorzeli - występowanie efektu synergii pomiędzy tymi składnikami.

- Wykazanie zróżnicowanego oddziaływania boranu cynku z uniepalniaczami: polifosforanem amonu i dipentaerytryolem oraz polifosforanem melaminy i dietylofosfinianem glinu w zmniejszeniu zagrożenia pożarowego, także gęstości i jakości wydzielanych dymów - zdolność do tworzenia wydajnej zgorzeliny w fazie stałej.
- Opracowanie i wytworzenie kompozytów epoksydowych umocnionych włóknem węglowym o zwiększonej odporności na wyładowania atmosferyczne poprzez zastosowanie hybrydowej mieszaniny napełniaczy przewodzących o różnej morfologii cząstek oraz uniepalniaczy fosforowych. Analiza morfologii uszkodzeń wykazuje zmniejszenie rozmiarów defektów. Cechuje się ograniczeniem obszaru pirolizy osnowy i delaminacji 1. warstwy włókien powstałych w próbie symulacji wyładowań pioruna, - potwierdzono w próbie statycznej rozciągania i cyfrowej korelacji obrazów odkształcania kompozytu w stanie rzeczywistym podczas próby.
- Wykazanie zależności pomiędzy konduktywnością, odpornością na płomień i odpornością na efekty wyładowań atmosferycznych kompozytów epoksydowych umocnionych włóknem węglowym. Hybrydowa zawartość napełniaczy przewodzących zapewnia największą konduktywność kompozytów oraz poprawia ich odporność na płomień – zwiększa się wydajność tworzenia zgorzeliny o cechach bariery - umożliwia jednocześnie oddziaływanie uniepalniaczy w fazie gazowej.
- Ustalenie wpływu modyfikowanych glinokrzemianów warstwowych, także napełniaczy przewodzących i uniepalniaczy na właściwości reologiczne i reaktywność żywic epoksydowych z uwzględnieniem warunków procesu wytwarzania kompozytów. Wykazano, że istotnym czynnikiem oddziałującym na reaktywność żywic epoksydowych z zawartością modyfikowanych bentonitów jest rodzaj czwartorzędowej soli, katalizującej proces sieciowania. Podobny efekt stwierdzono po wprowadzeniu dodatku boranu cynku. Ustalono także, że dietylofosfinian glinu ogranicza pełne usieciowanie osnowy epoksydowej i utrudnia wytwarzanie kompozytów epoksydowych.
- Wykazanie, że wprowadzenie cząstek grafenu oraz glinokrzemianów warstwowych jako nanonapełniaczy poprawiających właściwości funkcjonalne kompozytów odpowiednio odporność na wyładowania atmosferyczne i właściwości palno-dymowe, jednocześnie korzystnie wpływa na właściwości mechaniczne kompozytów.

Rezultaty prowadzonych badań i ich analiza stanowią próbę kompleksowej oceny wpływu zastosowania hybrydowej mieszaniny modyfikatorów w kompozytach epoksydowo-

włóknistych na ich właściwości funkcjonalne – palność, dymotwórczość i odporność na wyładowania atmosferyczne. Szczególnie uwzględniono właściwości przetwórcze żywicy w procesie wytwarzania - prasowania i infuzji. Ich charakterystykę uzupełniono o analizę strukturalną i właściwości mechaniczne kompozytów umocnionych włóknami. Nowatorski charakter prowadzonych prac badawczych, także ich innowacyjność potwierdza uzyskanie na ich podstawie 3 patentów i 2 zgłoszenia patentowe. Ponadto część opublikowanych rezultatów badań interdyscyplinarnych jest efektem realizowanych pod moim kierownictwem dwóch projektów z zespołami naukowymi Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej oraz Wydziału Elektrotechniki i Informatyki Politechniki Rzeszowskiej.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Pracę naukowo-badawczą rozpocząłem podczas realizacji pracy magisterskiej na Wydziale Chemicznym Politechniki Rzeszowskiej pt. „*Kompozyty polimerów syntetycznych z modyfikowanymi bentonitami*” pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Mariusza Oleksego. Po obronie pracy magisterskiej i ukończeniu studiów w 2010 roku kontynuowałem badania nad zastosowaniem modyfikowanych glinokrzemianów warstwowych w technologii kompozytów polimerowo-włóknistych. Jednocześnie uczestniczyłem w studiach doktoranckich w Instytucie Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera Polskiej Akademii Nauk w Krakowie. Badania własne realizowałem w ramach projektu kluczowego “Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym” nr POIG.01.01.02-00-015/08-00, zadanie badawcze nr 6, pod kierunkiem dr hab. inż. Macieja Heneczkowskiego. Efektem realizowanych prac było opracowanie technologii kompozytów epoksydowo-włóknistych o klasie palności V0, która została opatentowana a wyniki przedstawione na 6 konferencjach i opublikowane w 3 artykułach.

1. **Oliwa R.**, Heneczkowski M., Oliwa J., Oleksy M.: *Mechanical strength of epoxy/organoclay/carbon fiber hybrid composites*, Polimery, 2017, 62, 658-665.
2. **Oliwa R.**, Oleksy M., Heneczkowski M., Galina H., Czech-Polak J.: *Sposób otrzymywania uniepalnionej kompozycji matocząsteczkowej żywicy epoksydowej*, patent nr PL225910 (2017 r.).

3. **Oliwa R.**, Heneczkowski M., Oleksy M., Galina H.: *Epoxy composites of reduced flammability, Composites Part B Engineering*, 2016, 95, 1-8.
4. **Oliwa R.**, Heneczkowski M., Oleksy M., Czech-Polak J.: *Laminaty epoksydowe o zwiększonej odporności na płomień*, Mat: 8. Kongresu Technologii Chemicznej "Surowce - energia - materiały", 30.08.-04.09.2015, Rzeszów.
5. **Oliwa R.**: *Kompozyty epoksydowe do zastosowań w lotnictwie*, Mat. XVIII. Profesorskich Warsztatów Naukowych "Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych", 02-04.07.2015, Brodowo.
6. **Oliwa R.**, Heneczkowski M., Oleksy M., Galina H.: *Laminaty epoksydowe o zwiększonej odporności na płomień*, Mat. Konferencji: Materiały Polimerowe, Pomerania-Plast, 04-07.06.2013, Międzyzdroje.
7. Oleksy M., Heneczkowski M., **Oliwa R.**, Galina H.: *Hybrid composite resins used in aerospace*, NANOCOMPOSITES MoDeSt Workshop, 8-10.09.2013, Warszawa.
8. **Oliwa R.**, Galina H., Heneczkowski M., Mossety-Leszczak B., Oleksy M., Murias P., Ostyńska P., Zawila B.: *Composite materials of improved toughness and thermal stability for aviation industry*, 16th Dresden Lightweight Engineering Symposium, 14-15.06.2012, Drezno.
9. Oleksy M., **Oliwa R.**, Heneczkowski M., Mossety-Leszczak B., Galina H., Budzik G.: *Composites of epoxy resin with modified bentonites for aviation industry*, *Polimery*, 2012, 57, 228-235.
10. **Oliwa R.**, Oleksy M., Heneczkowski M., Galina H.: *Kompozyty na osnowie żywicy epoksydowej stosowane w przemyśle lotniczym*, Mat. XX. Konferencji *Modyfikacja Polimerów*, 12-14.09.2011, Wrocław.

Po obronie pracy doktorskiej pt. „*Kompozyty epoksydowe do zastosowań w lotnictwie*” w dniu 14 stycznia 2015 roku, zostałem zatrudniony w Katedrze Technologii i Materiałoznawstwa Chemicznego na Wydziale Chemicznym Politechniki Rzeszowskiej. Badania własne realizowałem między innymi w zakresie opracowania kompozytów przekładkowych typu sandwich o zwiększonej odporności na płomień oraz kompozytów epoksydowych z dodatkiem nowej grupy ciekłych uniepalniaczy fosforowych, określenia wpływu rodzaju i zawartości modyfikowanych glinokrzemianów warstwowych na

reaktywność żywic epoksydowych oraz na właściwości mechaniczne kompozytów żywic syntetycznych, także umocnionych włóknem aramidowym. Efektem realizowanych prac są cztery publikacje naukowe o zasięgu międzynarodowym oraz dwa patenty. Wyniki zostały zaprezentowane także na dwóch konferencjach:

1. **Oliwa R.**: *The mechanical properties of Kevlar fabric/epoxy composites containing aluminosilicates modified with quaternary ammonium and phosphonium salts*, *Materials*, 2020, 13, 3726.
2. **Oliwa R.**: *Compositions of unsaturated polyester resins used for facing layers of laminates*, *Polimery*, 2020, 65, 738-742.
3. **Oliwa R.**: *Epoxy resin compositions containing liquid phosphorus flame retardants used in infusion technology*, *Polimery*, 2020, 65, 578-581.
4. **Oliwa R.**, Oliwa J., Bulanda K., Oleksy M., Budzik G.: *Effect of modified bentonites on the crosslinking process of epoxy resin with aliphatic amine as curing agent*, *Polimery*, 2019, 64, 499–503.
5. **Oliwa R.**, Czech-Polak J., Oleksy M., Heneczkowski M.: *Sposób otrzymywania ognioodpornych kompozytów przekładkowych typu Sandwich*, patent nr PL230476 (2018 r.).
6. Oleksy M., Heneczkowski M., Galina H., **Oliwa R.**, Oliwa J., Szałański P.: *Sposób modyfikacji bentonitu*, patent nr PL226833 (2018 r.).
7. Czech-Polak J., **Oliwa R.**, Heneczkowski M., Oleksy M.: *Kompozyty przekładkowe typu „sandwich” o podwyższonej ognioodporności*, Mat. VI. Konferencji Naukowej "Materiały Polimerowe Pomierania-Plast 2016", 07-10.06.2016, Międzyzdroje.
8. Czech-Polak J., **Oliwa R.**, Heneczkowski M., Oleksy M.: *Kompozyty przekładkowe typu "sandwich" o ograniczonej palności*, Mat. 8. Kongresu Technologii Chemicznej "Surowce - energia - materiały", 30.08.-04.09.2015, Rzeszów.

W 2016 roku odbyłem półroczny naukowy staż podoktorski na Wydziale Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej w Zakładzie Projektowania Materiałów, kontynuując prace naukowe z zakresu kompozytów polimerowo-włóknistych. Dotyczyły projektowania i analizy numerycznej oraz monitorowania wad kompozytów polimerowych. Uzyskane wyniki przedstawiono na 2 konferencjach krajowych. Ponadto, praca pt. „Modelowanie i analiza

właściwości hybrydowych kompozytów włóknistych” zdobyła I. miejsce w konkursie na Najbardziej Innowacyjny Produkt/Technologię podczas sesji posterowej konferencji Pomerania Plast 2016.

1. **Oliwa R.**, Oliwa J., Jurczyk-Kowalska M., Oleksy M.: *Laminaty epoksydowo-szklane z dodatkiem nanokrzemionki*, Mat. XIX. Profesorskich Warsztatów Naukowych "Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych", 10-12.06.2018, Sulejów.
2. **Oliwa R.**, Gołębiowski Ł., Kurzydłowski K.: *Modelowanie i analiza właściwości hybrydowych kompozytów włóknistych*, Mat. VI. Konferencji Naukowej "Materiały Polimerowe Pomerania-Plast 2016", 07-10.06.2016, Międzyzdroje.
3. **Oliwa R.**, Heneczkowski M., Oleksy M., Kurzydłowski K.: *Kompozyty epoksydowe wzmocnione włóknem aramidowym*, Mat. VI. Konferencji Naukowej "Materiały Polimerowe Pomerania-Plast 2016", 07-10.06.2016, Międzyzdroje.

W trakcie odbywania stażu koordynowałem opracowanie wniosku projektu z firmą SZ.T.K. TAPS Maciej Kowalski, i który uzyskał dofinansowanie. W trakcie realizacji projektu, także przy współpracy z pracownikami Zakładu Projektowania Materiałów Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej realizowałem badania w zakresie określenia wpływu uniepalniaczy fosforowych na właściwości mechaniczne oraz wskaźniki palno-dymowe kompozytów epoksydowych. Badania te rozszerzyłem o zagadnienia zagospodarowania odpadów poprodukcyjnych laminatów - recykling mechaniczny. Efektem prowadzonych prac są 4 publikacje o zasięgu międzynarodowym. Uzyskane wyniki zostały także zaprezentowane na konferencji krajowej.

1. **Oliwa R.**, Bulanda K., Oleksy M., Ostyńska P., Budzik G., Płocińska M., Krauze S.: *Fire resistance and mechanical properties of powder-epoxy composites reinforced with recycled glass fiber laminate*, Polimery, 2020, 65, 280-288.
2. **Oliwa R.**, Bulanda K., Oleksy M., Budzik G., Krauze S.: *Analysis of mechanical properties and distribution of deformation during the shear of polymer-fiber composites containing flame retardants*, Polimery, 2020, 65, 387–393.
3. **Oliwa R.**: Oleksy M., Czech-Polak J., Płocińska M., Krauze S., Kowalski M.: *Powder-epoxy resin/glass fabric composites with reduced flammability*, Journal of Fire Sciences, 2019, 37, 155–175.

4. **Oliwa R.**, Oleksy M., Oliwa J., Węgier A., Krauze S., Kowalski M.: *Fire resistant glass fabric-epoxy composites with reduced smoke emission*, Polimery, 2019, 64, 290–293.
5. **Oliwa R.**, Oleksy M., Krauze S., Węgier A., Kowalski M.: *Uniepalnione kompozyty epoksydowo-szklane o zmniejszonej intensywności wydzielania dymów*, Mat. XIX. Profesorskich Warsztatów Naukowych "Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych", 10-12.06.2018, Sulejów.

Realizowana przeze mnie tematyka badawcza dotycząca ognioodporności materiałów polimerowych skutkowała także nawiązaniem współpracy z zespołem prof. dr hab. inż. Joanny Ryszkowskiej z Zakładu Materiałów Ceramicznych i Polimerowych Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej. W ramach współpracy realizowałem badania z zakresu charakterystyki właściwości użytkowych kompozytów polimerowych. Ponadto, wspólnie zrealizowany projekt (II-9.p.5. POIR.01.01.01-00-0805/16 - załącznik nr 4) pt.: „Opracowanie innowacyjnej technologii ekranów akustycznych Naturacustic® służących do ochrony przed hałasem generowanym wokół ciągów komunikacyjnych” w ramach konkursu tzw. „Szybka ścieżka” z lokalną firmą Molter Sp. z o.o. oraz utworzony interdyscyplinarny zespół wykonawców także z Politechniki Bydgoskiej im. J. J. Śniadeckich skutkowało powstaniem 3 publikacji naukowych o zasięgu międzynarodowym i 1 patentu. Celem prowadzonych prac było m.in. opracowanie technologii pianek poliuretanowych z zawartością uniepalniaczy i napełniaczy naturalnych, cechujących się zwiększoną dźwiękochłonnością i odpornością na płomień, także kompozytów z osnową polichlorku winylu z zawartością napełniaczy naturalnych. Uzyskane wyniki przedstawiono również na 3 konferencjach krajowych:

1. **Oliwa R.**, Ryszkowska J., Oleksy M., Auguścik-Królikowska M., Gzik M., Bartoń J., Budzik G.: *Effects of various types of expandable graphite and blackcurrant pomace on the properties of viscoelastic polyurethane foams*, Materials, 2021, 14, 1801.
2. Mirowski J., **Oliwa R.***, Oleksy M., Rój E., Tomaszewska J., Mizera K., Ryszkowska J.: *Composites of poly(vinyl chloride) with residual hops after supercritical extraction in CO₂*, Polymers, 2021, 13, 2736.
3. Mirowski J., **Oliwa R.***, Oleksy M., Tomaszewska J., Ryszkowska J., Budzik G.: *Poly(vinyl chloride) composites with raspberry pomace filler*, Polymers, 2021, 13, 1079.

4. Auguscik-Krolikowska M., Ryszkowska J., Ambroziak A., Szczepkowski L., **Oliwa R.**, Oleksy M.: *The structure and properties of viscoelastic polyurethane foams with fillers from coffee grounds*, Polimery, 2020, 65, 708-718.
5. Ryszkowska J., **Oliwa R.**, Ostyńska P., Bichajło L.: *Sposób wytwarzania elastycznej pianki poliuretanowej z recyklingu PET*, patent nr PL242585 (2023 r.).
6. Ryszkowska J., Leszczyńska M., Auguścik M., Bryskiewicz A., Polka M., Kukfisz B., Wierzbicki L., Aleksandrowicz J., Szczepkowski L., **Oliwa R.**: *Cores of composite structures made of semi-rigid foams for use as protecting shields for firefighters*, Polimery, 2018, 63, 125-133.
7. Ryszkowska J., Auguścik M., Kurańska M., **Oliwa R.**, Czech-Polak J., Prociak A.: *Preparation and characterization of poly(urea-urethane) elastomers synthesized from rapeseed oil-based polyols. Part II. thermal properties*, Polimery, 2017, 62, 134-141.
8. **Oliwa R.**, Ostyńska P., Oleksy M., Ryszkowska J., Markowski T., Molter Ł.: *Dźwiękochłonne pianki poliuretanowe o zwiększonej odporności na płomień*, Konferencja: XIX Profesorskie Warsztaty Naukowe "Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych", 10-12.06.2018, Sulejów.
9. **Oliwa R.**, Ostyńska P., Oleksy M., Ryszkowska J., Markowski T., Molter Ł.: *Dźwiękochłonne pianki poliuretanowe o poprawionych właściwościach użytkowych*, Konferencja: III Krajowa Konferencja Naukowa "Szybkie Prototypowanie Modelowanie – Wytwarzanie – Pomiary w Strukturze Przemysłu 4.0", 12-14.09.2018, Rzeszów.
10. **Oliwa R.**, Ostyńska P., Oleksy M., Ryszkowska J., Bulanda K., Markowski T., Molter Ł.: *Elastyczne pianki poliuretanowe o zwiększonej odporności na płomień*, VII Konferencja Naukowa: Materiały Polimerowe Pomerania-Plast, 05-9.06.2019, Międzyzdroje

Moja działalność naukowo-badawcza w zakresie modyfikacji osnowy polimerowej, także w kompozytach wzmocnionych włóknami skutkowało podjęciem wspólnych badań naukowych również z naukowcami z Politechniki Poznańskiej. Uzyskane ich wyniki przedstawiono w 2 publikacjach naukowych. Efektem prowadzonych wspólnych prac było także opracowanie technologii kompozytów polimerowych z zawartością nowych nanonapełniaczy i napełniaczy hybrydowych na zlecenie firm branżowych lub w trakcie realizacji projektów badawczo-rozwojowych.

1. Pietryka R., Pietryka W., Pietryka W., Budzik G., Heneczkowski M., Oleksy M., **Oliwa R.**, Jesionowski T.: *Hybrydowe kompozycje poliestrowych farb proszkowych*, patent nr PL236450 (2021 r.).
2. Mitura K., Mitura M., Oleksy M., **Oliwa R.**, Budzik G., Bulanda K., Ciesielczyk F.: *Sposób otrzymywania granulowanych mieszanek na osnowie recyklatów polipropylenowych umacnianych hybrydowymi napełniaczami*, zgłoszenie patentowe nr P.429776 (2019 r.).
3. Zawisza R., Mitura K., Oleksy M., Budzik G., Bulanda K., **Oliwa R.**, Klapiszewski Ł., Jesionowski T.: *Method of preparing mixtures based on recycle polypropylene/polyamide/polyethylene reinforced with nanofillers*, zgłoszenie patentowe nr P.429551 (2019 r.).
4. Oleksy M., **Oliwa R.**, Budzik G., Zaborniak M., Markowska O., Ryszkowska J., Jesionowski T.: *Compositions of modified powder paints. Part 1: Hybrid compositions for polyester powder paints*, *Polimery*, 2018, 63, 762-771.
5. Klapiszewski L., **Oliwa R.**, Oleksy M., Jesionowski T.: *Calcium lignosulfonate as eco-friendly additive for crosslinking fibrous composites with phenol-formaldehyde resin matrix*, *Polimery*, 2018, 63, 102-108.

Współpracowałem w tym czasie z innymi jednostkami naukowymi w Polsce podczas realizacji projektów jako wykonawca m.in. II-9.p.8. LIDER/035/355/L-5/13/NCBR/2014 pt.: *Wysokozaawansowane spoiwa klejowe do konstrukcji lotniczych* pod kierownictwem dr hab. inż. Agnieszki Kowalczyk z ZUT w Szczecinie. Opracowałem badania z wykorzystaniem metody cyfrowej korelacji obrazu do analizy lokalnych odkształceń oraz do wyznaczenia stałych materiałowych elementów wytworzonych w technologii FDM. Także prowadziłem badania odporności na płomień materiałów polimerowych. Opracowano wspólnie artykuły naukowe. We współpracy z naukowcami Przemysłowego Instytutu Automatyki i Pomiarów PIAP w Warszawie powstały dwie publikacje:

1. Cader M., **Oliwa R.**, Markowska O., Budzik G.: *Otrzymywanie prototypów części chwytaka robota mobilnego z materiałów polimerowych z wykorzystaniem technologii wytwarzania przyrostowego cz. 1. Właściwości mechaniczne i stałe materiałowe próbek z kopolimeru akrylonitryl-butadien-styren*, *Polimery*, 2017, 62, 27-35.

2. Cader M., **Oliwa R.**, Markowska O., Budzik G.: *Producing mobile robot gripper part prototypes from polymeric materials using additive manufacturing technology. Part I. Mechanical properties and material constants of specimens from acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer*, Polimery, 2017, 62, 27-35.

We współpracy z pracownikami z Centrum Materiałów Polimerowych i Węglowych PAN w Zabrze oraz Uniwersytetu Opolskiego przygotowano publikacje odpowiednio:

Szeluga U., Pusz S., Kumanek B., Myalski J., Hekner B., Tsyntsarski B., **Oliwa R.**, Trzebicka B.: *Carbon foam based on epoxy/novolac precursor as porous micro-filler of epoxy composites*, Compos. Part Appl. Sci. Manuf., 2018, 105, 28-39.

oraz

Niemczyk A., Dziubek K., Sacher-Majewska B., Czaja K., Czech-Polak J., **Oliwa R.**, Lenza J., Szotyga M.: *Thermal stability and flame retardancy of polypropylene composites containing siloxane-silsesquioxane resins*, Polymers, 2018, 10, 1019.

Prowadzę wspólne badania w interdyscyplinarnych zespołach z pracownikami innych wydziałów Politechniki Rzeszowskiej m.in. Wydziałami Budowy Maszyn i Lotnictwa oraz Elektrotechniki i Informatyki dotyczących zastosowania materiałów polimerowych w budowie maszyn. Wykonywałem badania struktury geometrycznej powierzchni z użyciem mikroskopu sił atomowych AFM, także w zakresie opracowania kompozytów polimerów termoplastycznych stosowanych w technologii szybkiego prototypowania. Wiele wyników prowadzonych badań prezentowano na konferencjach oraz opublikowano w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym, także o charakterze aplikacyjnym – 1 patent.

1. Pacana J., Pacana A., **Oliwa R.**: *Possibilities of using selected additive methods for the production of polymer harmonic drive prototypes*, Materials, 2023, 16, 4073.
2. Filik K., **Oliwa R.**, Karnas G., Masłowski G., Bulanda K., Oleksy M., Królczyk J.: *A new method to electrical parameters identification of carbon fiber reinforced composites using lightning disturbances corresponding to subsequent return strokes*, Measurement, 2022, 199, 111546.
3. Krajewski D., Oleksy M., **Oliwa R.**, Bulanda K., Czech K., Mazur D., Masłowski G.: *Methods for enhancing the electrical properties of epoxy matrix composites*, Energies, 2022, 15, 4652.

4. Oleksy M., **Oliwa R.**, Budzik G., Oliwa J., Nędza L.: *Sposób modyfikacji bentonitu*, patent nr PL241102 (2022 r.).
5. Filik K., Karnas G., Masłowski G., Oleksy M., **Oliwa R.**, Bulanda K.: *Testing of conductive carbon fiber reinforced polymer composites using current impulses simulating lightning effects*, *Energies*, 2021, 14, 7899.
6. **Oliwa R.**, Bulanda K., Krajewski D., Czech K., Oleksy M., Budzik G.: *Kompozyty polimerowe stosowane w technologii druku 3D*, Mat. IV. Konferencji Naukowej Szybkie Prototypowanie INDUSTRY 4.0 - Innowacyjne aplikacje dla przemysłu 23-24.09.2021 r., Rzeszów.
7. Sęp J., Gałda L., **Oliwa R.**, Dudek K.: *Surface layer analysis of helical grooved journal bearings after abrasive tests*, *Wear*, 2020, 448, 203233.
8. Pacana J., **Oliwa R.**: *Use of rapid prototyping technology in complex plastic structures Part I. Bench testing and numerical calculations of deformations in harmonic drive made from ABS copolymer*, *Polimery*, 2019, 64, 56-62.
9. Pacana J., **Oliwa R.**: *Use of rapid prototyping technology in complex plastic structures Part II. Impact of operating conditions on functional properties of polymer harmonic drives*, *Polimery*, 2019, 64, 216-223.
10. Oleksy M., Budzik G., Sanocka-Zajdel A., Paszkiewicz A., Bolanowski M., **Oliwa R.**, Mazur L.: *Industry 4.0 part I. selected applications in processing of polymer materials*, *Polimery*, 2018, 63, 531-535.
11. Pacana J., **Oliwa R.**: *Zastosowanie technologii szybkiego prototypowania skomplikowanych konstrukcji z tworzyw polimerowych Część I. Badania stanowiskowe oraz obliczenia numeryczne odkształceń przekładni falowej otrzymanej z kopolimeru ABS*, Konferencja: III. Krajowa Konferencja Naukowa "Szybkie Prototypowanie Modelowanie – Wytwarzanie – Pomiary w Strukturze Przemysłu 4.0", 12-14.09.2018, Rzeszów.
12. **Oliwa R.**, Oleksy M., Heneczkowski M., Budzik G., Markowska O., Przesłowski L.: *Application of vacuum casting technology for manufacturing of polymeric gears prototypes*, *Polimery*, 2017, 62, 36-43.

13. **Oliwa R.**, Oleksy M., Budzik G., Heneczkowski M., Czech-Polak J.: *Nanokompozyty hybrydowe stosowane w technologii Vacuum Casting (VC)*, Konferencja: XXII Krajowa Konferencja Naukowa „Koła Zębate” KZ 2017: "Projektowanie-Wytwarzanie-Pomiary-Eksploatacja" i XX Krajowa Konferencja Naukowa: „Przekładnie Zębate”, 24-26.04.2017, Rzeszów-Pstrągowa.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

6.1. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych

W trakcie studiów doktoranckich oraz po uzyskaniu stopnia doktora i zatrudnieniu na Wydziale Chemicznym Politechniki Rzeszowskiej dotychczas prowadziłem wykłady i laboratoria dla studentów studiów I. i II. stopnia na kierunku Technologia Chemiczna oraz Inżynieria Chemiczna i Procesowa, również dla studentów z programu Erasmus:

Wykłady: Materiały inżynierskie, Projektowanie wyrobów i przetwórstwa tworzyw polimerowych, Komputerowe wspomaganie i symulacja procesów przetwórczych, Kompozyty polimerowe, Konstrukcja form wtryskowych

Laboratoria: Technologia przetwórstwa tworzyw polimerowych, Kompozyty polimerowe, Polimery specjalne, Nanomateriały

Zajęcia projektowe: Komputerowe wspomaganie i symulacja procesów przetwórczych , Projektowanie wyrobów i przetwórstwa tworzyw polimerowych

Ponadto prowadziłem zajęcia na studiach podyplomowych „Konstrukcja form wtryskowych” realizowanych na Wydziale Budowy Maszyn i Lotnictwa z przedmiotu „Analiza reologiczna w konstrukcji form”. Uczestniczyłem także w opracowaniu treści programowych studiów podyplomowych „Kompozyty konstrukcyjne” dla pracowników firmy PZL Mielec oraz prowadziłem zajęcia na ww. studiach: Badania właściwości prototypów kompozytowych, Urządzenia i maszyny do przetwórstwa kompozytów, Polimery stosowane do wytwarzania kompozytów, Technologie materiałów kompozytowych.

Pod moim kierunkiem wykonano 18 prac inżynierskich oraz 21 prac magisterskich i 3 projekty inżynierskie. Byłem promotorem pomocniczym w 2 przewodach doktorskich (prace obronione z wyróżnieniem 6.07.2022 r. i 21.09.2017 r.). Obecnie jestem promotorem pomocniczym w 1 przewodzie doktorskim. Wykonałem także 62 recenzje prac dyplomowych.

Jestem członkiem Wydziałowej Komisji ds. Zapewnienia Jakości Kształcenia oraz jestem opiekunem specjalności Przetwórstwo tworzyw polimerowych na kierunku Inżynieria chemiczna i procesowa.

6.2. Informacja o osiągnięciach organizacyjnych

Uczestniczyłem w organizacji konferencji naukowej oraz byłem członkiem komitetu naukowego 2 konferencji naukowych:

1. V Krajowa Konferencja Naukowa Szybkie Prototypowanie Druk 3D & 4D w zastosowaniach inżynierskich, 19-20.09.2022 r., Kielce – członek Komitetu Naukowego.
2. IV Konferencja Naukowa Szybkie Prototypowanie, INDUSTRY 4.0 - Innowacyjne aplikacje dla przemysłu, 23-24.09.2021 r., Rzeszów – członek Komitetu Naukowego.
3. III Krajowa Konferencja Naukowa "Szybkie Prototypowanie Modelowanie – Wytwarzanie – Pomiary w Strukturze Przemysłu 4.0", 12-14.09.2018 r., Rzeszów – członek Komitetu Organizacyjnego.

W lutym 2023 roku wraz z dr hab. inż. Jackiem Pacaną zostałem edytorem gościnnym numeru specjalnego pt. *"Polymers in Space Exploration and Spacecraft"* w czasopiśmie Polymers (ISSN: 2073-4360).

W latach 2017-2018 byłem członkiem Rady Programowej Preinkubatora Akademickiego Podkarpackiego Parku Naukowo-Technologicznego „Aeropolis”. Brałem udział w ocenie merytorycznej pomysłów oraz w panelu ekspertów oceniających wnioski projektów w ramach programu nr POPW.01.01.01-18-001/18 Platforma Startowa „Start In Podkarpackie” (2019 r.) oraz pełniłem funkcję audytora XVII edycji konkursu INNOWATOR PODKARPACIA 2016 dla mikro, małych i średnich przedsiębiorstw z województwa podkarpackiego.

Od 2021 roku jestem opiekunem zorganizowanego przeze mnie Studenckiego Koła Naukowego „PRzeTwórcy” działającego przy Katedrze Kompozytów Polimerowych Wydziału Chemicznego Politechniki Rzeszowskiej. Jestem także członkiem Rady Gospodarczej Wydziału Chemicznego odpowiedzialnej za kontakt z przedstawicielami firm z branży chemicznej, farmaceutycznej i przetwórstwa tworzyw polimerowych, oraz przedstawicielem Wydziału Chemicznego do kontaktu z Podkarpackim Centrum Innowacji Sp. z o.o. w zakresie weryfikacji potencjału komercjalizacyjnego Wydziału. W latach 2016-2017 uczestniczyłem także w pracach Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej i Międzywydziałowej Komisji Rekrutacyjnej.

W ramach współpracy z otoczeniem gospodarczym biorę udział w pracach badawczych na zlecenie firm. Dotychczas opracowałem opinie o innowacyjności oraz opinie powdrożeniowe dla 10 firm z branży przetwórstwa tworzyw i kompozytów polimerowych.

Brałem także udział w organizacji wizyt studyjnych i certyfikowanych szkoleń dla studentów w firmach branżowych w ramach projektu POWR.03.05.00-00-Z209/17 „Nowa jakość – zintegrowany program rozwoju Politechniki Rzeszowskiej” oraz projektu POWR.03.01.00-00-K082/16 „Kuźnia kluczowych kompetencji studentów Wydziału Chemicznego Politechniki Rzeszowskiej”.

W celu systematycznego podnoszenia swoich kwalifikacji zawodowych biorę udział w licznych szkoleniach zarówno z tematyki dotyczącej badań naukowych, jak również realizowanej dydaktyki m.in. w ramach udziału w projekcie „Nowa jakość – zintegrowany program rozwoju Politechniki Rzeszowskiej” współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego w ramach Programu Operacyjnego Wiedza Edukacja Rozwój – POWR.03.05.00-00-Z209/17.

6.3. Informacja o osiągnięciach popularyzujących naukę

Podczas studiów doktoranckich oraz w trakcie pracy zawodowej aktywnie uczestniczę w corocznym seminarium „Wybrane problemy chemii” na Wydziale Chemicznym Politechniki Rzeszowskiej dedykowanym dla uczniów szkół średnich. W trakcie dwudniowych spotkań prezentowane są stoiska tematyczne związane z prowadzonymi badaniami na WCh, od 2021 roku również Koło naukowe „PRzeTwórcy” prezentuje zagadnienia związane z przetwórstwem tworzyw polimerowych i kompozytów. W latach 2019, 2021 i 2023 na zaproszenie Pani Dziekan Wydziału Chemicznego w ramach seminarium „Wybrane problemy chemii” wygłaszałem wykłady na temat kompozytów polimerowych.

Ponadto w ramach działalności Koła naukowego Przetwórcy od 2021 roku uczestniczę w lokalnych wydarzeniach popularyzujących naukę – coroczne Pikniki Nauki „Moc Odkrywców” oraz „Eksploracje”, na których prezentujemy efekty prac członków koła oraz działalność badawczą w zakresie tworzyw i kompozytów polimerowych.

W 2017 roku w trakcie Marine Industry Forum: Wind and Water w Katowicach wygłosiłem na zaproszenie organizatorów wykład na temat bezpieczeństwa pożarowego materiałów kompozytowych stosowanych w budowie jachtów i jednostek pływających.

7. Pozostałe informacje dotyczące kariery zawodowej (po uzyskaniu stopnia doktora)

7.1. Recenzje artykułów naukowych

W ramach dotychczasowej kariery naukowej zrecenzowałem artykuły w następujących czasopismach:

1. Molecules (ISSN: 1420-3049) – 1 recenzja
2. Buildings (ISSN: 2075-5309) – 1 recenzja
3. Journal of Composites Science (ISSN: 2504-477X) – 1 recenzja
4. Open Chemistry (ISSN: 2391-5420) – 1 recenzja
5. Polimery (ISSN: 0032-2725) – 3 recenzje
6. Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials (ISSN: 1574-1451) – 1 recenzja
7. Polymers (ISSN 2073-4360) – 1 recenzja

7.2. Udział w konferencjach – prezentacje ustne (z wyłączeniem pozycji wymienionych w pkt. 5.)

1. **Oliwa R.**: *Ognioodporne kompozyty polimerowo-włókniste stosowane w kolejnictwie*, XXX Sympozjum PKM, 13-14.09.2022, Opole, On-line, - nagroda za najlepszą prezentację w sesji.
2. **Oliwa R.**, Bulanda K., Oleksy M., Filik K., Karnas G., Masłowski G., Pytel M.: *Carbon fiber-reinforced epoxy composites with improved flame resistant and electrical conductivity*, READ 2020 READ/EWADE, Online-Conference, 21-23.10.2020.
3. Oleksy M., Heneczowski M., **Oliwa R.**, Galina H.: *Nanokompozyty z osnową poli(met)akrylową i nienasyconych poliestrów oraz Nanokompozyty z osnową poliuretanową*, III konferencja sprawozdawcza w ramach projektu Silseskwioksany jako nanonapełniacze i modyfikatory w kompozytach polimerowych, 14-15.02.2012, Dymaczewo.
4. **Oliwa R.**, Heneczowski M., Oleksy M., Galina H.: *Silseskwioksany jako nanonapełniacza i modyfikatory w kompozytach polimerowych*, II konferencja sprawozdawcza w ramach projektu Silseskwioksany jako nanonapełniacze i modyfikatory w kompozytach polimerowych, 21-22.02.2011, Będlewo.

7.3. Udział w konferencjach – prezentacja posteru (z wyłączeniem pozycji wymienionych w pkt. 5.)

1. **Oliwa R.**, Oleksy M., Bulanda K., Krajewski D.: *Epoxy composites with improved flame resistance and electrical conductivity*, 8th International Seminar On Modern Polymericmaterials For Environmental Applications, 17–19.05.2023, Kraków.
2. **Oliwa R.**, Oleksy M., Bulanda K.: *Kompozyty polilaktydu stosowane w technologii druku 3D*, V Krajowa Konferencja Naukowa Szybkie Prototypowanie Druk 3D & 4D w zastosowaniach inżynierskich, 19-20.09.2022, Kielce.
3. **Oliwa R.**, Bulanda K., Krajewski D., Czech K., Oleksy M., Budzik G.: *Kompozyty polimerowe stosowane w technologii druku 3D*, IV Konferencja Naukowa Szybkie Prototypowanie INDUSTRY 4.0 - Innowacyjne aplikacje dla przemysłu 23-24.09.2021, Rzeszów.
4. **Oliwa R.**: *Analiza stanów odkształceń podczas ścinania laminatów polimerowo-szklanych z wykorzystaniem metody Cyfrowej Korelacji Obrazu*, Konferencja: III Krajowa Konferencja Naukowa "Szybkie Prototypowanie Modelowanie – Wytwarzanie – Pomiary w Strukturze Przemysłu 4.0", 12-14.09.2018, Rzeszów.
5. **Oliwa R.**, Heneczkowski M., Oleksy M.: *Zastosowanie systemu Aramis do trójwymiarowego pomiaru lokalnych naprężeń i odkształceń kompozytów*, Konferencja: I Krajowa Konferencja Naukowa "Szybkie Prototypowanie. Modelowanie - Wytwarzanie - Pomiary", 16-18.09.2015, Rzeszów-Pstrągowa.
6. Oleksy M., Heneczkowski M., **Oliwa R.**, Budzik G.: *Polyurethane compositions for rapid prototyping containing bentonites modified with silsesquioxanes*, 3rd Workshop "Green Chemistry and Nanotechnologies in Polymer Chemistry", 24-26.09.2012, Kraków.
7. Galina H., Heneczkowski M., Mossety-Leszczak B., Oleksy M., **Oliwa R.**, Murias P., Ostyńska P., Zawila B.: *Composite materials of improved toughness and thermal stability for aviation industry*, 16th Dresden Lightweight Engineering Symposium, 14-15.06.2012, Drezno.

7.3. Przygotowanie materiałów i posterów na konferencje

1. Bulanda K., Oleksy M., **Oliwa R.**: *Hybrydowe kompozyty polimerowe stosowane w technologii szybkiego prototypowania*, V Krajowa Konferencja Naukowa Szybkie Prototypowanie, Druk 3D & 4D w zastosowaniach inżynierskich, 19-20.09.2022, Rzeszów.

2. Oleksy M., Kroczek K., Bulanda K., **Oliwa R.**: *Kompozyty polilaktydowo-hydroksypatytowe o potencjalnym zastosowaniu w medycynie*, V Krajowa Konferencja Naukowa Szybkie Prototypowanie, Druk 3D & 4D w zastosowaniach inżynierskich, 19-20.09.2022, Rzeszów.
3. Krajewski D., Oleksy M., **Oliwa R.**, Bulanda K., Czech K.: *Methods for enhancing the electrical properties of epoxy matrix composites*, "Selected Issues in Power Engineering, Electrical Engineering and Industry 4.0" PTETIS, 30.11.2022, Rzeszów.
4. Oleksy M., Krajewski D., **Oliwa R.**, Bulanda K., Czech K.: *Materiały polimerowe stosowane na elementy maszyn*, XXX Sympozjum PKM, 13-14.09.2022, Opole.
5. Bulanda K., Oleksy M., **Oliwa R.**, Krajewski D., Czech K., Budzik G., Przeszłowski Ł.: *Kompozyty polimerowe stosowane w technologii szybkiego prototypowania*, XXX Sympozjum PKM, 13-14.09.2022, Opole.
6. Krajewski D., Oleksy M., **Oliwa R.**, Bulanda K., Czech K.: *Wpływ modyfikacji osnowy na przewodnictwo elektryczne kompozytów polimerowych*, XXX Sympozjum PKM, 13-14.09.2022, Opole.
7. Czech K., Oleksy M., **Oliwa R.**, Bulanda K., Krajewski D.: *Modyfikacja osnowy i wzmocnienia przekładkowych kompozytów polimerowych stosowanych w przemyśle zbrojeniowym*, XXX Sympozjum PKM, 13-14.09.2022, Opole.
8. Krajewski D., Czech K., Oleksy M., **Oliwa R.**, Bulanda K.: *The influence of matrix modification on the electrical conductivity of epoxy composites*, 16th Selected Issues of Electrical Engineering and Electronics (WZEE 2021), 13-15.09.2021, Rzeszów.
9. Oleksy M., Bulanda K., **Oliwa R.**, Krajewski D., Czech K., Budzik G.: *Kompozyty polimerowe na osnowie PC/ABS stosowane w technologii szybkiego prototypowania*, IV konferencja Naukowa Szybkie Prototypowanie. INDUSTRY 4.0 – Innowacyjne aplikacje dla przemysłu, 23-24.09.2021, Rzeszów.
10. Bulanda K., Oleksy M., **Oliwa R.**, Krajewski D., Czech K., Budzik G.: *Materiały polimerowe na osnowie PET-G stosowane do wytwarzania przyrostowego w technologii MEM*, IV konferencja Naukowa Szybkie Prototypowanie. INDUSTRY 4.0 – Innowacyjne aplikacje dla przemysłu, 23-24.09.2021, Rzeszów.

11. Bulanda K., Oleksy M., **Oliwa R.**, Budzik G., Przeszłowski Ł.: *Polymer composites with the addition of selected metallic fillers used in Additive Manufacturing Technologies*, READ/EWADE2020 Online-Conference, 21-22.10.2020, Rzeszów.
12. Szczęch D., Lubczak R., **Oliwa R.**, Szpiżyk M.: *Flame retardance of polyurethane foams with starch units*, 7th International Seminar, "Modern Polymeric Materials for Environmental Applications" 7, 15-17.05.2019, Kraków.
13. Bulanda K., Oleksy M., **Oliwa R.**, Budzik G., Przeszłowski Ł.: *Materiały polimerowe stosowane w technologii szybkiego prototypowania*, VII Konferencja Naukowa, Materiały Polimerowe: Pomerania-Plast, 05.06.2019, Międzyzdroje.
14. Bulanda K., Oleksy M., Markowski T., Budzik G., **Oliwa R.**, Przeszłowski Ł.: *Kompozyty polimerowe stosowane w technologii szybkiego prototypowania – filamenty 3D*, XXIX Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, 23-27.09.2019, Lublin.
15. Budzik G., Oleksy M., **Oliwa R.**, Markowska O., Sobolewski B.: *Opracowanie innowacyjnego zespołu wytłaczająco-granulującego do recyklingu trudnych do zagospodarowania odpadów foliowych*, Konferencja: III Krajowa Konferencja Naukowa "Szybkie Prototypowanie Modelowanie – Wytwarzanie – Pomiary w Strukturze Przemysłu 4.0", 12-14.09.2018, Rzeszów.
16. Oleksy M., **Oliwa R.**, Budzik G., Ryszkowska J.: *Hybrydowe kompozycje poliestrowych farb proszkowych*, Konferencja: III Krajowa Konferencja Naukowa "Szybkie Prototypowanie Modelowanie – Wytwarzanie – Pomiary w Strukturze Przemysłu 4.0", 12-14.09.2018, Rzeszów.
17. Bulanda K., Oleksy M., Przeszłowski Ł., **Oliwa R.**, Budzik G.: *Kompozyty hybrydowe stosowane w technologii szybkiego prototypowania*, IV Podkarpacka Konferencja Młodych Naukowców, 16.11.2018, Rzeszów.
18. Oleksy M., Heneczowski M., **Oliwa R.**, Czech-Polak J., Budzik G.: *Zastosowanie programu Autodesk Moldflow Insight do wytwarzania prototypów badawczych polimerowych hybrydowych kół zębatach*, Koła Zębata, 2017, 22-27, ISBN/ISSN: 1895-6408, Konferencja: XXII Krajowa Konferencja Naukowa „Koła Zębata” KZ 2017: "Projektowanie-Wytwarzanie-Pomiary-Eksploatacja" i XX Krajowa Konferencja Naukowa: „Przekładnie Zębata”, 24-26.04.2017, Rzeszów-Pstrągowa.

19. Oleksy M., **Oliwa R.**, Heneczkowski M., Czech-Polak J., Budzik G., Szałajko R.: *Zastosowanie metody Vacuum Casting do wytwarzania prototypów badawczych polimerowych hybrydowych kół zębatach*, Koła Zębata, 2017, 53-56, ISBN/ISSN: 1895-6408, Konferencja: XXII Krajowa Konferencja Naukowa „Koła Zębata” KZ 2017: "Projektowanie-Wytwarzanie-Pomiary-Eksploatacja" i XX Krajowa Konferencja Naukowa: „Przekładnie Zębata”, 24-26.04.2017, Rzeszów-Pstrągowa.
20. Szałajko R., Oleksy M., **Oliwa R.**, Budzik G.: *Ściernice wzmacniane modyfikowanymi siatkami z włókna szklanego stosowane do obróbki kół zębatach*, Konferencja: XXII Krajowa Konferencja Naukowa „Koła Zębata” KZ 2017: "Projektowanie-Wytwarzanie-Pomiary-Eksploatacja" i XX Krajowa Konferencja Naukowa: „Przekładnie Zębata”, 24-26.04.2017, Rzeszów-Pstrągowa.
21. Szałajko R., Oleksy M., **Oliwa R.**, Głowacz-Czerwonka D.: *Nanokompozyty żywicy fenolowo-formaldehdowej stosowane jako impregnat siatek z włókna szklanego*, Konferencja: VI Konferencja Naukowa "Materiały Polimerowe Pomerania-Plast 2016", 07-10.06.2016, Międzyzdroje.
22. Oleksy M., Śliwa R., Heneczkowski M., **Oliwa R.**, Budzik G., Kozik B., Markowska O., Strachota A.: *Kompozyty na osnowie żywicy epoksydowej stosowane w przemyśle lotniczym*, Konferencja: 8 Kongres Technologii Chemicznej "Surowce - energia - materiały", 30.08.-04.09.2015, Rzeszów.
23. Czech-Polak J., Oleksy M., Heneczkowski M., **Oliwa R.**: *Pianki poliuretanowe o zwiększonej ognioodporności*, Konferencja: I Krajowa Konferencja Naukowa "Szybkie Prototypowanie. Modelowanie - Wytwarzanie - Pomiary", 16-18.09.2015, Rzeszów-Pstrągowa.

7.4. Recenzowane materiały konferencyjne

1. **Oliwa R.**, Oleksy M., Bulanda K., Krajewski D.: *Epoxy composites with improved flame resistance and electrical conductivity*, [w] Modern Polymeric Materials for Environmental Applications 8, 8th International Seminar including Special Session Polyhydroxyalkanoates: Synthesis, Modification and Applications, (pod red.) Pielichowski K., Majka T. M., Publisher, Kraków 2023, 437-443, ISBN: 978-83-966714-0-0.
2. Oleksy M., Bulanda K., Kroczek K., **Oliwa R.**, Krajewski D.: *Hybrid polymer composites used in medicine*, [w] Modern Polymeric Materials for Environmental Applications 8, 8th

- International Seminar including Special Session Polyhydroxyalkanoates: Synthesis, Modification and Applications, (pod red.) Pielichowski K., Majka T. M., Publisher, Kraków 2023, 437-443, ISBN: 978-83-966714-0-0.
3. Czech K., Oleksy M., **Oliwa R.**, Bulanda K., Krajewski D.: *Modyfikacja osnowy i wzmocnienia przekładkowych kompozytów polimerowych stosowanych w przemyśle zbrojeniowym* [w:] Projektowanie, budowa i eksploatacja maszyn. Cz. 2. (pod red.) Pawliczek R., Owsiański R., Łagoda T., Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Studia i Monografie, z. 574, 2022, 47-57, ISBN 978-83-66903-25-8.
 4. Bulanda K., Oleksy M., **Oliwa R.**, Krajewski D., Czech K., Budzik G., Przeszłowski Ł.: *Właściwości użytkowe kompozytów polimerowych stosowanych w technologii szybkiego prototypowania* [w:] Projektowanie, budowa i eksploatacja maszyn. Cz. 1. (pod red.) Pawliczek R., Owsiański R., Łagoda T., Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Studia i Monografie, z. 558, 2021, 15-31, ISBN 978-83-66903-09-8.
 5. Krajewski D., Oleksy M., **Oliwa R.**, Bulanda K., Czech K.: *Wpływ modyfikacji materiału osnowy stosowanej do wyrobu kompozytów polimerowych na jej przewodnictwo elektryczne oraz wybrane właściwości mechaniczne* [w:] Projektowanie, budowa i eksploatacja maszyn. Cz. 1. (pod red.) Pawliczek R., Owsiański R., Łagoda T., Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Studia i Monografie, z. 558, 2021, 85-94, ISBN 978-83-66903-09-8.
 6. **Oliwa R.**: *Ognioodporne kompozyty polimerowo-włókniste stosowane w kolejnictwie* [w:] Projektowanie, budowa i eksploatacja maszyn. Cz. 1. (pod red.) Pawliczek R., Owsiański R., Łagoda T., Oficyna Wydawnicza Politechniki Opolskiej, Studia i Monografie, z. 558, 2021, 157-166, ISBN 978-83-66903-09-8.
 7. Szczęch D., Lubczak R., **Oliwa R.**, Szpiżyk M.: *Flame retardance of polyurethane foams with starch units*, Modern Polymeric Materials for Environmental Applications 7, 2019, 437-443, Ed. K. Pielichowski, Tomasz Mariusz Majka Publisher, Tarnów, 15-17.05.2019.

7.5. Patenty i zgłoszenia patentowe

1. Oleksy M., **Oliwa R.**, Budzik G., Oliwa J., Nędza L.: *Sposób modyfikacji bentonitu*, patent nr PL241102 (2022 r.).

2. Oleksy M., **Oliwa R.**, Budzik G., Markowska O., Ostyńska P., Żółkoś T.: *Sposób otrzymywania kompozycji na osnowie polipropylenu z dodatkiem recyklatu MDF*, patent nr PL239257 (2021 r.).
3. Filik K., Karnas G., Masłowski G., **Oliwa R.**, Bulanda K., Oleksy M.: *Stanowisko probierczopomiarowe do badań wysokonapięciowych impedancji, rezystywności i odporności materiałów kompozytowych oraz sposób badania wysokonapięciowych impedancji, rezystywności i odporności materiałów kompozytowych*, udzielony patent w dniu 24.04.2023 r. będący przedmiotem zgłoszenia patentowego nr P.437509 (2021 r.).
4. **Oliwa R.**, Bulanda K., Oleksy M., Masłowski G., Filik K., Karnas G.: *Samogasnąca kompozycja żywicy epoksydowej o zwiększonym przewodnictwie elektrycznym oraz sposób otrzymywania samogasnącej kompozycji żywicy epoksydowej o zwiększonym przewodnictwie elektrycznym*, zgłoszenie patentowe nr P.434501 (2021 r.).
5. Czech-Polak J., Heneczkowski M., Oleksy M., **Oliwa R.**: *Elastyczna pianka poliuretanowa o ograniczonej palności i sposób jej wytwarzania*, patent nr PL231699 (2019 r.).
6. Czech-Polak J., Heneczkowski M., Oleksy M., **Oliwa R.**: *Odporna na płomień sztywna pianka poliuretanowa i sposób jej otrzymywania*, patent nr PL230172 (2018 r.).
7. Kowalski M., Krauze S., Węgiel A., **Oliwa R.**, Oleksy M.: *Laminat wielowarstwowy o osnowie epoksydowej oraz sposób wytwarzania*, zgłoszenie patentowe nr P.426498 (2018 r.).
8. Oleksy M., Heneczkowski M., **Oliwa R.**, Czech-Polak J., Cieplak M.: *Sposób otrzymywania prepregów epoksydowych zbrojonych włóknem szklanym lub węglowym oraz laminator do jego realizacji*, patent nr PL230104 (2018 r.).
9. Oleksy M., Heneczkowski M., Galina H., **Oliwa R.**, Oliwa J., Szałański P.: *A method of modification of bentonite and a method of the application of the modified bentonite to polymer resins*, patent nr EP2910526 (2018 r.).
10. Oleksy M., Heneczkowski M., Budzik G., **Oliwa R.**, Szałajko R., Knap W.: *Kompozycja rezolowej żywicy fenolowo-formaldehydowej i nanonapełniaczy sposób jej wytwarzania oraz sposób impregnowania kompozycją siatek z włókna szklanego*, patent nr PL225904 (2017 r.).

11. **Oliwa R.**, Oleksy M., Heneczkowski M., Galina H., Czech-Polak J.: *Sposób otrzymywania uniepalnionej kompozycji matocząsteczkowej żywicy epoksydowej*, patent nr PL225910 (2017 r.).
12. Oleksy M., Heneczkowski M., **Oliwa R.**, Galina H., Budzik G., Jesionowski T.: *Hybrydowy kompozyt żywic polimerowych, sposób jego wytwarzania oraz zastosowanie*, patent nr PL224582 (2017 r.).
13. Galina H., Heneczkowski M., Czarnecka-Komorowska D., Sterzyński T., Marciniec B., Dutkiewicz M., **Oliwa R.**, Oleksy M., Franczyk A.: *Polyoxymethylene composite with reduced formaldehyde emission and method for making and use thereof*, patent nr EP2886569 (2016 r.).

7.6. Nagrody za działalność naukową

- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej za współautorstwo 6 publikacji indeksowanych z listy MNiSW powyżej 100 pkt. pt.: *Effects of Various Types of Expandable Graphite and Blackcurrant Pomace on the Properties of Viscoelastic Polyurethane Foams, Composites of Poly(Vinyl Chloride) with Residual Hops after Supercritical Extraction in CO₂, A. Hybrid Polymer Composites Used in the Arms Industry: A Review, Poly(Vinyl Chloride) Composites with Raspberry Pomace Filler, Polymer composites based on polycarbonate (PC) applied to additive manufacturing using melted and extruded manufacturing (MEM) technology, Testing of conductive carbon fiber reinforced polymer composites using current impulses simulating lightning effects – 2022 r.*
- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej za publikację indeksowaną z listy MNiSW powyżej 100 pkt. pt.: *The Mechanical Properties of Kevlar Fabric/Epoxy Composites Containing Aluminosilicates Modified with Quaternary Ammonium and Phosphonium Salts*, oraz za współautorstwo publikacji indeksowanej z listy MNiSW powyżej 100 pkt. pt.: *Surface layer analysis of helical grooved journal bearings after abrasive tests – 2021 r.*
- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej za współautorstwo publikacji indeksowanej z listy MNiSW powyżej 100 pkt. pt.: *Powder-epoxy resin/glass fabric composites with reduced flammability – 2020 r.*
- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej za uzyskanie 2 patentów (współautorstwo): EP2910526 pt.: *A method of modification of bentonite and a method of the application*

oraz PL231699 pt.: *Elastyczna pianka poliuretanowa o ograniczonej palności i sposób jej wytwarzania* – **2020 r.**

- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej (indywidualna I stopnia) za zgromadzony dorobek naukowy w 2018 roku będący efektem prowadzonych prac naukowo-badawczych związanych z projektowaniem i opracowaniem polimerowych materiałów kompozytowych o zdefiniowanych i określonych właściwościach – **2019 r.**
- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej za współautorstwo 4 patentów: PL225910 pt.: *Sposób otrzymywania uniepalnionej kompozycji małocząsteczkowej żywicy epoksydowej*, PL226833 pt.: *Sposób modyfikacji bentonitu oraz sposób aplikacji zmodyfikowanego bentonitu do żywic polimerowych*, PL224582 pt.: *Hybrydowy kompozyt żywic polimerowych, sposób jego wytwarzania oraz zastosowanie*, PL225904 pt.: *Kompozycja rezolowej żywicy fenolowo-formaldehydowej i nanonapełniaczy sposób jej wytwarzania oraz sposób impregnowania kompozycją siatek z włókna szklanego* – **2018 r.**
- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej za współautorstwo 4 publikacji z grupy A (MNiSW) pt.: *Zastosowanie metody vacuum casting do wytwarzania prototypów badawczych polimerowych kół zębatach*, pt.: *Mechanical strength of epoxy/organoclay/carbon fiber hybrid composites*, pt.: *Preparation and characterization of poly(urea-urethane) elastomers synthesized from rapeseed oil-based polyols. Part II. Thermal properties*, oraz pt.: *Otrzymywanie prototypów części chwytaka robota mobilnego z materiałów polimerowych z wykorzystaniem technologii wytwarzania przyrostowego. Cz. I. Właściwości mechaniczne i stałe materiałowe próbek z kopolimeru akrylonitryl-butadien-styren* – **2018 r.**
- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej (zespołowa I stopnia) za cykl publikacji naukowych, komercjalizację wyników oraz realizację projektów B+R – **2017 r.**
- Nagroda Rektora Politechniki Rzeszowskiej (zespołowa I stopnia) za cykl publikacji naukowych w 2014 r. dotyczących zastosowania otrzymanych hybrydowych kompozytów w przemyśle lotniczym i technologii Rapid Prototyping – **2015 r.** (przed uzyskaniem stopnia doktora).

7.7. Dane naukometryczne

Od początku mojej działalności naukowej jestem autorem i współautorem 58 publikacji, w tym 55 w czasopiśmie indeksowanych na liście JCR. Wyniki prac badawczych przedstawiłem także w ramach konferencji krajowych i międzynarodowych (8 referatów i 16 prezentacji plakatowych). Ponadto jestem współautorem 14 patentów i 5 zgłoszeń patentowych, z których część została wdrożona w przemyśle.

Sumaryczne zestawienie osiągnięć naukowych wykazanych w poszczególnych punktach Wykazu osiągnięć naukowych (Załącznik 4) z podziałem na okresy przed i po uzyskaniu stopnia doktora

Osiągnięcie	Przed uzyskaniem stopnia doktora	Po uzyskaniu stopnia doktora	Cały dorobek
Publikacje wyszczególnione w bazie JCR (część A listy MEiN)	5	50	55
Publikacje nie wyszczególnione w bazie JCR (część B listy MEiN)	0	3	3
Wykaz opublikowanych rozdziałów w pracach zbiorowych i monografiach	0	4	
Patenty	0	11+3	14
Zgłoszenia patentowe	3	5	5
Prezentacje ustne na konferencjach krajowych i międzynarodowych	4	4	8
Prezentacje plakatowe na konferencjach krajowych i międzynarodowych	3	13	16
Kierownik prac badawczych w zespołach realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych	0	4	4
Wykonawca w zespołach realizujących projekty finansowane w drodze konkursów krajowych lub zagranicznych	3	7	10
Sumaryczny Impact Factor	4,841	116,436	121,277
Informacja o liczbie cytowań publikacji wnioskodawcy (bez autocytowań) wg Web of Science/Scopus/Google Scholar	7(4)/7(4)/-	367(310)/399(337)/401(-)	
Informacja o posiadanym indeksie Hirscha wg WoS/Scopus/Google Scholar	2/5/-	10/11/11	
Informacja o liczbie punktów MNiSW W tym za lata 2019-2023 wg punktacji od 2019 r. + za lata 2015-2018 wg punktacji do 2019 r.	85+110*	2550+300* + 372+225*	3007+635*

*punkty za udzielone patenty