

Autoreferat

1. Imię i Nazwisko

Mariusz Oleksy

2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe

Stopień doktora	Rok uzyskania 2000 Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Chemiczny Specjalność: Nauki techniczne dyscyplina: Technologia Chemiczna Tytuł pracy doktorskiej: Tiksotropowe kompozycje nienasyconych żywic poliestrowych o wydłużonej trwałości z zastosowaniem modyfikowanych smektytów (praca finansowana w części przez Komitet Badań Naukowych, projekt nr 3 T09A 021 14) Promotor: Prof. dr hab. inż. Henryk Galina Recenzenci: Prof. dr hab. inż. Tadeusz Spychaj, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie Prof. dr hab. inż. Jan Łukaszczyk, Politechnika Śląska w Gliwicach
Tytuł magistra	Rok uzyskania: 1991 Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Chemiczny Kierunek: Technologia chemiczna Specjalność: Technologia i przetwórstwo polimerów Tytuł pracy magisterskiej: Badania nad polimerowymi kompozytami sieciowanymi światłem UV przeznaczonymi do celów stomatologicznych Promotor : Dr inż. Witold Pradelok Politechnika Śląska

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych:

2000 - obecnie	Adiunkt, Katedra Technologii i Materiałoznawstwa Chemicznego, Wydział Chemiczny, Politechnika Rzeszowska
1993-2000	Asystent, Zakład Technologii Tworzyw Sztucznych, Wydział Chemiczny, Politechnika Rzeszowska
1993-1993	Technolog kontroli jakości, Zakładowe laboratorium badawczo – rozwojowe, Zakłady Chemiczne „Organika-Sarzyna” w Nowej Sarzynie (1,5 miesięczny staż przemysłowy – umowa o pracę)
1991-1993	Pracownik naukowo - inżynieryjny, Zakład Fizyki i Chemii Metali, Uniwersytet Śląski w Katowicach

4. Wskazane osiągnięcia wynikające z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. Nr 65, poz 595 ze zm.)

a) tytuł osiągnięcia naukowego:

„Technologia *Rapid Prototyping* hybrydowych nanokompozytów polimerowych stosowanych na elementy maszyn”

b) autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa:

Podstawą do ubiegania się przeze mnie o uzyskanie stopnia doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie budowa i eksploatacja maszyn jest cykl 25 publikacji, jednej monografii oraz autorskie rozwiązania technologiczne zawarte w dwóch patentach i jednym zgłoszeniu patentowym, w których opisałem technologię oraz właściwości użytkowe hybrydowych nanokompozytów polimerowych stosowanych na koła zębate wytworzone w technologii Rapid Prototyping:

- 1. Oleksy M. (100%):** „*Technologia Rapid Prototyping hybrydowych nanokompozytów polimerowych stosowanych na koła zębate*”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2014, ISBN 978-83-7199-957-7
Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu wszystkich doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całej monografii. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 100%
- 2. Oleksy M. (80%), Galina H.;** *Tiksotropowe nienasycone żywice poliestrowe o przedłużonej trwałości z zastosowanie modyfikowanych smektytów*, Polimery, 45 (2000), s. 541-547. IF=0,332
Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu wszystkich doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 80%
- 3. Oleksy M. (80%), Heneczkowski M.:** *Tiksotropowe kompozycje nienasyconych żywic poliestrowych z modyfikowanymi glinami smektycznymi*, Polimery 49 (2004), s. 806-812. IF=0,676
Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu wszystkich doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 80%
- 4. Oleksy M. (75%), Heneczkowski M., Galina H.:** *Chemosetting Resins Containing Fillers. I. Unsaturated Polyester Resin Compositions Containing Modified Smectites*, Journal of Applied Polymer Science, 96 (2005), s. 793-804. IF= 1,363
Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu wszystkich doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 75%

5. **Oleksy M. (80%)**, Heneczkowski M., Galina H.: *Kompozyty żywicy epoksydowej zawierające modyfikowane bentonity*, Polimery, 51 (2006), s. 799-808. IF=1,137
Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu wszystkich doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 80%

6. **Oleksy M. (80%)**, Heneczkowski M., Galina H.: *Thixotropic compositions: unsaturated polyester resins/modified bentonites*, Polimery, 52 (2007), s. 345-350. IF=1,136
Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu wszystkich doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 80%

7. **Oleksy M. (70%)**, Heneczkowski M., Budzik G., *Composites of unsaturated polyester resins applied in Vacuum Casting technology*, Polimery 53 (2008), s. 60-63. IF=0,574 (średni po odzyskaniu IF <http://www.ichp.pl/polimery>)
Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu prawie wszystkich doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 70%

8. Budzik G., Sobolak M., **Oleksy M. (33,3)**: *Zastosowanie technologii vacuum casting do wykonywania prototypu przekładni planetarnej robota kuchennego*, Acta Mechanica Slovaca, 12 (2008), s. 63-68. IF=0
Indywidualny wkład habilitanta polegał na zaplanowaniu i wykonaniu kompozytów stosowanych do otrzymywania prototypów przekładni planetarnej robota kuchennego oraz merytorycznym współuczestniczeniu w opracowaniu planu pracy, interpretacji i dyskusji otrzymanych wyników badań a także napisaniu manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 33,3%

9. **Oleksy M. (80%)**, Heneczkowski M., Galina H.: *Uniepalnione kompozyty epoksydowe*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Seria: Chemia, z.20, 263 (2009), s.107-110. IF=0
Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu wszystkich doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 80%

10. Budzik G., Markowski T., **Oleksy M. (33,3%)**: *Analiza właściwości mechanicznych nanokompozytów polimerowych stosowanych w metodach szybkiego prototypowania*, Politechnika Śląska, Modelowanie Inżynierskie, 6 (2009), s.49-54. IF=0
Indywidualny wkład habilitanta polegał na zaplanowaniu i wykonaniu nanokompozytów stosowanych w metodach szybkiego prototypowania oraz merytorycznym współuczestniczeniu w opracowaniu planu pracy, interpretacji i dyskusji otrzymanych wyników badań a także napisaniu manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 33,3%

11. Budzik G., **Oleksy M. (50%)**: *Możliwości wykorzystania wybranych nanokompozytów na bazie żywic poliestrowych w technologii vacuum casting*, Instytut Mechanizacji, Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Przegląd Mechaniczny, 7/8 (2009) s.43-46. IF=0
Indywidualny wkład habilitanta polegał na zaplanowaniu i wykonaniu nanokompozytów stosowanych w technologii Vacuum Casting oraz merytorycznym współuczestniczeniu w opracowaniu planu pracy, interpretacji i dyskusji otrzymanych wyników badań a także napisaniu manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 50%

12. Budzik G., **Oleksy M. (50%)**: *Technologiczne aspekty szybkiego prototypowania matryc silikonowych do wytwarzania kół zębatych*. Zeszyty Naukowe Politechniki

Rzeszowskiej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów, Chemia, z.20, 2009, s. 19-22. IF=0

Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym współ uczestniczeniu w zaplanowaniu badań , opracowaniu planu publikacji, interpretacji i dyskusji otrzymanych wyników badań a także napisaniu manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 50%

13. **Oleksy M. (70%)**, Heneczkowski M., Budzik G.: *Application of computer simulation of thermoset resins casting in rapid prototyping techniques*, Polimery, 55 (2010), s.895-898. IF=0,574 (średni po odzyskaniu IF <http://www.ichp.pl/polimery>)

Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu prawie wszystkich doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 70%

14. **Oleksy M. (70%)**, Heneczkowski M., Galina H., Budzik G.: *Kompozyty polimerów chemoutwardzalnych i termoplastycznych z dodatkiem nanobentów ZR1 i ZR2* [w:] Materiały Polimerowe, (pod red.) T. Spychaj, S. Spychaj, Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, 1 (2010), s.445-449. IF=0

Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu większości doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 70%

15. **Oleksy M. (70%)**, Budzik G. , Heneczkowski M.: *Hybrid polymer composites for rapid prototyping of gears*, Polimery, 55 (2010), s.403-407. IF=0,574 (średni po odzyskaniu IF <http://www.ichp.pl/polimery>)

Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu prawie wszystkich doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 70%

16. **Oleksy M. (70%)**, Budzik G., Heneczkowski M., Markowski T.: *Kompozyty żywicy poliuretanowych z dodatkiem Nanobentów*, Polimery, 55 (2010) s.194-200. IF=0,574 (średni po odzyskaniu IF <http://www.ichp.pl/polimery>)

Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu prawie wszystkich doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 70%

17. **Oleksy M. (70%)**, Budzik G., Heneczkowski M.: *Kompozyty hybrydowe na osnowie nienasyconej żywicy poliestrowej* [w:] Materiały Polimerowe, (pod red.) J. Koszkula, 1 (2010), s.89-96. IF=0

Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu większości doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 70%

18. **Oleksy M. (70%)**, Heneczkowski M., Mossety-Leszczak B., Galina H., Budzik G.: *Uniepalczone kompozyty epoksydowe*, Wydawnictwo Sigma-Not Sp. z o.o., Inżynieria Materiałowa, 31, (2010), s.1372-1377. IF=0

Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu większości doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 70%

19. **Oleksy M. (75%)**, Heneczkowski M., Galina H.: *Zastosowanie soli amoniowych do modyfikacji bentonitów stosowanych jako napelniacze kompozytów żywicy epoksydowej*, Wydawnictwo Sigma-Not Sp. z o.o., Przemysł Chemiczny, 89 (2010), s.1487-1490. IF=0,254

Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu prawie wszystkich doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swoj wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 75%

20. Budzik G., **Oleksy M. (33,3%)**, Sobolak M.: *Badania stanowiskowe chwilowego ślady styku*. [w:] Określenie chwilowego ślady styku przekładni zębatych z zastosowaniem metod szybkiego prototypowania., (pod red. G. Budzika) Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, (2011) s.149-167. IF=0

Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym współ uczestniczeniu w opracowaniu planu pracy, doświadczeniach, interpretacji i dyskusji otrzymanych wyników badań a także napisaniu manuskryptu. Swoj wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 33,3%

21. **Oleksy M. (83%)**, Oliwa R., Zawila B., Budzik G.: *Kompozycje poliuretanowe do szybkiego prototypowania zawierające bentonity modyfikowane silseswioksanami*, Polimery, 57 (2012), s. 463-469. IF=0,574 (średni po odzyskaniu IF <http://www.ichp.pl/polimery>)

Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu prawie wszystkich doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swoj wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 83%

22. **Oleksy M. (100%)**: *Kompozyty handlowych nienasyconych żywic poliestrowych z dodatkiem nanonapełniaczy Nanobent*, Polimery, 57 (2012), s. 48-56. IF=0,574 (średni po odzyskaniu IF <http://www.ichp.pl/polimery>)

Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu wszystkich doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swoj wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 100%

23. **Oleksy M. (70%)**, Oliwa R., Heneczkowski M., Mossety-Leszczak B., Galina H., Budzik G.: *Kompozyty żywicy epoksydowej z modyfikowanymi bentonitami dla potrzeb przemysłu lotniczego*, Polimery, 57 (2012), s.64-71. IF=0,574 (średni po odzyskaniu IF <http://www.ichp.pl/polimery>)

Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu prawie wszystkich doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swoj wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 70%

24. **Oleksy M. (85%)**, Galina H.: *Unsaturated polyester resin composites containing bentonites modified with silsesquioxanes*, Industrial & Engineering Chem. Res., 52 (2013), s. 6713–6721. IF=2.206

Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu wszystkich doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swoj wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 85%

25. **Oleksy M. (60%)**, Heneczkowski M., Oliwa R., Budzik G., Dziubek T, Markowska O., Szwarc-Rzepka K., Jesionowski T., *Hybrid composites with epoxy resin matrix manufactured by vacuum casting technology*, Polimery, 59 (2014), s. 677-681. IF=0,617

Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu większości doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swoj wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 60%

26. **Oleksy M. (65%)**, Szwarc-Rzepka K., Heneczkowski M., Oliwa R., Jesionowski T.: *Epoxy resin composite based on functional hybrid fillers*, Materials, 7,(2014), 6064-6091. IF=1.879

Indywidualny wkład habilitanta polegał na merytorycznym opracowaniu planu pracy, zaplanowaniu i wykonaniu większości doświadczeń, interpretacji i dyskusji wyników badań, napisaniu całego manuskryptu. Swój wkład w powstanie tej publikacji oceniam na 65%

27. **Oleksy M.**, Heneczkowski M., Galina H., Oliwa R., Mossety-Leszczak B.: *Kompozycja epoksydowa o zmniejszonej palności i podwyższonej odporności termicznej i sposób jej otrzymywania* (zgłoszone 1.08.2011, decyzja o przyznaniu patentu z dnia 11.07.2013) PL216081

Indywidualny wkład habilitanta polegał na opracowaniu koncepcji metody modyfikacji bentonitów czwartorzędowymi solami fosfoniowymi i technologii otrzymywania kompozycji o zmniejszonej palności na osnowie żywicy epoksydowej, wykonaniu badań palności, dyskusji wyników ze Współautorami, napisaniu zgłoszenia patentowego. Swój wkład w powstanie tego zgłoszenia patentowego szacuję na 30%

28. **Oleksy M.**, Heneczkowski M., Oliwa R., Galina H., Budzik G., Jesionowski T., Szwarz-Rzepka K., Marciniec B., Dudziec B.: *Hybrydowy kompozyt żywic polimerowych, sposób jego wytwarzania oraz zastosowanie* (zgłoszony 27. 12. 2013) P-406559.

Indywidualny wkład habilitanta polegał na opracowaniu technologii otrzymywania hybrydowego kompozytu żywic polimerowych stosowanego w technologii Rapid Prototyping, wykonaniu badań wytrzymałościowych oraz dokładności wymiarów, dyskusji wyników ze Współautorami, napisaniu zgłoszenia patentowego. Swój wkład w powstanie tego zgłoszenia patentowego szacuję na 25%

29. **Oleksy M.**, Heneczkowski M., Marciniec B., Galina H., Oliwa R., Dutkiewicz M.; *Sposób otrzymywania samogasnących kompozytów żywic chemoutwardzalnych* (zgłoszone 22.12.2011 r., decyzja o przyznaniu patentu z dnia 18.12.2013) PL217487

Indywidualny wkład habilitanta polegał na opracowaniu koncepcji metody modyfikacji bentonitów czwartorzędowymi solami POSS i technologii otrzymywania kompozycji o zmniejszonej palności na osnowie żywicy epoksydowej, wykonaniu badań palności, dyskusji wyników ze Współautorami, napisaniu zgłoszenia patentowego. Swój wkład w powstanie tego zgłoszenia patentowego szacuję na 40%

Wyniki swoich badań wchodzących w skład monografii i publikacji prezentowałem także na wielu międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych – **Załącznik 3**: Wykaz opublikowanych prac naukowo-badawczych: **pkt. II M – wykaz wystąpień konferencyjnych** [1, 4-11, 14-19, 21-32, 34-38, 40-48, 50-51] –numeracja zgodna z załącznikiem 3.

c) Omówienie celu naukowego w/w prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Przedstawiona do oceny monografia [1] pt. *Technologia Rapid Prototyping hybrydowych nanokompozytów polimerowych stosowanych na koła zębate* i cykl publikacji [2-26], patentów [27-29] rozszerzone i uzupełnione o wyniki niepublikowanych badań

dotyczą wielu oryginalnych aspektów związanych z projektowaniem i wytwarzaniem elementów maszyn (kół zębatach) z opracowanych hybrydowych nanokompozytów polimerowych zastosowanych w technologii *Rapid Prototyping* (RP). W moich pracach [1-29] podjąłem próbę uwzględnienia czynników fizycznych, materiałowych i technologicznych wpływających na dokładność odwzorowania powierzchni zarysów elementów maszyn w procesie wytwarzania krótkich serii np. prototypów kół zębatach do zastosowania w przemyśle maszynowym i lotniczym. Istotną zaletą opracowanej technologii wytwarzania elementów maszyn wykonanych z hybrydowych nanokompozytów jest możliwość zastosowania ich do badań stanowiskowych w prototypowych maszynach, a następnie jako model nominalny do otrzymywania form wtryskowych w przypadku produkcji wieloelementowej.

Materiały polimerowe znajdują zastosowanie do wytwarzania elementów maszyn, w tym elementów uzębionych układów napędowych. Na szeroką skalę wytwarza się te elementy z konstrukcyjnych tworzyw polimerowych na podstawie poliamidu (PA), polioksymetylenu (POM), poliwęglanu (PC) lub kopolimeru akrylonitrylo-butadienowo-styrenowego (ABS) wykorzystując technologię obróbki plastycznej (wtryskiwania) [*M7, M8, M78, M160, M161] (*M - **odnośnik do numeracji literatury cytowanej w monografii**) lub technologię obróbki ubytkowej (skrawanie, obróbka elektroerozyjna) na obrabiarkach sterowanych numerycznie (frezowanie na frezarce obwodniowej, frezowanie frezem palcowym, kształtowym, frezowanie CNC poprzez wycięcie zarysu zębów) i elektrodrażarkach [M2, M90, M99, M104, M121, M146, M158, M159, M171]. Technologia wtryskiwania umożliwia otrzymanie w jednym cyklu wtrysku nawet do kilkuset sztuk, w zależności od liczby gniazd formujących w formie wtryskowej (im więcej tym bardziej opłacalna produkcja). Niestety w przypadku wytwarzania małej liczby prototypów kół zębatach wykonanie odpowiedniej formy wtryskowej jest wysoce nieopłacalne. Również w przypadku obróbki ubytkowej koszt wytworzenia jednego koła jest duży i koła te wykonuje się z tworzyw polimerowych, które można obrabiać mechanicznie (POM, PA, politetrafluoroetylenu - PTFE, PC, poli(tereftalanu etylenu) - PET i polimetakrylanu metylu - PMMA).

Zakres stosowania klasycznych tworzyw polimerowych jest obecnie ograniczony ze względu na nie zawsze zadowalające właściwości użytkowe. Z tego względu rozwój materiałów polimerowych jest ukierunkowany w stronę otrzymywania i stosowania tworzyw wzmocnionych, np. nanokompozytów i nanokompozytów hybrydowych. Nanokompozyty, tj. głównie kompozyty polimerowe, w których przynajmniej jeden składnik ma wymiary

nanometryczne, stanowią nową grupę materiałów inżynierskich zwaną nanomateriałami. Modyfikacja polimerów, w tym kompozytów polimerowych za pomocą nanonapełniaczy to obecnie jedna z najprężniej rozwijających się dziedzin przetwórstwa tworzyw polimerowych [M 40].

W ostatnich latach wiele publikacji naukowych poświęcono polimerowym kompozytom hybrydowym [M44, M46, M65, M69, M92, M98, M114, M156, M175, M177, M183], w których obok nanonapełniaczy wprowadza się zmodyfikowane napełniacze o modyfikowanej powierzchni i o różnej strukturze cząstek. Głównym powodem opracowywania nanokompozytów hybrydowych jest możliwość uzyskania nowego typu kompozytów charakteryzujących się większą sztywnością i udarnością w stosunku do materiału wyjściowego, gdyż w odpowiednio zaprojektowanym kompozycie hybrydowym można wykorzystać zalety poszczególnych składników i zminimalizować wady wynikające z ich indywidualnego stosowania. Rozwój hybrydowych materiałów kompozytowych jest możliwy dzięki stosowaniu nowych coraz lepszych modyfikatorów o unikatowych właściwościach użytkowych. Nawet niewielki ich udział w kompozycie znacznie poprawia m.in. właściwości mechaniczne, stabilność wymiarów, odporność na płomień oraz stabilność termiczną.

Coraz większą rolę w produkcji prototypów i krótkich serii produkcyjnych kształtek technicznych odgrywają tzw. techniki szybkiego wytwarzania (*Rapid Manufacturing* – RM) m.in. metoda odlewania próżniowego (*Vacuum Casting* – VC) elementów maszyn w formach silikonowych z żywic chemoutwardzalnych: nienasyconych żywic poliestrowych (UP), epoksydowych (EP) lub poliuretanowych (PU). Żywice stosowane w technologii VC powinny odznaczać się m.in.: wysoką stabilnością wymiarów, niewielkim skurczem oraz dobrą wytrzymałością - pozwalającą na prowadzenie badań zmęczeniowych prototypu na stanowiskach badawczych lub wytworzenie gotowych wyrobów. Z tych głównie powodów istnieje stale rosnące zapotrzebowanie na kompozycje odlewnicze o coraz lepszych właściwościach użytkowych.

W ostatnich latach pojawiły się prace, w których w technologii RM wykorzystano także hybrydowe kompozyty na osnowie poliuretanów i/lub epoksydów do otrzymywania prototypów stosowanych jako implanty naczyniowe w medycynie [M3, M77, M87, M182].

W związku z tym wyniki prowadzonych przeze mnie badań były podstawą opracowania parametrów wytwarzania kół zębatach z wykorzystaniem hybrydowych nanokompozytów polimerowych techniką Rapid Prototyping. Poprawnie zaprojektowany skład nanokompozytów hybrydowych i technologia ich otrzymywania pozwala na uzyskanie materiałów o unikatowych właściwościach użytkowych stosowanych w technologii RP.

Wytwarzanie prototypowych kół zębatach przeznaczonych do pracy w warunkach wymagających podwyższonej udatności materiałów, odporności termicznej lub odporności na płomień powoduje konieczność wielu zmian konstrukcyjnych zarówno układów modelowych, jak i technologii ich wytwarzania. Spełnienie tych wymagań i skrócenie czasu projektowania oraz opracowania technologii jest możliwe dzięki zastosowaniu metod szybkiego prototypowania, uwzględniających czynniki materiałowe i technologiczne tych złożonych procesów.

Stąd *podstawowym celem badań opisanych w monografii było podjęcie próby ujęcia zarówno w aspekcie teoretycznym, jak i użytkowym zagadnień dotyczących otrzymywania nanokompozytów hybrydowych zapewniających dokładne odwzorowania powierzchni (minimalny skurcz) otrzymywanego modelu koła zębatego w procesie RP.*

W swoich badaniach skoncentrowałem się na następujących zagadnieniach:

- opracowaniu i optymalizacji technologii otrzymywania nanonapełniaczy stosowanych do napełniania odlewniczych żywic polimerowych stosowanych do wytwarzania elementów maszyn,
- ustaleniu wpływu zastosowanych nanonapełniaczy na właściwości reologiczne i reaktywność kompozycji wykorzystywanych w technologii VC, a także określenie wpływu kombinacji napełniaczy o różnym składzie, różnych wymiarach ziaren i kształcie (płytkowy i kulisty) na właściwości użytkowe prototypów kół zębatach otrzymanych z nanokompozytów hybrydowych, ze szczególnym uwzględnieniem ich dokładności geometrycznej,
- wykorzystaniu symulacji i analiz MES do opracowania konstrukcji gniazd formujących, w tym: geometrii kanałów wlewowych, kanałów odpowietrzających, występowaniu linii łączenia oraz rozkładu temperatury w gnieździe,
- ustaleniu uwarunkowań technologicznych i materiałowych procesu wytwarzania prototypów elementów modeli kół zębatach,
- analizie dokładności geometrycznej prototypów kół zębatach otrzymanych z wytypowanych nanokompozytów hybrydowych z zastosowaniem współrzędnościowej techniki pomiarowej.

Na podstawie wykonanych przeze mnie badań [7, 8, 10, 11, 15-17, 21, 24-26, 28], stwierdziłem, że zastosowanie nanokompozytów hybrydowych w RM pozwala na częściowe wyeliminowanie kosztownych modeli metalowych na etapie przygotowania testowych przekładni zębatach. Modele prototypowe wykonane z tych kompozytów mogą z

powodzeniem posłużyć do testowania nowych konstrukcji układów przeniesienia napędów wykonanych docelowo z tworzyw polimerowych.

Oddzielnym zagadnieniem jest prognozowanie wybranych właściwości fizykochemicznych, reologicznych, a przede wszystkim mechanicznych hybrydowych nanokompozytów polimerowych. W związku z tym bardzo istotny jest dobór odpowiedniego typu nanonapełniacza i jego ewentualna modyfikacja w celu polepszenia jego zdyspergowania w matrycy polimerowej i uzyskania jak najlepszych właściwości użytkowych nanokompozytów stosowanych na koła zębate.

Moje wcześniejsze doświadczenia wynikające z prowadzenia badań w ramach pracy doktorskiej, dotyczących modyfikacji glin smektycznych w celu otrzymywania dodatków tiksotropowych do nienasyconych żywic poliestrowych, pozwoliły na zwiększenia dynamiki prowadzonych przeze mnie **po doktoracie** prac badawczych nad modyfikacją bentonitów (glin smektycznych o budowie warstwowej) stosowanych jako napełniacze i nanonapełniacze żywic syntetycznych. Badania te realizowałem w ramach dwóch kierowanych przeze mnie projektów badawczych finansowanych przez KBN i MNiSW: nr 3 T09B 101 22 pt. *Kompozycje polimerowe z modyfikowanymi smektytami* (2002-2004) oraz nr 3 T09 B 088 29 pt. *Modyfikowane bentonity jako wielofunkcyjne napełniacze* oraz jako główny wykonawca zadania badawczego pt. *Optymalizacja metody modyfikacji glin smektycznych w kierunku poprawy ich mieszalności z wytypowanymi polimerami termoplastycznymi i chemoutwardzalnymi oraz otrzymanie nanokompozytów na ich podstawie* w ramach Projektu Zamawianego PBZ-KBN-095/T08/2003-11-28 pt. *Polimery napełnione nanocząstkami*. Konsekwencją tych badań które przedstawiłem w pracach [2-7], było utworzenie konsorcjum pod kierownictwem prof. T. Spychaja. Zadaniem konsorcjum składającego się z przedstawicieli trzech uczelni: Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie, Politechniki Rzeszowskiej (wykonawcy: prof. H. Galina, dr M. Heneczkowski i dr M. Oleksy) oraz Politechniki Wrocławskiej, było wdrożenie do produkcji polskich nanonapełniaczy w ZGM „Zębiec” k/Starachowic. Badania wdrożeniowe były realizowane w ramach Projektu Celowego nr 03933/C ZR7-6/2007 pt. *Opracowanie technologii wytwarzania organofilizowanych bentonitów/montmoryllonitów jako napełniaczy do materiałów oraz wdrożenie ich produkcji w skali półtechnicznej* (2007-2009). Efektem tych badań, których byłem głównym wykonawcą ze strony Politechniki Rzeszowskiej (PRz) było opracowanie *Technologii wytwarzania organofilizowanych bentonitów/montmoryllonitów jako napełniaczy do materiałów polimerowych oraz wdrożenie ich produkcji w skali półtechnicznej*. Licencję na tę technologię zakupiła firma ZGM „Zębiec”.

W zespole Politechniki Rzeszowskiej opracowano nanonapełniacze o nazwie handlowej Nanobent[®] ZR1, Nanobent[®] ZR2 i Nanobent[®] ZR3. Firma „Zębiec” wyprodukowała i sprzedała te doświadczalne produkty w ilości ok. 3 ton zakładom zajmujących się przetwórstwem oraz produkcją gotowych wyrobów z nanokompozytów (Polimarky, Efect-Plus i Rymatex, załącznik nr 9 - pisma nr 3, 7, 8). W ww. zakładach pełniłem nadzór projektowy nad uruchomieniem linii technologicznych, a w szczególności nad skonfigurowaniem elementów segmentowych ślimaków wylączarskich dla odpowiedniego zdyspergowania nanonapełniacza w osnowie polimerowej.

W ostatnich latach w ramach dwóch projektów kluczowych finansowanych ze środków UE:

- *Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym* nr POIG.01.01.02-00-015/08-00
- *Silseskwioxany jako nanonapełniacze i modyfikatory w kompozytach polimerowych* nr WND-POIG.01.03.01-30-173/09

realizowałem badania nad otrzymywaniem hybrydowych nanokompozytów polimerowych stosowanych na elementy maszyn w technologii Rapid Prototyping. Podczas realizacji tych projektów opracowałem sposób otrzymywania hybrydowych nanonapełniaczy na osnowie bentonitów modyfikowanych w fazie stałej, stosowanych do napełniania żywic polimerowych. Wyniki tych badań były przedmiotem dwóch zgłoszeń patentowych: nr P.407020, pt. *Sposób modyfikacji bentonitu oraz sposób aplikacji zmodyfikowanego bentonitu do żywic polimerowych* (zgłoszony 31.01.2014r) oraz zgłoszenia europejskiego EP 14461559.8 pt. *Bentonite modification method and the application method of the modified bentonite to polymer resins* (zgłoszony 12.08.2014r).

W ramach tej technologii, dzięki odpowiedniej konstrukcji mieszalnika i optymalizacji parametrów mieszania, uzyskano zarówno wyraźny efekt jakościowy jak i ekonomiczny: dzięki prowadzeniu procesu modyfikacji w fazie stałej, a nie jak dotychczas w wodnej zawieszynie, wyeliminowano etap sączenia i suszenia.

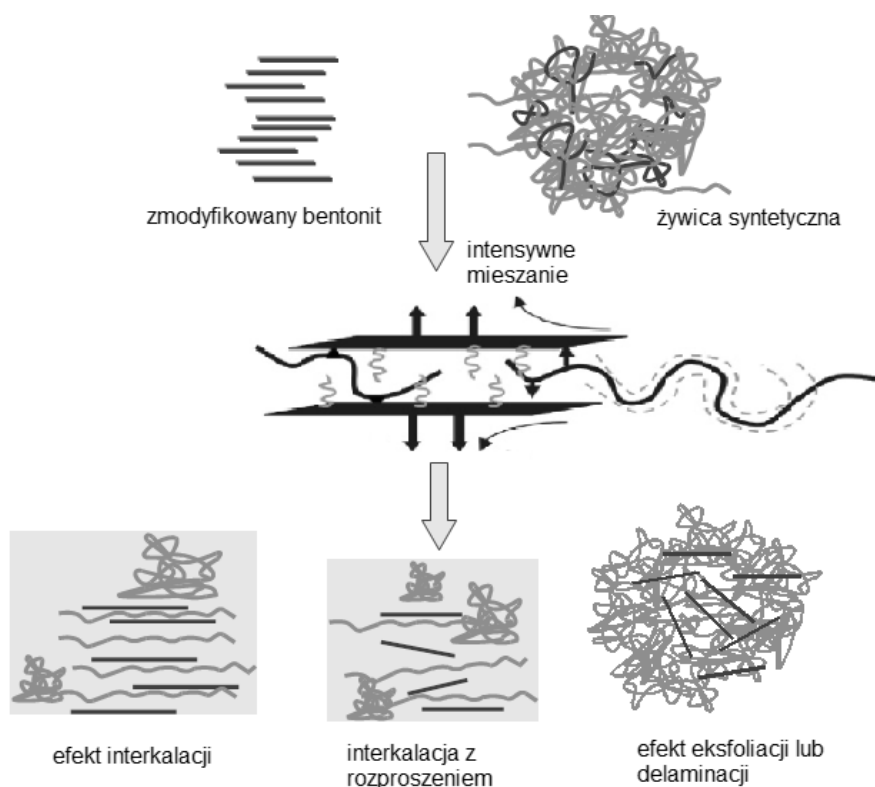
Doświadczenie zdobyte podczas prac nad otrzymywaniem nanonapełniaczy tzw. typu 1D na osnowie modyfikowanych bentonitów pozwoliło mi na odpowiednie prognozowanie właściwości fizykochemicznych i reologicznych nanonapełniaczy stosowanych do otrzymywania hybrydowych nanokompozytów polimerowych, stosowanych na koła zębate w technologii *Rapid Prototyping*.

Pozwoliło to na opracowanie nowych materiałów nanokompozytowych stosowanych do wytworzenia prototypów badawczych kół zębatych. Właściwa modyfikacja bentonitów, i

innych składników kompozytu w skali nano jest warunkiem otrzymania nanokompozytu polimerowego o założonych właściwościach m. in. polepszonych właściwościach mechanicznych.

Oprócz opracowanych przez mnie nanonapełniaczy (modyfikowanych bentonitów) do wytwarzania nanokompozytów hybrydowych stosowałem również hybrydową krzemionkę modyfikowaną POSS (pochodną oligomerycznych klatkowych silseskwioksanów) zsyntezowaną przez zespół profesora Teofila Jesionowskiego z Politechniki Poznańskiej.

Kolejnym etapem procesu wytwarzania modeli kół zębatych było przygotowanie odlewniczych kompozycji nanokompozytowych. Właściwości nanokompozytów o poprawionych właściwościach użytkowych otrzymanych na osnowie małowcząsteczkowych żywic dostępnych w handlu (poliestrowych, epoksydowych i poliuretanowych) zależy w dużej mierze nie tylko od zastosowanych nanonapełniaczy, ale przede wszystkim od doboru techniki ich zdyspergowania w matrycy polimerowej (rys. 1).



Rys. 1. Schemat otrzymywania nanokompozytów na osnowie modyfikowanych bentonitów

Wcześniejsze doświadczenia zdobyte podczas badań nad otrzymywaniem nanokompozytów [2-7, 9-11, 14-19, 22-23] pozwoliły mi na opracowanie autorskiej metody wieloetapowej homogenizacji [24-29], polegającej na:

- wstępnym wymieszaniu za pomocą wolnoobrotowego mieszadła mechanicznego w temperaturze pokojowej (20 min);
- mieszaniu za pomocą homogenizatora ultradźwiękowego (15 min.) mieszaniny wstępnie podgrzanej do temperatury 50 °C;
- homogenizacji w szybkoobrotowym mikserze z mieszadłem turbinowym w temperaturze 50 °C, przy szybkości obrotowej mieszadła 10 000 min⁻¹ (30 min);
- końcowej homogenizacji w ucieraku typu cylinder-cylinder, o szczelinie 0,75 mm i prędkości obrotowej ruchomego cylindra 6 000 min⁻¹ (zapewnia intensywne ścinanie (15 min).

Na potrzeby tej metody opracowałem także własną, autorską konstrukcję i wykonałem homogenizator z ucierakiem typu cylinder-cylinder. Wykorzystując przepływ cieczy w szczelinie wywołany ruchami posuwistymi cylindra ruchomego w górę i w dół, przy jednoczesnym obrocie z dużą szybkością zapewnione są warunki intensywnego ścinania, które pozwalają na wniknięcie żywicy pomiędzy warstwy modyfikowanego bentonitu. Działania te pozwoliły mi na uzyskanie nanokompozytów o polepszonych właściwościach mechanicznych (wytrzymałość przy statycznym rozciąganiu, moduł Younga, uderność według Charpy'ego) i w większości przypadków o możliwości tworzenia się w tych kompozytach struktury eksfoliowanej, co potwierdziły badania WAXS, SEM i TEM.

Innym, bardzo istotnym parametrem w technologicznym procesie odlewania próżniowego (VC) jest lepkość żywicy lub kompozycji na jej osnowie. Parametr ten jest odpowiedzialny za łatwe wypełnianie gniazda formy. Na podstawie moich badań opisanych w monografii i publikacjach [1-8, 10, 11, 13, 15-17, 21, 22, 24-26] stwierdziłem, że dodatek nanonapełniaczy (modyfikowanych bentonitów) w ilości przekraczającej 5% mas. wyraźnie pogarszał płynięcie w gnieździe formującym podczas odlewania precyzyjnych wyrobów jakimi są koła zębate. Ten niekorzystny efekt może być spowodowany faktem, że modyfikowane bentonity są zagęstnikami małocząsteczkowych żywic chemoutwardzalnych i wyraźnie zwiększają lepkość pozorną kompozycji, nadając im właściwości tiksotropowe. Dlatego w celu pełnej charakterystyki nanonapełniaczy użytych do otrzymywania hybrydowych nanokompozytów stosowanych na koła zębate wykonałem oznaczenia ich wpływu na właściwości tiksotropowe kompozycji. Otrzymane rezultaty badań potwierdziły wcześniejsze spostrzeżenia, tzn. optymalna ilość napełniacza wprowadzona do żywicy, pozwalająca na odpowiednie wypełnianie formy podczas odlewania niskociśnieniowego, nie powinna przekraczać 3,0% mas. Zwiększenie ilości nanonapełniacza wyraźnie zwiększa

lepkość pozorną kompozycji i pogarsza wypełnianie gniazda formującego, a co za tym idzie pogarsza odwzorowanie powierzchni kół zębatach.

Kolejnym bardzo istotnym parametrem w technologii odlewania prototypów kół zębatach pod obniżonym ciśnieniem jest reaktywność kompozycji polimerowej, mianowicie czas żelowania i maksimum temperatury utwardzania. Znajomość tych dwóch parametrów pozwala na poprawne prowadzenie procesu odlewania próżniowego. W tym celu wykonałem badania oznaczania reaktywności badanych kompozycji po dodaniu układu utwardzającego. Oznaczenia prowadziłem w temperaturze 25 °C zgodnie z PN-EN ISO 2535, za pomocą aparatu „Żelpenetrator WB-2” własnej autorskiej konstrukcji. Przyrząd pozwalał na śledzenie przebiegu zmiany temperatury w czasie utwardzania mieszaniny reakcyjnej zwanej krzywą żelowania.

Podsumowując tę część badań, którą opisałem w monografii i publikacjach [1-7, 9, 10, 12, 14-16, 20, 21, 23, 24] obecność nanonapełniaczy (modyfikowanych bentonitów) powoduje nieznaczne wydłużenie czasu żelowania badanych kompozycji, co w przypadku technologii VC jest korzystnym zjawiskiem. Dodatkowo łagodniejszy wzrost temperatury utwardzania przy jednoczesnym obniżeniu jej maksimum całkowicie zmniejsza ryzyko powstania wad odlewanego prototypu np. miejscowych przegrzań, zwiększonych naprężeń wewnętrznych i pogorszenia stabilności wymiarów, które prowadzą do osłabienia właściwości mechanicznych. Należy nadmienić, że gwałtowny egzotermiczny przebieg reakcji utwardzania może spowodować rozszczelnienie formy. Jest też źródłem nierównomiernego utwardzania polimeru we fragmentach modelu o największej grubości. Analiza parametrów procesu technologicznego jest szczególnie istotna dla uzyskania elementów maszyn odlewanych z kompozytów polimerowych z zachowaniem założonej dokładności wymiarowo – kształtowej, szczególnie kół zębatach.

W przypadku prototypów kół zębatach stosowanych w przemyśle lotniczym wymagana jest również ich podwyższona odporność termiczna oraz odporność na działanie ognia. Moje badania realizowane w ramach projektu kluczowego pt. „*Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym*” nr POIG.01.01.02-00-015/08-00, opisane w monografii [1], publikacjach [18-19, 21-26] i patentach [27-29] pozwoliły mi na stwierdzenie, że dodatek nanonapełniaczy, w tym modyfikowanych bentonitów może wpływać na ograniczenie palności materiałów polimerowych. Celem niniejszych badań było także sprawdzenie, czy sposób otrzymywania nanokompozytów na osnowie UP, PU i EP oraz zawartość nanonapełniaczy w nanokompozycie w istotny sposób ograniczały palność próbek.

W ramach badań odporności na płomień elementów maszyn wytworzonych z hybrydowych nanokompozytów polimerowych wykonałem:

- oznaczanie wskaźnika tlenowego (LOI) w temperaturze 25 °C, za pomocą aparatu produkcji FireTesting Technology Ltd., UK, zgodnie z EN ISO 4589-3,
- badanie palności metodą UL 94 oznaczono w komorze do badania palności UL 94 produkcji firmy FireTesting Technology Ltd. UK), zgodnie z PN-EN 60695-11-10,
- badania morfologii i analizy elementarnej zgorzeliny próbek wybranych kompozytów za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) HITACHI S-3400N wyposażonego w przystawkę do mikroanalizy składu chemicznego EDS. Zastosowano detektor elektronów wtórnych (SE) i elektronów wstecznie rozproszonych (BSE) oraz napięcie przyspieszające 15 kV, rozmiar plamki (Spot Size) < 10 nm.

Na podstawie analizy wyników stwierdziłem, że elementy maszyn i próbki badawcze wykonane z badanych kompozytów z dodatkiem 3,0-4,5 % mas. nanonapełniaczy charakteryzowały się znacznie zmniejszoną palnością w porównaniu do modeli wykonanych z żywicy, nie zawierającej napełniaczy (układ odniesienia). Biorąc pod uwagę klasę palności oraz wartości LOI badanych nanokompozytów w stosunku do wartości odniesienia dla nienapełnionych żywic wykazałem, że zwiększenie zawartości nanonapełniacza (> 3% mas.), nie wpływa znacząco na efektywność uniepalnienia nanokompozytów i jest nieekonomiczne.

Kolejnym ważnym aspektem badawczym była analiza kształtu gniazda formującego formy silikonowej opisanym w monografii [1] i publikacjach [7, 8, 11, 12, 13, 15, 20] oraz realizowanym w ramach wieloletniej współpracy z zespołem profesora Tadeusza Markowskiego, kierownika Katedry Konstrukcji Maszyn Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej; byłem wykonawcą w dwóch projektach rozwojowych kierowanych przez: prof. Tadeusza Markowskiego pt. *Opracowanie innowacyjnych przekładni zębatych o nietypowym zazębieniu* (2007-2009) oraz prof. PRz Grzegorza Budzika: R03 021 02 R03 0004 04 pt. *Określenie chwilowego śladu styku przekładni zębatych z zastosowaniem metod szybkiego prototypowania* (2008-2010).

Istotny element wspomagający projektowanie form silikonowych, stanowiły programy do symulacji odlewania polimerów chemoutwardzalnych. Takim programem, który obok głównego modułu służącego do symulacji wtryskiwania termoplastów zawiera moduły które mogą być wykorzystane do symulacji procesu odlewania żywic chemoutwardzalnych jest program Autodesk Moldflow Insight [M4]. Jego zastosowanie pozwoliło na efektywne zaprojektowanie matrycy, to znaczy zachowanie technologiczności kształtki, liczby i

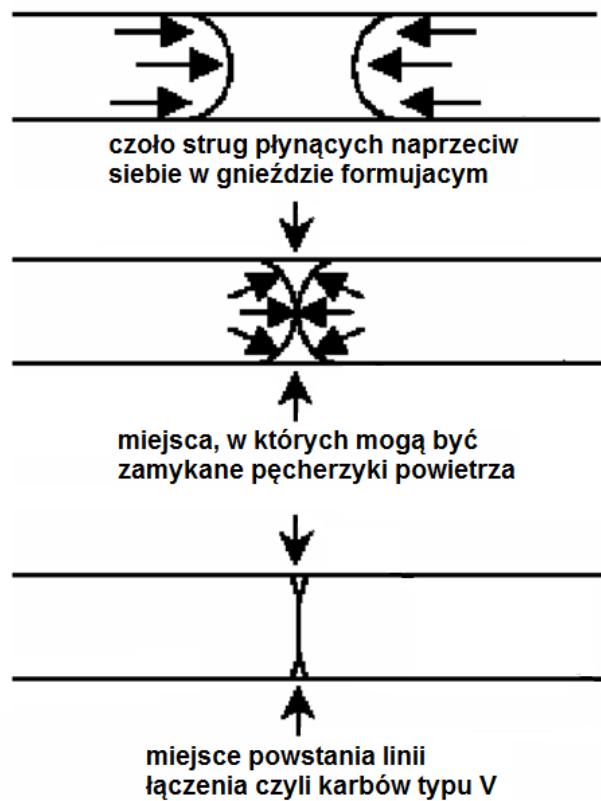
geometrii kanałów dopływowych oraz umieszczenie odpowietrzenia. Umożliwiło to uniknięcie poprawek konstruowanego narzędzia wykonywanych często metodą prób i błędów [M20, M181].

Wytwarzanie matrycy silikonowej jest pośrednią metodą *Rapid Tooling* (RT), gdyż jest ona wykonywana przez zalanie kauczukiem silikonowym modelu bazowego (tzw. modelu nominalnego otrzymanego metodami RP lub CNC). Model nominalny jest w tym przypadku wykonywany na podstawie modelu 3D-CAD [9, M13, M14, M17, M24]. Model 3D-CAD można dodatkowo użyć, z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES), do analizy procesu wypełniania płynnym tworzywem i jego zestalania w wyniku ochłodzenia lub utwardzania w matrycy. Wyniki tej analizy posłużą następnie do wspomagania projektowania matrycy.

Do przeprowadzenia analizy wypełniania gniazda formującego zastosowałem system Autodesk Moldflow Insight (*MFlow*) przeznaczony głównie do symulacji wtryskiwania tworzyw polimerowych. Program ten umożliwia wykonywanie analizy i symulacji procesów odlewania i wtryskiwania wielu tworzyw polimerowych umieszczonych w jego bazie materiałowej, a także wprowadzenie do bazy nowych tworzyw polimerowych o zbadanych właściwościach przetwórczych [M20, M127, M181]. Ze względu na to, że w bazie materiałowej nie było żadnej z żywic zastosowanych do uzyskania prototypu i nanokompozytów, do symulacji wypełniania gniazda formującego wybrałem dostępną w tym zbiorze żywicę poliestrową typu AROTRAN Q6055 (produkcji Ashland Chemical) oraz żywicę epoksydową CW229-HW5787 (produkcji Ciba Geigy), o właściwościach przetwórczych zbliżonych do badanych kompozytów. Obliczenia i analiza wyników zostały przeprowadzone dla modeli 3D-CAD kół zębatych zamodelowanych za pomocą programu CATIA.

Prace rozpocząłem od wykonania symulacji wypełniania gniazda formy bez kanału wlewowego (z tzw. wlewem bezpośrednim). W wyniku przeprowadzonych analiz wypełniania gniazd formujących (*fill*) określiłem powstawanie tzw. linii łączenia (rys. 2) pojawiających się w fazie wypełniania, gdzie następuje zetknięcie się dwóch lub więcej czoł strumieni. Jest to niekorzystne zjawisko, które może powodować osłabienie właściwości mechanicznych, oraz powstanie zapadnięć lub śladów linii łączenia na powierzchni prototypu. Kolejnym istotnym zagadnieniem było sprawdzenie czy w trakcie utwardzania żywicy nie pojawią się miejscowe przegrzania, co mogłoby powodować powstanie nadmiernych naprężeń wewnętrznych w odlewie. Następnie przeprowadziłem symulacje w celu ustalenia miejsc tzw. pułapek powietrznych (ang. *Air traps*), w których mogłoby nastąpić zamknięcie

powietrza początkowo wypełniającego matrycę. Niewielkie nadciśnienie działające na żywicę w trakcie odlewania grawitacyjnego mogłoby być nie wystarczające do usunięcia pęcherzyków powietrza z ciekłej kompozycji, co spowodowałoby osłabienie odlewu i niewłaściwe odwzorowanie powierzchni formującej gniazda.



Rys. 2. Schemat powstawania linii łączenia

Otrzymane wyniki symulacji pozwoliły mi na zaprojektowanie gniazda formującego wraz kanałem wlewowym oraz kanałami odpowietrzającymi. W ramach moich badań wykonałem wiele symulacji wypełniania gniazda formy w zależności od kształtu kanału wlewowego i miejsca usytuowania wlewka. W wyniku tych prac uzyskałem optymalne dopasowanie kształtu kanału wlewowego oraz rozmieszczenia kanałów odpowietrzających w gnieździe formującym. Przeanalizowałem także proces utwardzania żywicy w gnieździe formującym pod kątem możliwości występowania miejscowych przegrzań, powstających w wyniku nierównomiernego odprowadzania ciepła reakcji sieciowania.

Przed przystąpieniem do otrzymywania modeli, metodą przyrostową, za pomocą drukarki PolyJet wykonałem analizy symulacji wypełniania gniazda formującego z kanałem wlewowym o przekroju kołowym, którego wymiary wcześniej zaprojektowałem na podstawie analiz wypełniania. Pomogło mi w tym moje wieloletnie doświadczenie w odlewaniu różnych

prototypów modeli z wykorzystaniem technologii *Vacuum Casting* (VC) i z kanałami odpowietrzającymi. Przeanalizowałem stopień wypełniania gniazd w funkcji czasu i rodzaju żywicy. Na podstawie analizy wyników nie stwierdziłem możliwości występowania niedolewów. Symulacja odlewania nie wskazywała powstania zakłóceń w płynięciu żywicy, a ostatnim wypełnianym miejscem gniazda formującego były kanały odpowietrzające co dowodziło, że nie zostało zablokowane powietrze uwalniające się z gniazda formującego.

Elementem aplikacyjnym moich badań było zaprojektowanie technologii prototypów kół zębatach z wykorzystaniem hybrydowych nanokompozytów polimerowych metodą VC. Pracę tą podzieliłem na następujące etapy:

1. wytworzenie form silikonowych z zastosowaniem technologii VC, na które składały się następujące czynności:
 - przygotowanie modelu bazowego (techniką JS-PolyJet),
 - opracowanie konstrukcji formy, w tym zaprojektowanie i ustalenie kanałów doprowadzających ciekły materiał do formy oraz kanałów odpowietrzających, a także rozmiarów i płaszczyzn podziału formy,
 - przygotowanie zestawu modelowego i obudowy formy, a następnie wypełnienie silikonem,
 - rozformowanie i usunięcie układu modelowego,
2. otrzymanie modeli badawczych kół zębatach z hybrydowych nanokompozytów polimerowych zgodnie z następującym schematem:
 - przygotowanie nanokompozytu z wytypowanymi napełniaczami wraz z układem utwardzającym,
 - zbadanie reaktywności i czasu życia kompozycji użytej do odlewania,
 - wygrzewanie formy w zoptymalizowanej temperaturze, w zależności od rodzaju żywicy użytej do otrzymania nanokompozytu,
 - wykonanie prototypów kół zębatach metodą odlewania z wykorzystaniem próżniowej komory odlewniczej,
 - utwardzanie modelu w formie oraz jego dotwardzanie w podwyższonej temperaturze, zgodnie z zaleceniami producenta żywicy,
 - wyjęcie modelu z formy,
 - obróbka wykańczająca (usunięcie kanałów odpowietrzających i kanału wlewowego),
3. diagnostyka stabilności wymiarowej otrzymanych prototypów kół zębatach z zastosowaniem współrzędnościowej techniki pomiarowej.

Wyniki tych badań są przedmiotem publikacji [7, 8, 10-13, 15-17, 21, 25] oraz zgłoszenia patentowego [28], a także kilku wystąpień na konferencjach międzynarodowych i krajowych (**Załącznik 3 pkt II M** [7-11, 18, 45, 47, 48]).

Podsumowując, dzięki opracowanej technologii otrzymywania prototypów kół zębatych wykonywanych z hybrydowych nanokompozytów polimerowych (wprowadzeniu odpowiedniej kombinacji hybrydowych napełniaczy) metodą Vacuum Casting, uzyskałem wyraźne ograniczenie skurczu, co wpływa na poprawę dokładności wymiarowej uzyskanych części maszyn i zapewnia to bardziej poprawne działanie przekładni zębatej.

Wyniki prac własnych o charakterze teoretycznym, technologicznym i metodycznym zaprezentowane w monografii skonfrontowane z danymi literaturowymi pozwalają sformułować następujące wnioski o charakterze użytkowym:

1. wykonanie prototypu kół zębatych o dużej dokładności wymaga zastosowania systemów komputerowego wspomaganie projektowania (CATIA,) z modułami do hybrydowego modelowania 3D-CAD,
2. zastosowanie programu AutodeskMoldflowInsight pozwala na optymalizację projektowania matrycy, tzn. geometrii, liczby i geometrii kanałów dopływowych oraz umieszczenia odpowietrzenia, a także na optymalizację konstrukcji koła przez zdiagnozowanie i eliminację obszarów, w których mogą pojawić się miejscowe przegrzania lub niedotwardzenie modeli. Umożliwia to uniknięcie poprawek konstruowanego narzędzia wykonywanych często metodą prób i błędów,
3. obecność napełniaczy hybrydowych w nanokompozytach na osnowie UP, PU i EP wyraźnie wpływa na zwiększenie właściwości tiksotropowych kompozycji. Optymalna ilość napełniaczy wprowadzona do żywicy, pozwalająca na odpowiednie wypełnianie formy podczas odlewania niskociśnieniowego, mieści się w zakresie 1,5-3,0 % mas.,
4. dzięki opracowaniu hybrydowych nanonapełniaczy oraz wielostopniowej homogenizacji uzyskano nanokompozyty hybrydowe o zdecydowanie polepszonych właściwościach mechanicznych w porównaniu z właściwościami nienapełnionych żywic (znaczącą poprawę udarność bez karbu, naprężenia zrywającego oraz wyraźnego zwiększenia modułu Younga),
5. efektywne zdyspergowanie napełniaczy hybrydowych na poziomie nanometrycznym w polimerowej osnowie potwierdzono technikami WAXS, SEM i TEM. Dla wielu kompozytów stwierdzono występowanie struktury eksfoliowanej wpływającej korzystnie na właściwości mechaniczne materiału,

6. badania wykonane techniką SEM, sprzężoną z analizą EDS pozwoliły na uzasadnienie tezy, że zastosowane hybrydowe nanonapełniacze wpływają na uniepalnianie kompozytów w fazie stałej,
7. dzięki wprowadzeniu kombinacji hybrydowych napełniaczy, uzyskano ograniczenie skurczu promieniowego i osiowego badanych nanokompozytów, co spowodowało radykalną poprawę dokładności wymiarów odlewanych kół zębatych i zapewniło poprawne działanie przekładni zębatej. Najlepsze odwzorowanie wymiarów formy odlewniczej uzyskano w przypadku modeli kół zębatych otrzymanych z kompozytu EPBP1ISHP3-3,0,
8. zastosowanie do analizy geometrycznej prototypów kół zębatych bezstykowych optycznych systemów pomiarowych pozwoliło na pełną ocenę stabilności ich wymiarów w zależności od zastosowanego nanokompozytu,
9. technologia *Vacuum Casting* pozwoliła na zastosowanie tanich matryc silikonowych w miejsce kosztownych matryc metalowych na etapie przygotowania modeli badawczych przekładni zębatych. Modele prototypowe wykonane w ten sposób mogą służyć do testowania nowych konstrukcji układów przeniesienia napędów wykonanych z nanokompozytów hybrydowych.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Tematyka prowadzonych przeze mnie prac naukowo-badawczych spoza obszaru przedstawionego powyżej obejmuje następujące zagadnienia:

- a) przemysłowe zastosowanie w przetwórstwie tworzyw polimerowych nanonapełniaczy na osnowie modyfikowanych bentonitów,
- b) zastosowanie modyfikowanych bentonitów jako absorbentów par związków organicznych oraz środków grzybobójczych i zagęstników do farb, lakierów i tynków mineralnych,
- c) wykorzystanie recyklatu poliolefin do otrzymywania taśm opakowaniowych,
- d) oksybiodegradowalne mieszanki poliolefinowe,
- e) spoiwa organiczne do obróbki kształtującej surowców półfabrykatów ceramicznych.

Przemysłowe zastosowanie nanonapełniaczy na osnowie modyfikowanych bentonitów w przetwórstwie tworzyw polimerowych

W ramach współpracy z firmą Polimarky Sp. z o.o. w Rzeszowie (**załącznik nr 9 dokument nr 7**) uczestniczyłem w wielu projektach badawczych oraz wdrożeniowych, w ramach których podjąłem badania nad opracowaniem receptury i parametrów technologii otrzymywania mieszanek polimerów termoplastycznych z wykorzystaniem wytypowanych nanonapełniaczy. W ramach tej współpracy opracowano m.in.: *kompozyty poliamidowe modyfikowane udarnościami* (wyróżnione na targach VIII Międzynarodowych Targach Tworzyw Sztucznych Plastpol 2004 w Kielcach), *nanokompozyt poliamidu 6 z dodatkiem nanobentonitu* (medal na XI Międzynarodowych Targów Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych PLASTPOL 2007 w Kielcach) oraz *bezhalogenowe mieszanki kablowe*, sposób wytwarzania których został zakończony opracowaniem patentu nr PL 385725 z dnia 01.02.2010 i wdrożeniem. Ponadto wyniki badań opisałem w publikacjach [35, 39, 42; załącznik nr 3 pkt. II E]:

35. Heneczkowski M., Oleksy M. (30%), Szczerba J.: *Wysokoudarowe kompozyty poliamidu 6 – włókno szklane*
Praca zbiorowa pod redakcją Danuty Żuchowskiej i Ryszarda Stellera, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2005, s. 360-364.
39. Heneczkowski M., Oleksy M. (30%), Frańczak A.: *Kompozyty polimerowe zawierające modyfikowane bentonity*
[w:] *Materiały polimerowe*, CWA REGINA POLONIAE, 2008, s.83-90.
42. Heneczkowski M., Bachórz A., Frańczak A., Oleksy M. (20%): *Kompozycje elastomerów termoplastycznych z dodatkiem nanobentenu ZR2*
[w:] *Materiały Polimerowe*, (pod red.) Tadeusz Spychaj, Stanisława Spychaj Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego W Szczecinie, 2010, s.269-272.

Naukowy aspekt publikacji [35] polegał na wyjaśnieniu wpływu ilości i rodzaju modyfikatora poliamidu zbrojonego włóknem szklanym na poprawę odporności na uderzenie. W kolejnej pracy [39] przebadalem wpływ rodzaju nanonapełniacza na właściwości użytkowe kompozytów na osnowie poliamidu 6. Dalszym etapem badań realizowanych wspólnie z działem technologii [42] firmy Polimarky były prace mające na celu zbadanie wpływu rodzaju nanonapełniacza–Nanobentów ZR1 i ZR2 na właściwości samogasnące kompozycji elastomerów termoplastycznych.

Kierowałem pracami badawczymi w projekcie pt. *Prace przemysłowo-rozwojowe folii mikrostretch w firmie Efekt Plus w Rzeszowie* finansowanego z Programu Operacyjnego - Innowacyjna Gospodarka nr POIG. 01.04.00-18-011/10, (2011.07.01-2013.06.30) realizowanego we współpracy z firmą Efekt Plus produkującą folię „stretch” – (**załącznik nr 9 dokument nr 3**). W ramach tego projektu opracowałem wraz z zespołem badawczym

technologię nanokompozytowych folii polietylenowych z dodatkiem nanonapełniaczy warstwowych (modyfikowanych bentonitów), a także technologię recyklingu odpadów tych folii powstających w procesie przetwórstwa.

Naukowe aspekty tych prac obejmowały:

- wpływ rodzaju wytypowanego nanonapełniacza oraz jego zawartości na właściwości przetwórcze i użytkowe otrzymanych nanokompozytów poliolefinowych,
- analizę i dobór konstrukcji układu uplastyczniającego wytłaczarek jednoślindakowych do przetwarzania nanokompozytów na osnowie tworzyw poliolefinowych.

Wyniki tych prac nie zostały jeszcze opublikowane, natomiast są przedmiotem 3 zgłoszeń patentowych:

1. **PCT/PL2012/000070** Oleksey M. 30%, Heneczowski M., Budzik G., Szeliga S., Szeliga A.: *Fabrication method of pentalayer polyolefin stretch film*” (zgłoszone 09.2012 r)
2. **P-398133** Oleksey M. 30%, Heneczowski M., Budzik G., Szeliga S., Szeliga A.: *Sposób otrzymywania pięciowarstwowej folii poliolefinowej typu stretch* (zgłoszone 2012r.)
3. **P-405865** Oleksey M. 30%, Heneczowski M., Budzik G., Szeliga S., Szeliga A.: *Wielowarstwowa folia typu stretch* (zgłoszone 31.10.2013 r.)

Kolejnym etapem prac związanym z przemysłowym zastosowaniem nanonapełniaczy na osnowie modyfikowanych bentonitów były prace badawczo-wdrożeniowe *Nanokompozyty żywicy fenolowo-formaldehydowej stosowane jako impregnat siatek z włókna szklanego będących wzmocnieniem tarcz szlifierskich* prowadzone we współpracy z firmą Rymatex Sp. z o.o. w Rymanowie (**załącznik nr 9 dokument nr 8**). W ramach tych prac zespół pod moim kierunkiem przeprojektował i zmodyfikował istniejącą linię do powlekania siatek szklanych ww. nanokompozytem, spełniającą wymagania technologiczne autorskiej receptury nanokompozytu żywicy fenolowo-formaldehydowej.

Aspekt badawczy pracy polegał na sprawdzeniu wpływu budowy chemicznej modyfikatora bentonitu na właściwości użytkowe otrzymanych nanonapełniaczy zastosowanych do napełniania żywicy fenolowo-formaldehydowej, a także wpływu zmian konstrukcyjnych wałków ryflowanych na stopień przesycania siatek szklanych ww. nanokompozytem. Wyniki tych prac nie zostały jeszcze opublikowane ze względu na konieczność wcześniejszego opracowywania zgłoszenia patentowego pt. *Kompozycja rezolowej żywicy fenolowo-formaldehydowej i nanonapełniaczy sposób jej wytwarzania oraz sposób impregnowania kompozycją siatek z włókna szklanego*, które zostało wysłane do Urzędu Patentowego 11 września 2014 r.

Zastosowanie modyfikowanych bentonitów jako adsorbentów par związków organicznych, środków grzybobójczych i zagęstników do farb, lakierów oraz tynków mineralnych

Wiele prac poświęcono badaniom zastosowania bentonitów jako nowego rodzaju adsorbentów, konkurencyjnych w stosunku do węgla aktywnego i zeolitów. Przestrzenie międzypakietowe bentonitów są wypełnione modyfikatorami o określonych właściwościach. Ich rodzaj wpływa na przeznaczenie tych nowo utworzonych „sit cząsteczkowych”, gdyż spełnia on funkcję „podpórek” pakietów minerału, udostępniając tym samym duże przestrzenie dla cząsteczek stosowanych adsorbatów. Bentonity o określonym wymiarze porów można uzyskać modyfikując odpowiednio minerał wyjściowy na drodze wymiany jonowej lub przeprowadzając kalcynację gotowego produktu. W przestrzenie międzypakietowe bentonitu można wprowadzać zarówno modyfikatory organiczne, nieorganiczne, jak i kompleksy organiczno-nieorganiczne. Wyniki tych badań opisałem w publikacji [30 - załącznik nr 3 pkt IIA]:

30. Oleksy M. (60%), Heneczowski M.: *Modyfikowane bentonity jako adsorbenty par węglowodorów* Polimery, 53, (2008), s.219-223, IF=1,376

Przedmiotem moich badań opisanych w pracy [30] realizowanych w ramach kierowanego przeze mnie projektu badawczego nr 3 T09B 088 29 pt. *Modyfikowane bentonity jako wielofunkcyjne napelniacze (2005-2007)* było prześledzenie wpływu rodzaju podstawnika przy czwartorzędowym atomie azotu soli amoniowej użytej do modyfikacji bentonitów na ich właściwości adsorpcyjne. Wyniki tych prac były także prezentowane na konferencji naukowej Pomerania-Plast 2007 w formie wystąpienia pt. *Modyfikowane bentonity jako adsorbenty par związków organicznych* (autorstwa M. Oleksego i M. Heneczowskiego). Wystąpienie to zostało wyróżnione pierwszą nagrodą w organizowanym w ramach konferencji konkursie na najbardziej proekologiczny produkt/technologię.

Kolejnym zagadnieniem naukowym realizowanym w ramach ww. projektu było zbadanie wpływ dodatku bentonitów modyfikowanych IV-rz. solami amoniowymi (QAS) na właściwości biobójcze kompozycji farby emulsyjnej, lakieru akrylowego oraz tynków mineralnych. Powłoki uzyskane z przygotowanych kompozycji naniesionych na krążki gipsowe poddano działaniu grzybów pleśniowych, najczęściej wykrywanych w pomieszczeniach użytkowych: *Aspergillus niger* oraz *Penicilliumchrysogenum* Badania mikrobiologiczne prowadzono we współpracy z Katedrą Mikrobiologii Wydziału

Chemicznego Politechniki Rzeszowskiej. Oznaczono także wpływ modyfikowanych bentonitów na właściwości reologiczne badanych kompozycji farb, lakierów i tynków.

Wyniki tych prac były przedmiotem następujących publikacji:

31. Oleksy M. (60%), Lecka-Szlachta K., Heneczkowski M., Galina H.: *The effect of modified bentonites on the resistance of coating materials against mold fungi infection*, Polimery, 58 (2013), s. 118-123, IF=0,617
44. Oleksy M. (60%), Heneczkowski M., Galina H., Lecka-Szlachta K.: *The Influence of Bentonites Modified with Quaternary Ammonium Salts on Biocidal Properties of Compositions of Water-Dilutable Paints and Lacquers and Mineral Plasterst*, Wydawnictwo Instytutu Technologii Drewna, Drewno. Prace Naukowe. Doniesienia. Komunikaty, z.184 (2010), s.65-76.

oraz dwóch wystąpień konferencyjnych:

1. Heneczkowski M., Oleksy M., „Bentonity modyfikowane IV-rzędowymi solami amoniowymi do napełniania polimerów” seminarium „Farby i lakiery” w ramach Podkarpackiej Platformy Chemicznej, Rzeszów 23 wrzesień 2006
2. Oleksy M., Galina H.: Wpływ bentonitów modyfikowanych czwartorzędowymi solami amoniowymi na właściwości biobójcze kompozycji farb i lakierów wodorozcieńczalnych s.71, 2010, VII Sympozjum "Czwartorzędowe Sole Amoniove i Obszary Ich Zastosowania w Gospodarce" Poznań, 1-2.07.2010,

Wykorzystanie recyklatu poliolefin do otrzymywania taśm opakowaniowych

Byłem kierownikiem ze strony Politechniki Rzeszowskiej prac badawczo-rozwojowych prowadzonych w ramach projektu *Opracowanie technologii wytwarzania taśmy opakowaniowej z recyklatu PP* realizowanego z firmą Connect w Sokołowie Małopolskim (**załącznik nr 9 dokument nr 1**). Prace obejmowały zbadanie właściwości reologicznych recyklatów polipropylenowych (PP) stosowanych do produkcji taśm opakowaniowych oraz wytypowaniu i zoptymalizowaniu zawartości środków pomocniczych. Na podstawie wyników tych badań opracowano autorską technologię produkcji taśm opakowaniowych z wykorzystaniem recyklatów PP, która została nagrodzona Złotym Medalem na Międzynarodowych Targach Techniki i Logistyki „Taropak” w Poznaniu w 2012 roku.

Wyniki badań nie zostały jeszcze opublikowane z powodu trwających prac nad opracowaniem dwóch wzorów użytkowych i przygotowaniu zgłoszenia patentowego.

Oksybiodegradowalne mieszanki poliolefinowe

W ramach kolejnej współpracy z jednym z największych przetwórców tworzyw sztucznych w Europie Marma Polskie Folie (**załącznik nr 9 dokument nr 2**) podjąłem badania w ramach projektu nr POIG 04.01.00-18-041/09, zatytułowanego: *Opracowanie i wdrożenie produkcji folii opakowaniowych z pamięcią kształtu o sterowanej*

oksybiodegradowalności, gdzie byłem kierownikiem prac badawczych dwóch etapów zadania pt. Badanie struktury próbek mieszanek PEHD, PELD i PP z wybranymi modyfikowanymi bentonitami w zakresie barierowości (przenikania pary wodnej) według metody LYSSY oraz walidacja parametrów fizykochemicznych próbek w zakresie barierowości metodą Lyssy.

Wyniki tych prac były przedmiotem patentu:

1. **PL394655**, Sobkowiak A., Heneczowski M., Szczepanik A., Machlarz R., Oleksy M. (5%), Fier E., Fudali B., Galińska J., Kiszka J., Nykiel M., Rodzeń M., Stachowicz K.: *Folie poliolefinowe o sterowanej oksybiodegradowalności i sposób ich wytwarzania* (zgłoszone 20.04.2011 r. decyzja o przyznaniu patentu z dnia 1.09.2013 r)

Spoiwa organiczne do obróbki kształtującej surowców półfabrykatów ceramicznych

Wysokie koszty wytwarzania ceramiki specjalnej o złożonych kształtach stanowiące nawet 80% ogólnych kosztów wytwarzania powodują, że dąży się do opracowania nowych metod formowania umożliwiających otrzymywanie złożonych kształtów (np. *gel casting*), a także do opracowania nowych spoiw organicznych umożliwiających obróbkę kształtującą surowych półfabrykatów uformowanych w procesie prasowania – najczęstszym sposobem formowania w przemyśle ceramicznym.

Badania prowadziłem w ramach dwóch projektów badawczych w których byłem wykonawcą; nr 4 T 09B 125 22 pt. *Zastosowanie hydrożeli polimerowych do procesu formowania wyrobów ceramicznych metodą odlewania z gęstwy żelującej* i 3T09 B04828 pt. *Ceramiczne tworzywa porowate o strukturze piany wytwarzane metodą odlewania z gęstwy żelującej*; badania nad nowymi spoiwami akrylowymi i poliuretanowymi przeznaczonymi do obróbki kształtującej surowych półfabrykatów z tlenku glinu. Wyniki tych badań zostały opublikowane w pracach:

29. Potoczek M., Heneczowski M., Oleksy M. (10%): *A new polyurethane binder providing high green strength of dry pressed alumina*
Ceramics International, 2003, 29, 259 IF=0,704
53. Potoczek M., Oleksy M. (20%), Otrzymywanie mulitu metodą Zol-Żel
Szkło i ceramika, 52 (2001) s.30-33.

**PODSUMOWNIE TABELARYCZNE OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH
PO DOKTORACIE**

Publikacje naukowe

Rodzaj publikacji	Razem
Monografie	1
Rozdziały w monografiach	14
Publikacje w czasopismach z bazy Journal Citation Reports	22
Publikacje w czasopismach zagranicznych nie znajdujących się w bazie Journal Citation Reports	4
Publikacje w ogólnokrajowych czasopismach naukowych	23
Patenty	7
Zgłoszenia patentowe	10
Razem	81

Sumaryczny impact factor, liczba cytowani i indeks Hirscha publikacji naukowych

Sumaryczny IF dla artykułów w bazie Journal Citation Reports zgodnie z rokiem opublikowania	17,622
Sumaryczna liczba cytowań opublikowanych artykułów wg Web of Science	102
Liczba cytowani bez autocytowań i cytowań współautorów wg Web of Science	59
Indeks Hirscha wg Web of Science	6

Udział w projektach badawczych

Rodzaj projektu	Kierownik	Wykonawca	Razem
Projekty badawcze	2	2	4
Projekty badawczo-wdrożeniowe/badawczo-rozwojowe	2	2	4
Projekty celowe	0	2	2
Projekty kluczowe	0	1	1
Projekty zamawiane	0	1	1
Prace naukowo-badawcze dla podmiotów gospodarczych	2	10	12
Razem	6	18	24

Wystąpienia konferencyjne:

Konferencje międzynarodowe	18
Konferencje krajowe	33
Razem	51

Wykaz wszystkich opublikowanych prac habilitanta znajduje się w Załączniku nr 3.

