

Załącznik II

AUTOREFERAT Opis dorobku i osiągnięć naukowych

Dr inż. Tomasz Oniszcuk
Katedra Inżynierii Procesowej
Wydział Inżynierii Produkcji
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Doświadczalna 44
20-280 Lublin
e-mail: tomasz.oniszcuk@up.lublin.pl

Lublin 2016

SPIS TREŚCI

1. Dane personalne	3
2. Posiadane dyplomy i stopnie naukowe	3
3. Informacja o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.....	3
4. Wskazanie osiągnięcia.....	4
4.1. Określenie osiągnięcia.....	4
4.2. Wprowadzenie.....	5
4.3. Cel i zakres osiągnięcia	10
4.4. Omówienie osiągnięcia naukowego	10
4.5. Podsumowanie.....	20
4.6. Literatura	22
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych	25
6. Podsumowanie dorobku naukowo-badawczego	30

1. DANE PERSONALNE

Imię i Nazwisko: **Tomasz Oniszczyk**

Miejsce pracy:

Dr inż. Tomasz Oniszczyk
Katedra Inżynierii Procesowej
Wydział Inżynierii Produkcji
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
ul. Doświadczalna 44
20-280 Lublin

2. POSIADANE DYPLOMY, STOPNIE NAUKOWE – Z PODANIEM NAZWY, MIEJSCA I ROKU ICH UZYSKANIA ORAZ TYTUŁU ROZPRAWY DOKTORSKIEJ:

- a) **magister inżynier**, kierunek: technika rolno-spożywcza, Akademia Rolnicza w Lublinie, Wydział Techniki Rolniczej, 16.06.1999 r., temat pracy magisterskiej: *„Perspektywy rozwoju rynku krajowego na suchą karmę dla psów i kotów”*;
Promotor: prof. dr hab. Leszek Mościcki
- b) **doktor nauk rolniczych** w zakresie inżynierii rolniczej, specjalność – inżynieria przemysłu rolno-spożywczego, Rada Wydziału Inżynierii Produkcji Akademii Rolniczej w Lublinie, 29.06.2006 r., temat pracy doktorskiej: *„Wpływ parametrów procesu wtryskiwania na właściwości fizyczne skrobiowych materiałów opakowaniowych”*;
Promotorzy: prof. dr hab. Leszek Mościcki, prof. Dr Ir L. P. B. M. Janssen

3. INFORMACJE O DOTYCHCZASOWYM ZATRUDNIENIU W JEDNOSTKACH NAUKOWYCH:

01.09.1999 – 01.10.2006	Stanowisko: asystent Akademia Rolnicza w Lublinie Wydział Techniki Rolniczej (od 01.10.2003 r. Wydział Inżynierii Produkcji) Katedra Inżynierii Procesowej
01.10.2006 – obecnie	Stanowisko: adiunkt Akademia Rolnicza w Lublinie (od 17.04.2008 r. Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie) Wydział Inżynierii Produkcji Katedra Inżynierii Procesowej

4. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA WYNIKAJĄCEGO 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. USTAW NR 65, POZ. 595, ZE ZMIANAMI: DZ. U. Z 2005 NR 164, POZ. 1365, ORAZ DZ. U. Z 2001 R., NR 84, POZ. 455):

4.1. OKREŚLENIE OSIĄGNIĘCIA

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego

**”TECHNICZNO-TECHNOLOGICZNE ASPEKTY WYTWARZANIA
BIOKOMPOZYTÓW SKROBIOWYCH METODĄ EKSTRUZJI”**

Osiągnięcie dokumentuje **cykl 7 publikacji powiązanych tematycznie**, wydanych po uzyskaniu przez wnioskodawcę stopnia naukowego doktora.

b) wykaz prac dokumentujący osiągnięcie naukowe:

- O1. Mościcki L., Mitrus M., Wójtowicz A., **Oniszczyk T.**, Rejak A., Janssen L., 2012. Application of extrusion-cooking for processing of thermoplastic starch (TPS), Food Research International, vol. 47, 291-299. (40 pkt wg MNiSW^b; IF₂₀₁₂ = 3,005^a).
- O2. **Oniszczyk T.**, Mościcki L., 2011. Production of biodegradable packaging materials by extrusion-cooking, Teka Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, 1, 252-260. (6 pkt wg MNiSW^b).
- O3. **Oniszczyk T.**, Piławka R., 2013. Wpływ dodatku włókien celulozowych na wytrzymałość termiczną skrobi termoplastycznej, Przemysł Chemiczny, 2, 265-269. (15 pkt wg MNiSW^b; IF₂₀₁₃ = 0,367^a).
- O4. **Oniszczyk T.**, Muszyński S., Kwaśniewska A., 2015. Ocena właściwości sorpcyjnych granulatów skrobi termoplastycznej, Przemysł Chemiczny, 10, 1752-1756. (15 pkt wg MNiSW^b; IF₂₀₁₅ = 0,399^a).
- O5. **Oniszczyk T.**, Wójtowicz A., Mościcki L., Rejak A., Combrzyński M., 2014. Characteristics of selected rheological properties of water suspensions of maize TPS biocomposites, Teka Commission of Motorization and Energetics in Agriculture, 4, 119-123. (6 pkt wg MNiSW^b).
- O6. **Oniszczyk T.**, Mitrus M., Wójtowicz A., Mościcki L., 2015. Dodatek kory w produkcji biokompozytów skrobiowych, Przemysł Chemiczny, 10, 1748-1751. (15 pkt wg MNiSW^b; IF₂₀₁₅ = 0,399^a).

07. **Oniszczyk T.** 2014. Badanie wytrzymałości wyprasek biopolimerowych z dodatkiem włókien lnianych, Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych, 578, 81-90. (9 pkt wg MNiSW^b).

ŁĄCZNIE (OSIĄGNIĘCIE):

- Impact factor	4,17^a
- Punkty MNiSW	106^b

^a IF w roku wydania publikacji, w przypadku publikacji z roku 2015 podano ostatni dostępny IF₂₀₁₄

^b Punktacja MNiSW określona według roku wydania publikacji, w przypadku braku danych przy publikacji z roku 2015, przyjęto aktualną punktację z listy z dnia 31 grudnia 2014

Wkład wnioskodawcy w powstanie każdej z ww. publikacji obejmował autorstwo hipotez i koncepcji badawczych oraz wykonanie doświadczeń, analizę, opracowanie wyników badań i dyskusję, jak również przygotowanie manuskryptów. Oświadczenia współautorów, wraz z określeniem ich indywidualnego wkładu w powstanie prac zawarte są w zał. III.

c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

4.2. WPROWADZENIE

Na przestrzeni ostatnich kilkudziesięciu lat tworzywa sztuczne są wszechobecne we wszystkich dziedzinach życia człowieka. W obecnych czasach niewyobrażalne jest niestosowanie tworzyw sztucznych w produkcji opakowań, zabawek, samochodów, wyrobów medycznych itp. Oprócz ogromnych korzyści wynikających z wykorzystania tych materiałów, obserwujemy negatywne aspekty ich oddziaływania. Problem zagospodarowania opakowań po czasie ich użytkowania jest jednym z najpoważniejszych wyzwań społeczności XXI wieku. W ostatnich dziesięcioleciach liczba ludności zwiększyła się kilkukrotnie. Wzrosła więc także konsumpcja, która „sterowana” poprzez odpowiednie narzędzia marketingowe, przyczyniła się do zwiększenia liczby produkowanych opakowań. Przyjmuje się, że to koniec XX wieku przyniósł znaczące zmiany w rozwoju opakowalnictwa (Combrzyński 2015). Przed opakowaniami postawiono nowe zadania. Bodźcem do tego było pojawienie się sklepów wielkopowierzchniowych, usprawnienie formy sprzedaży towarów poprzez wprowadzenie kodów kreskowych oraz wzrost zapotrzebowania na opakowania jednorazowe. Coraz większe znaczenie obok ceny, jakości i atrakcyjnego wyglądu, zyskuje wizerunek ekologiczny towaru, w tym i opakowania. Tworząc nowe opakowania należy wyprzedzić

oczekiwania klientów. Obecnie, mając do dyspozycji pełne półki produktów, wybierają te, które budzą emocje swoim wizerunkiem (Combrzyński 2015).

Wszechobecny niepokój o stan środowiska naturalnego stał się powodem zainteresowania tworzywami, które po krótkim czasie eksploatacji ulegają degradacji. Panująca dziś moda na ekologię, wynikająca z coraz większej świadomości proekologicznej społeczeństw wielu krajów, przyczynia się skutecznie do rozwoju badań nad tworzywami biodegradowalnymi.

Ważną grupę wśród tworzyw ulegających szybkiej biodegradacji stanowią materiały pochodzenia naturalnego, produkowane na bazie różnych rodzajów skrobi (Mościcki i in. 2012, Janssen i Mościcki 2009, Oniszczyk i in. 2013). Skrobia jest dziś stosowana w wielu gałęziach przemysłu spożywczego, papierniczego, tekstylnego i farmaceutycznego. Po raz pierwszy skrobię, jako wypełniacz (dodatek wypełniający) do tworzyw sztucznych, wykorzystał Griffin (Griffin 1994). Obecnie można znaleźć na rynku folie z polietylenu z domieszką skrobi oraz inne wyroby na bazie tego polocukru. W technologiach wykorzystujących natywną skrobię, jej udział jako dodatku, jest ograniczony do maksymalnie 10% masowych. Ostatecznym celem realizowanych obecnie prac badawczych jest wytworzenie z samej tylko skrobi materiału, nadającego się do produkcji komercyjnych przedmiotów jednorazowego użytku takich jak: talerzyki, widelce, kubki, a także przeznaczonych do celów ogrodniczych np. na doniczki do rozsad.

Nieprzetworzona skrobia, aby mogła być dalej wykorzystywana jako tworzywo biodegradowalne, musi zostać przekształcona w skrobię termoplastyczną (*TPS – thermoplastic starch*). Biopolimer otrzymywany jest po uprzednim wymieszaniu skrobi z plastyfikatorem (często gliceryną) tak, aby umożliwić upłynnienie materiału w temperaturze niższej niż temperatura rozkładu skrobi, np. podczas procesu ekstruzji. Głównymi zaletami skrobi są: zdolność do biodegradacji, dostępność, stosunkowo niski koszt i łatwość do chemicznej modyfikacji (Teixeira i in. 2007, Labet i in. 2007, Mościcki i in. 2007, Zhang i in. 2013). Właściwości TPS są uzależnione od botanicznego pochodzenia skrobi, a ściślej – od stosunku dwóch głównych komponentów – liniowej amylozy i rozgałęzionej amylopektyny. Istnieje wiele badań dotyczących wpływu zawartości amylozy i amylopektyny na właściwości finalnych materiałów wyprodukowanych na bazie skrobi (Zou i in. 2012). Stwierdzono, że TPS wykonana ze skrobi o wysokiej zawartości amylozy posiada lepsze właściwości termiczne i mechaniczne, jednak jej przetwarzanie (w szczególności ekstrudowanie) jest znacznie trudniejsze (Liu i in. 2009). Niestety, czysta skrobia termoplastyczna obciążona jest wadami. Należą do nich: mała wytrzymałość mechaniczna

(kruchosc) oraz wysoka wzraliwosc na czynniki srodowiska, np. wilgoc (Carvalho i in. 2003, Li i in. 2013).

W celu poprawy wlasciwosci fizycznych biopolimerow skrobiowych, a niekiedy obnizenia ceny gotowego wyrobu, do tworzyw tych dodaje sie roznego rodzaju wypeelniacze i nozniki. Wypeelniacze wplywaja na wlasciwosci mechaniczne, technologiczne, fizyczne i chemiczne gotowego wyrobu. Zaleznie od pochodzenia wypeelniacze dzieli sie na organiczne i nieorganiczne, a biorac pod uwage postać w ktorej wystepuja - na sproszkowane, wlokniste i blaszkowate. Mozemy do nich zaliczyc: emulgatory, celuloze, wloknna roslinna, kore, kaolin, pektyny lub odpady z przemyslu drzewnego. Wypeelniacze maja duzy wplyw na wlasciwosci technologiczne polimerow (Ayse i Mohini 2008, Singleton i in. 2003, Carvalho i in. 2001, Mohanty i in. 2000, Zhang i in. 2005). Zastosowanie kompozytow, zawierajacych wloknna naturalne, uzaleznione jest od kosztow produkcji gotowych wyrobow i ich wlasciwosci funkcjonalnych. Wloknna naturalne, w porownaniu z tradycyjnymi wloknami, stosowanymi do produkcji kompozytow, takimi jak wloknna węglove czy szklane, posiadaja pewna przewage np. niski koszt pozyskania, niska gestosc, wysoka twardosc, spojnosć, akceptowalna sztywносć i wlasciwosci mechaniczne, latwosc obróbki a przede wszystkim biodegradowalnosc (Mohanty i in. 2001, Baley 2002).

Na poczatkku XX wieku z mieszanek żywicy i wlokn naturalnych wykonano, po raz pierwszy, siedzenia oraz zbiorniki samolotow. Wloknna naturalne, wykorzystywane jako material konstrukcyjny w budownictwie, byly znane w starozytnym Egipcie. Do budowy domow stosowano mieszanke gliny, piasku i cietych kawalkow slomy, ktore po wyschnieciu na sloncu stanowiły pierwszy konstrukcyjny material kompozytowy (Bledzki i in. 1999).

W Indiach do produkcji kompozytow wykorzystywane sa, przede wszystkim, wloknna jutowe, z ktorych w polaczeniu z matryca poliestrowa, produkowane sa rury, profile konstrukcyjne, plyty, panele (Mohanty i in., 2001). Rzad indyjski promuje duze projekty zwiazane z wykorzystaniem wlokn naturalnych w budownictwie (Bledzki i in. 1999). Wloknna naturalne staja sie jednymi z podstawowych dodatkow stosowanych w produkcji kompozytow. Oszacowano, ze w Stanach Zjednoczonych zapotrzebowanie na wloknna naturalne w przemyśle samochodowym moze wzrastac co roku o 30%, a w sektorze budowlanym nawet o 60% rocznie.

Obecnie bardzo dynamicznie wzrasta wykorzystanie wlokn naturalnych w przetworstwie polimerow termoplastycznych. Przepisy prawne (szczegolnie w USA) spowodowaly zwrot w kierunku projektowania kompozytow, w ktorych wloknna syntetyczne

zastępowane są włóknami naturalnymi (Mościcki i in. 2007, Oksman i in 2003, Stamboulis in. 2000, Zhang i in. 2005).

Produkcja biopolimerów skrobiowych możliwa jest z wykorzystaniem maszyn i urządzeń stosowanych przy wytwarzaniu polimerów syntetycznych oraz, co jest nowością, ekstruderów spożywczych. Klasyczne wyłaczarki, stosowane w produkcji tworzyw sztucznych, nie są w stanie przetworzyć surowców skrobiowych w taki sposób, aby nadać im pożądane cechy jakościowe. Ekstrudery spożywcze posiadają specyficzny układ plastyfikujący tzn. rowkowanie cylindra oraz zmienną konfigurację ślimaków.

W przebiegu ekstruzji, poprzez oddziaływanie wysokiej temperatury, ciśnienia i sił ścinających, zachodzi proces kleikowania skrobi, na skutek którego zmieniają się jej cechy fizyczne i chemiczne. Technika ekstruzji może wpływać decydująco na ostateczne cechy końcowego produktu. Zmiana konfiguracji ślimaków tłoczących, wprowadzenie ogrzewania lub chłodzenia poszczególnych części ekstrudera oraz użycie matryc formujących o zróżnicowanych kształtach, umożliwiają wykorzystanie jednego urządzenia do wytworzenia szerokiego asortymentu wyrobów ekstrudowanych. Proces produkcji biopolimerów może być prowadzony z zastosowaniem ekstruderów jedno- i dwuślimakowych.

Konieczność zachowania zdrowych proporcji między względami ekonomicznymi a ekologicznymi przyczyniła się do wprowadzenia biokompozytów do przemysłu motoryzacyjnego, meblarskiego, opakowaniowego i budownictwa. Producenci samochodów, dążąc do zredukowania ich masy, zastępują elementy stalowe aluminiowymi, z tworzyw sztucznych, a przede wszystkim z kompozytów. Szacuje się, że w najbliższej przyszłości polimery i kompozyty biopolimerowe stanowić będą ok. 20% masy samochodu. Firmy motoryzacyjne sukcesywnie zwiększają udział tworzyw zawierających włókna naturalne, co umożliwi zredukowanie masy i kosztów produkcji samochodów. W Europie Daimler-Chrysler wykorzystuje włókna lniane i konopne do produkcji wybranych elementów w swoich samochodach np. osłon silników (Mohanty i in. 2000).

Podstawowym problemem, związanym z odpowiednim zastosowaniem włókien, jest ich ogromna różnorodność, jakość, a przede wszystkim właściwości mechaniczne. Włókna syntetyczne, takie jak włókna szklane, węglowe posiadają stałe właściwości fizycznych, podczas gdy właściwości fizyczne włókien naturalnych zależą od wielu czynników np. miejsca pochodzenia, wieku rośliny, od tego czy włókna zostały pozyskane z liści czy też z łodygi, procesu samego pozyskania włókien i ich przygotowania.

Obostrzenia prawne pociągają za sobą konieczność wprowadzania na rynek materiałów przyjaznych środowisku, wytwarzanych z surowców odnawialnych i wzrostu

ich roli w światowej produkcji, głównie w sektorze materiałów opakowaniowych. Tworzywa biodegradowalne, oparte na skrobi, mimo wyższych kosztów wytwarzania, są konkurencją dla tradycyjnych kompozytów. W ostatnich latach, mimo kryzysu gospodarczego, rynek opakowań biodegradowalnych rozwija się bardzo dynamicznie, szczególnie w Europie. Zaobserwowano 20-30% wzrost sprzedaży biopolimerów w skali roku. Potencjał produkcyjny biotworzyw w roku 2011 wynosił ok. 1 161 200 ton. Szacuje się natomiast, że w 2016 roku osiągnie on prawie 5 800 000 ton. Spodziewany jest stały rozwój tego segmentu rynku w ciągu następnych kilkunastu lat. Znaczny wpływ na wzrost produkcji bioplastyków ma ich coraz szersze zastosowanie, poczynając od przemysłu motoryzacyjnego, zabawkarskiego i opakowaniowego, po wytwarzanie elementów urządzeń elektronicznych. Prężnie rozwijający się sektor wytrzymałych tworzyw pochodzenia biologicznego znalazł się w obszarze zainteresowania, przede wszystkim rynku opakowań. Wielu wytwórców wprowadza na rynek produkty zapakowane w biotworzywa (głównie z PLA – kwasu polimlekowego uzyskiwanego skomplikowanymi i kosztownymi metodami biotechnologicznymi) (Plastice 2013).

Bardzo duże wyzwanie stanowi całkowita substytucja tradycyjnych polimerów materiałami biodegradowalnymi, które będą stabilne w czasie użytkowania oraz wywrą pozytywne oddziaływanie na środowisko naturalne, po okresie degradacji. Opracowanie technologii produkcji biopolimerów skrobiowych jest ogromną szansą dla terenów typowo rolniczych. Grupy producenckie, duże gospodarstwa rolne czy miejscowi przedsiębiorcy mogliby zagospodarowywać nadwyżki skrobi, a także pozostające na rynku odpady poprodukcyjne w postaci włókien. Nowa technologia w znaczny sposób podniesie konkurencyjność i poziom innowacji rodzimych przetwórców. Dzięki innowacyjnemu zastosowaniu ekstruderów spożywczych w przetwórstwie skrobi termoplastycznej TPS możliwe jest, w razie potrzeby, szybkie przebranżowienie się i wytwarzanie szerokiego asortymentu ekstrudatów paszowych, czy też spożywczych.

Coraz więcej firm uświadamia sobie korzystne oddziaływanie, sprzyjających ekologii poczyną, na postrzeganie marki. Komercjalizacja polimerów biodegradowalnych nie jest łatwa, biorąc pod uwagę konkurencję cenową z niedrogimi tworzywami sztucznymi. Jednakże zaangażowanie ośrodków naukowych i przemysłowych w rozwój tzw. „zielonych technologii” ma potencjał, by wywrzeć pozytywny wpływ na uzyskanie równowagi pomiędzy względami ekonomicznymi, a ochroną przyrody. Materiały uważane dotychczas za drogie i nieopłacalne, w przyszłości będą najprawdopodobniej stanowić jedyną możliwość, by utrzymać optymalny rozwój społeczny bez postępującej degradacji środowiska.

4.3. CEL I ZAKRES OSIĄGNIĘCIA

Celem badań prowadzonych i zaprezentowanych w **publikacjach nr O1 – nr O7** stanowiących osiągnięcie naukowe było:

- określenie możliwości zastosowania ekstrudera spożywczego TS-45 do produkcji ekstrudatów skrobi termoplastycznej (TPS), (**O1, O2, O7**),
- możliwość zastosowania granulatów TPS do produkcji folii opakowaniowych oraz form sztywnych opakowań, (**O1, O7**),
- analiza wybranych uwarunkowań procesu ekstruzji biokompozytów skrobiowych w kontekście oceny jego efektywności, (**O2**),
- analiza przydatności włókien roślinnych jako wypełniacza w procesie produkcji biopolimerów skrobiowych, (**O3, O5, O6, O7**),
- określenie warunków sorpcyjnych wybranych granulatów TPS, (**O4**),
- określenie optymalnych parametrów przebiegu procesu ekstruzji biopolimerów skrobiowych z dodatkiem wypełniaczy z punktu widzenia jakości otrzymanego produktu (formy sztywne opakowań). (**O2, O3, O6, O7**).

4.4. OMÓWIENIE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Wraz z rozwojem gospodarczym i postępowaniem cywilizacyjnym, na całym świecie rośnie produkcja różnego rodzaju tworzyw sztucznych. Konsumenci krajów zachodnich, o wyższym dochodzie narodowym, mają coraz bardziej wyrafinowane wymagania, co do jakości produktów, ich wyglądu zewnętrznego, jak też jakości opakowań. Tylko część zużytych opakowań poddawana jest recyklingowi, wiąże się to z wysokimi kosztami oraz stosunkowo niskim poziomem selektywnej zbiórki, reszta natomiast trafia na wysypiska. Rosnąca ilość składowanych odpadów stanowi duże obciążenie dla środowiska naturalnego. Większość z tych odpadów to odporne na degradację polimery sztuczne, które bardzo długo rozkładają się w środowisku naturalnym. Alternatywą dla klasycznych materiałów opakowaniowych stają się biopolimery wytwarzane na bazie skrobi. TPS (skrobia termoplastyczna) uzyskiwana jest w procesie ekstruzji, po obróbce ciśnieniowo-termicznej różnych rodzajów skrobi, wymieszanych z dodatkami funkcjonalnymi w ściśle określonych warunkach procesu. Dobór odpowiednich parametrów procesu ekstruzji tj. temperatury procesu, prędkości obrotowej

ślimaka ekstrudera, wilgotności mieszanki surowcowej, czy ilości dodatków funkcjonalnych, znacząco rzutuje na właściwości użytkowe biopolimerów.

Największy wpływ na zmiany właściwości mechanicznych skrobi ma ilość użytego plastyfikatora oraz substancji pomocniczych. Znaczenie ma także temperatura, w której została przetworzona i poziom dowolienia. W procesie otrzymywania skrobi termoplastycznej dąży się przede wszystkim do maksymalnego przetworzenia ziarenek skrobi, poprzez poddanie jej procesowi termicznej i mechanicznej obróbki. Dzięki zawartości dużej ilości wiązań wodorowych pomiędzy rodnikami hydroksylowymi, skrobia wykazuje znaczną wytrzymałość mechaniczną na rozrywanie. Najczęściej stosowane plastyfikatory, takie jak gliceryna, glikol czy sorbitol, posiadają takie same rodniki hydroksylowe, jak te występujące w skrobi, przez co są one kompatybilne z makrocząsteczkami skrobi. Związki te działają jak rozcieńczalniki i wraz ze wzrostem ich zawartości maleją wzajemne oddziaływania między cząsteczkami skrobi, co prowadzi do obniżenia jej wytrzymałości mechanicznej na rozerwanie. Jednocześnie działają one jak plastyfikatory, co poprawia ruchliwość makrocząsteczek prowadząc do wzrostu wydłużenia procentowego (Oniszczyk 2015).

Rodzaj skrobi oraz zastosowanych dodatków (wypełniaczy, plastyfikatorów) wpływa na właściwości fizyczne TPS. Jest to bardzo ważne przy wyborze surowców do produkcji tworzyw biodegradowalnych, gdyż umożliwia optymalizację właściwości mieszanek opartych na TPS w kierunku zastosowań przemysłowych produktów z nich wykonanych (Wollerdorfer i Bader 1998, Ma i in. 2005, Liu i in. 2011).

W związku z tym, podjęto badania dotyczące możliwości zastosowania różnych rodzajów skrobi w produkcji biopolimerów. W pracy **O1** omówiono zagadnienia związane z przetwarzaniem skrobi ziemniaczanej w celu uzyskania TPS do produkcji materiałów opakowaniowych o różnych zastosowaniach przemysłowych.

Badania obejmowały:

- wpływ udziału procentowego plastyfikatora, temperatury procesu i sił ścinających na lepkość uzyskiwanej skrobi termoplastycznej (symulacja procesu ekstruzji - komora ścinania),
- dobór optymalnego rodzaju i ilości plastyfikatora w mieszance surowcowej,
- proces ekstruzji skrobi ziemniaczanej z wykorzystaniem ekstrudera spożywczego TS-45,

- określenie temperatury przejścia szklanego granulatu TPS z wykorzystaniem skaningowej kalorymetrii różnicowej DSC w celu doboru optymalnych warunków przetwarzania granulatu na cele opakowaniowe,
- badanie właściwości lepko-sprężystych granulatu TPS,
- analizę mikrostruktury granulatu TPS w zależności od zastosowanej ilości plastyfikatora z wykorzystaniem elektronowego mikroskopu skaningowego,
- wytworzenie folii biopolimerowej metodą wytłaczania z rozdmuchem,
- wytworzenie form sztywnych metodą wtrysku wysokociśnieniowego, przeznaczonych do badań cech fizycznych biopolimeru.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że na właściwości fizyczne skrobi termoplastycznej duży wpływ ma zawartość plastyfikatora w postaci gliceryny lub wody. Wyższa zawartość gliceryny ułatwia proces topnienia. Dodatek gliceryny i wody wpływa na obniżenie wartości sił ścinających w procesie ekstruzji TPS. Zastosowanie podwyższonej temperatury i sił ścinających powoduje rozerwanie łańcuchów skrobi i rzutuje na obniżenie jej lepkości po procesie.

Zastosowanie techniki ekstruzji, dobrze znanej w sektorze rolno-spożywczym, pozwala na wytworzenie wysokiej jakości granulatu skrobi termoplastycznej. Ekstruder spożywczy TS-45 został przeprojektowany i dostosowany do przetwarzania surowców roślinnych w postaci skrobi, na biopolimery (skrobię termoplastyczną). Przetwarzanie skrobi termoplastycznej z wykorzystaniem klasycznych wytłaczarek stosowanych w przetwórstwie tworzyw sztucznych nie jest polecane, ze względu na różnice konstrukcyjne (brak rowkowania cylindra wytłaczarki) oraz na konieczność eksperymentalnego doboru parametrów procesu ekstruzji.

Podczas procesu obróbki ciśnieniowo – termicznej skrobi gliceryna, jako plastyfikator, wnika do ziarenek skrobi i niszczy jej strukturę krystaliczną. Analiza zdjęć wykonanych mikroskopem skaningowym (SEM), potwierdziła zróżnicowaną strukturę skrobi termoplastycznej. Wraz ze wzrostem zawartości gliceryny w mieszance, struktura TPS stawała się jednorodna.

Proces produkcji form sztywnych opakowań, jak też folii opakowaniowej, jest dwuetapowy. W pierwszym etapie, konieczne jest wytworzenie granulatu skrobi termoplastycznej, z wykorzystaniem techniki ekstruzji. Granulat ten możemy przetwarzać wykorzystując wtryskarki (formy sztywne) oraz wytłaczarki (folie). Zastosowanie typowej wtryskarki ślimakowej daje możliwość produkcji biodegradowalnych materiałów

opakowaniowych. Proponowany zakres temperatury wtrysku (120°C – 180°C) granulatów TPS gwarantuje uzyskanie wysokiej jakości form sztywnych, bez widocznych uszkodzeń czy też pęcherzyków pary wodnej. Najwyższą wytrzymałością, w teście na rozciąganie, charakteryzowały się wypraski wytworzone z granulatów zawierających 22% gliceryny w całym zakresie stosowanych temperatur wtryskiwania tworzywa. Zwiększenie zawartości gliceryny w przetwarzanym materiale oraz wzrost temperatury wtrysku tworzywa wpłynęły na wzrost elastyczności wyprasek. Wzrost udziału procentowego gliceryny w mieszance wpływał wyraźnie na zwiększenie skurczu pierwotnego wyprasek. Najniższe wartości skurczu pierwotnego próbek zaobserwowano przy temperaturze wtrysku tworzywa 180°C .

Produkcja folii biopolimerowej z termoplastycznej skrobi ziemniaczanej jest możliwa dzięki zastosowaniu techniki wytłaczania z rozdmuchem. Konieczne jest nieznaczne przeprojektowanie układu plastyfikującego wytłaczarki oraz zoptymalizowanie warunków procesu wytłaczania w zależności od zastosowanych ilości plastyfikatora w mieszankach surowcowych TPS. Rezultaty pomiarów właściwości mechanicznych folii biopolimerowych zależą od parametrów procesu ekstruzji granulatu skrobi termoplastycznej, zawartości plastyfikatora w mieszance oraz temperatury procesu wytłaczania. Najlepszą jakościowo folię uzyskano stosując do jej produkcji granulaty ziemniaczanej skrobi TPS z 22% zawartością gliceryny i temperaturę przetwarzania w przedziale 110°C – 140°C , przy prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera $90 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$.

Jakkolwiek właściwości mechaniczne prezentowanych form sztywnych oraz folii nie są satysfakcjonujące, powyższe badania pomogły zoptymalizować parametry przetwórcze skrobi termoplastycznej. Należało zwrócić uwagę na dobór odpowiedniej kompozycji mieszanek wykorzystywanych w procesie ekstruzji (ich wilgotność, zawartość plastyfikatora, rodzaj zastosowanej skrobi). Dzięki zdobytym doświadczeniom, możliwe było opracowanie nowych mieszanek surowcowych oraz zastosowanie dodatków funkcjonalnych, w znaczący sposób poprawiających właściwości użytkowe biopolimerów skrobiowych.

Kolejnym, bardzo istotnym aspektem, związanym z wytwarzaniem materiałów biopolimerowych, była ocena energochłonności i wydajności procesu ekstruzji. Zaprezentowano je w pracy **O2**. W przeprowadzonych badaniach, do produkcji skrobi termoplastycznej, zastosowano skrobię kukurydzianą, która jest popularna w Ameryce Południowej, Północnej i Azji. W regionach tych produkuje się obecnie ok. 90% materiałów biodegradowalnych na świecie.

Badania obejmowały:

- określenie wpływu dodatku włókien celulozowych, lnianych i mielonej kory na wydajność i energochłonność procesu ekstruzji skrobi TPS,
- określenie ilości procentowej dodatku włókien i jego wpływu na w/w cechy,
- określenie wpływu prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera na badane cechy.

W trakcie przeprowadzanych badań zaobserwowano istotny wpływ prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera na wydajność procesu ekstruzji. Wydajność procesu ekstruzji była wprost proporcjonalna do prędkości obrotowej ślimaka - im wyższe obroty zastosowano, tym wyższą uzyskano wydajność.

Dodatek włókien lnianych wpłynął na spadek wydajności procesu ekstruzji w przypadku wszystkich badanych mieszanek surowcowych oraz zastosowanych prędkości obrotowych ślimaka ekstrudera.

Wykorzystanie włókien celulozowych oraz mielonej kory w procesie produkcji TPS spowodowało wzrost wydajności procesu w porównaniu z dodatkiem włókien lnianych. Najwyższą wydajność procesu produkcji zaobserwowano przy 10% dodatku włókien celulozowych oraz mielonej kory w mieszankach. Natomiast zwiększenie dodatku wypełniaczy do poziomu 20 i 30 % spowodowało jej spadek.

Podczas ekstruzji skrobi TPS zawierających włókna celulozowe i mieloną korę wartości jednostkowego zapotrzebowania na energię mechaniczną (SME) kształtowały się na podobnym poziomie. Wartości SME rosły wraz ze wzrostem zawartości wypełniaczy w mieszance surowcowej przeznaczonej do ekstruzji granulatów TPS.

Najwyższe jednostkowe zapotrzebowanie energii mechanicznej (SME) zaobserwowano przy produkcji mieszanek zawierających włókna lniane, ze względu na ich specyficzną budowę.

Należy pamiętać o tym, że produkcja materiałów opakowaniowych jest to proces dwuetapowy. Uzyskane granulaty skrobi TPS poddawane są różnym procesom przetwórczym, takim jak wytlaczanie folii, czy też proces wtryskiwania w celu uzyskania form sztywnych. Konieczny jest dobór odpowiednich warunków procesu, temperatur przetwarzania, czasu chłodzenia itp.. Każdy rodzaj skrobi jest inny. Skrobia pszenna, kukurydziana czy ziemniaczana różnią się między sobą. Jakość samej skrobi zależy od wielu czynników, począwszy od rodzaju rośliny, z której ją pozyskujemy, poprzez warunki pogodowe, nawożenie, jak też kulturę uprawy. Niezwykle istotna jest także zawartość amylozy

i amylopektyny. W zależności od tego, co chcemy wytworzyć z danego rodzaju skrobi pożądana jest wtedy odpowiednia ilość amylozy i amylopektyny. W przypadku produkcji form sztywnych opakowań, korzystniej jest, gdy w skrobi przewagę ma zawartość amylozy (o budowie liniowej). Przy produkcji folii lepiej jest, gdy skrobia ma podwyższoną zawartość amylopektyny (o budowie rozgałęzionej), poprawiającej elastyczność samej folii. Nie możemy jednoznacznie określić parametrów przetwórczych skrobi TPS, odmiennie niż w przypadku klasycznych tworzyw sztucznych, gdzie przetwórcy dostają ściśle określone parametry płynięcia danego tworzywa.

W pracy **O3** omówiono zagadnienia związane z wytrzymałością termiczną pszennej skrobi termoplastycznej. Określenie wytrzymałości termicznej skrobi pozwala na dobór odpowiednich parametrów przetwórczych.

Badania obejmowały:

- badania derywatograficzne, które pozwoliły określić wpływ dodatku włókien celulozowych na odporność termiczną skrobi termoplastycznej, poprzez wyznaczenie energii aktywacji procesu rozkładu, przy wykorzystaniu metody Coasta i Redferna oraz dopasowanie odpowiedniego mechanizmu rozkładu zgodnie z zaleceniami ICACT.

Dodatki mogą znacznie wpływać na cechy jakościowe gotowego produktu. Podczas przeprowadzonych badań zaobserwowano, że odporność termiczna materiałów ze skrobi termoplastycznej zależała od zawartości włókien celulozowych. Wprowadzenie 30% włókien celulozowych znacznie obniżyło energię aktywacji procesu rozkładu materiałów. Mniejszy wpływ na proces rozkładu wywiera zwiększenie szybkości obrotowej ślimaków ekstrudera w czasie przetwórstwa. Materiały otrzymane przy większych prędkościach obrotowych ślimaka odznaczały się niewiele większymi energiami aktywacji (w przypadku rozkładu), w porównaniu z mieszaninami otrzymanymi przy $60 \text{ obr}\cdot\text{min}^{-1}$. Znaczący wpływ na proces rozkładu wywierały włókna celulozowe, których dekompozycja rozpoczyna się w niższych temperaturach, początkowo według modelu jednowymiarowego, a następnie w całej objętości. Przy wyższych temperaturach (większych α) obserwuje się zmianę modelu rozkładu, przede wszystkim skrobi, od nukleacji na jednym centrum aktywnym, do kontrolowanego procesu rozkładu w całej objętości.

Określenie wytrzymałości termicznej skrobi TPS z różnymi dodatkami funkcjonalnymi ułatwia, w zasadniczy sposób, dobór odpowiednich warunków produkcji materiałów

opakowaniowych. Jednak na jakość gotowych wyrobów i na ich cechy użytkowe mają duży wpływ warunki, w których przechowuje się skrobię termoplastyczną (**O6**).

Zagadnienia związane z aktywnością wodną granulatu TPS podczas przechowywania przedstawiono w pracy **O4**. Zbyt duża zawartość wody w granulacie skrobi TPS wpływa na wzrost skurczu form sztywnych opakowań, co ogranicza jego cechy użytkowe. Zbyt niska zawartość wody w granulacie, przeznaczonym np. do produkcji folii, powoduje iż folia kruszy się i pęka. Konieczne jest znalezienie optymalnej wilgotności granulatu TPS oraz określenie warunków przechowalniczych w zależności od przyszłego jego zastosowania.

Głównym parametrem, decydującym o zdolności wiązania wody i jej utrzymywania przez wytworzone granulaty TPS, są zróżnicowane właściwości hydrofilowe amylopektyny i amylozy oraz ich wzajemne proporcje w poszczególnych rodzajach skrobi. Skrobia pszenna tworzy podczas ekstruzji kompleksy amylozy, które mogą ograniczać sorpcję wody, poprzez zmniejszenie dostępności wolnych cząstek amylozy, zaś skrobia ziemniaczana zawiera bardzo mało nierozgałęzionej amylozy. Niemniej jednak, wszystkie rodzaje skrobi TPS cechują się silnymi właściwościami higroskopijnymi (Enrione i in. 2007).

Kolejnym czynnikiem, decydującym o właściwościach sorpcyjnych, jest dobór plastyfikatora (Forssell i in. 1996). Wykorzystanie alkoholi polihydroksylowych, takich jak glicerol, dzięki absorpcji wody przez ich wodorotlenową strukturę, pozwala zachować, czy nawet obniżyć poziom aktywności wody w otrzymanym granulacie. Przy niskich wilgotnościach, obecność gliceryny zmniejsza zdolność do wiązania wody przez granulaty, poprzez redukcję aktywnych centr wiążących dostępnych dla wody, tym samym zmniejszając rozmiar monowarstwy. Skrobia staje się absorbentem wiążącym glicerol, pozostawiając tym samym mniej miejsca dla wody.

Badania obejmowały:

- określenie wpływu rodzaju użytej skrobi oraz prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera na zdolność granulatu skrobi TPS do wiązania wody,
- charakterystykę właściwości sorpcyjnych określono poprzez wyznaczenie aktywności wody granulatu tuż po wytworzeniu i jej zmian w 60-dniowym okresie przechowywania oraz izoterm sorpcji pary wodnej.

W przeprowadzonych badaniach wykazano, że granulaty ze skrobi termoplastycznej TPS mają wydłużony okres przechowywania, który nie powinien rzutować na jakość

otrzymywanego na ich bazie produktu końcowego. Ze wszystkich rodzajów skrobi - pszennej, kukurydzianej i ziemniaczanej - niezależnie od prędkości obrotowej ślimaka, otrzymano granulaty, które charakteryzowały się niskimi wartościami aktywności wody. Analizując przebieg izoterm sorpcji pary wodnej stwierdzono, że wszystkie rodzaje granulatu posiadały zbliżony poziom hydrofilowości, niezależnie od stosunku amylopektyny do amylozy w skrobi użytej do ich przygotowania. Do opisu i interpretacji otrzymanych izoterm sorpcji można wykorzystywać oba przebadane modele teoretyczne, jednak ze względu na wartość parametru k modelu GAB (model Guggenheima, Andersona i De Boera), wydaje się, że wystarczające może być stosowanie prostszego modelu BET (model Brunauera, Emmetta i Tellera).

Wytrzymałość materiałów opakowaniowych i ich właściwości użytkowe uzależnione są m. in. od rodzaju i konfiguracji układu plastyfikującego ekstrudera oraz od stopnia związania włókien z matrycą biopolimerową. W pracy **O5** do określenia wybranych właściwości reologicznych wodnych roztworów ziemniaczanej skrobi termoplastycznej wykorzystano granulaty TPS wytworzone z zastosowaniem zmodyfikowanego ekstrudera TS-45 o układzie plastyfikującym o $L/D=16$ i $L/D=18$.

Badania obejmowały:

- określenie wpływu dodatku włókien celulozowych, lnianych i mielonej kory na lepkość pozorną rozdrobnionych granulatów TPS,
- określenie ilości procentowej dodatku włókien, wpływu zastosowanego układu plastyfikującego ($L/D=16$, $L/D=18$) oraz prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera na badane cechy.

Analizując otrzymane wyniki badań zaobserwowano, że najwyższymi wartościami lepkości pozornej charakteryzowały się roztwory TPS z dodatkiem włókien lnianych, co może świadczyć o dobrym związaniu włókien z matrycą biopolimerową.

Na lepkość pozorną roztworów skrobi termoplastycznej miała wpływ prędkość obrotowa ślimaka ekstrudera, zastosowanego do produkcji granulatu TPS. W przypadku roztworów zawierających dodatek włókien lnianych, lepkość rosła wraz ze wzrostem prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera.

Roztwory wodne granulatów TPS, wytworzonych z zastosowaniem układu plastyfikującego ekstrudera o $L/D=16/1$, charakteryzowały się wyższymi wartościami lepkości pozornej.

Dodatek wypełniaczy w postaci włókien naturalnych w większości zastosowanych w badaniach roztworów wodnych TPS powodował wzrost ich lepkości.

Zastosowanie zmodyfikowanego ekstrudera TS-45 pozwala przetwarzać różnego rodzaju skrobię. Uzyskany granulak skrobi TPS, wzbogacony o dodatki funkcjonalne, musi być w odpowiedni sposób przechowywany (**O4**). Na właściwości użytkowe biopolimerowych materiałów opakowaniowych ma wpływ nie tylko wilgotność granulatu. Ważna jest także jego wytrzymałość podczas procesów pakowania, transportu, czy też magazynowania. Zagospodarowanie różnego rodzaju wypełniaczy włóknistych (odpadów z przemysłu drzewnego) nie tylko pozwala zredukować koszty produkcji granulatu TPS, ale wpływa także na jego parametry wytrzymałościowe. Praca **O6** potwierdza dotychczasowy kierunek badań prezentowany w artykułach **O2**, **O3**, **O4** i **O5**. Możemy potwierdzić słuszność zastosowania wypełniaczy włóknistych w produkcji skrobi TPS. W trakcie badań uzyskano granulaty z kukurydzianej skrobi termoplastycznej o zróżnicowanym udziale procentowym wypełniacza w postaci zmielonej kory sosnowej. Proces ekstruzji przebiegał stabilnie, bez zakłóceń przy zastosowaniu całego wybranego zakresu udziału procentowego wypełniacza.

Badania obejmowały:

- analizę wartości współczynnika ekspandowania promieniowego granulatu kukurydzianej skrobi termoplastycznej w zależności od zastosowanych parametrów procesu ekstruzji,
- określenie wpływu prędkości obrotowej ślimaka ekstrudera oraz ilości procentowej dodatku mielonej kory na właściwości fizyczne granulatu TPS,
- analizę mikrostruktury granulatu TPS w zależności od zastosowanej ilości procentowej dodatku mielonej kory z wykorzystaniem elektronowego mikroskopu skaningowego (Garcia i in. 2000).

Badania wykazały, że możliwe jest zastosowanie mielonej kory w roli wypełniacza, podczas produkcji skrobi termoplastycznej metodą ekstruzji. Proces przebiegał stabilnie i bez zaburzeń przy udziale wypełniacza w mieszance surowcowej do 30% masy skrobi.

Analiza mikrostruktury ujawniła, że pomimo wzrostu współczynnika ekspandowania, dodatek kory wpływał na poprawę struktury granulatu. Przy 30% udziale wypełniacza obserwowano jednorodną strukturę, prawie pozbawioną porów, co wykazuje wyraźną korelację z niskimi wartościami współczynnika ekspandowania.

Zastosowanie w trakcie procesu ekstruzji biopolimerów skrobiowych wypełniacza w postaci kory, wpływa korzystnie na sprężystość uzyskiwanych granulatów. Może mieć to bezpośredni związek z bardziej jednorodną strukturą granulatu. Niestety, wytrzymałość mechaniczna na ściskanie uzyskanych granulatów ulegała obniżeniu, prawdopodobnie na skutek niedostatecznego związania wypełniacza z matrycą skrobiową.

Na podstawie przeprowadzonych badań można sugerować, że 20% udział kory mielonej jest optymalną ilością wypełniacza, w produkcji biopolimerów skrobiowych.

W w/w pracach (**O1**, **O2**, **O3**, **O4**, **O5**, **O6**) przedstawiono zagadnienia związane z wpływem wybranych parametrów procesu produkcji granulatów skrobi TPS na ich cechy jakościowe. W celu określenia przydatności granulatu TPS z dodatkiem włókien naturalnych do produkcji form sztywnych opakowań, w badaniach zastosowano technikę wtrysku wysokociśnieniowego. Dodatek wypełniaczy naturalnych w granulatach ma za zadanie stabilizować kształt oraz poprawiać właściwości użytkowe form sztywnych opakowań. Na jakość form sztywnych opakowań mają wpływ parametry procesu ekstruzji (prędkość obrotowa ślimaka ekstrudera, rodzaj układu plastyfikującego, ilość zastosowanego plastyfikatora, czy też rodzaju i ilości włókien w granulacie TPS).

Kolejnym aspektem jest określenie optymalnych warunków procesu wtryskiwania (**O7**). Dobór odpowiednich parametrów produkcji form sztywnych możliwy jest między innymi dzięki badaniom przedstawionym w pracy **O3**. Konieczne jest znalezienie optymalnej temperatury wtrysku tworzywa do formy. W publikacji **O7** podsumowującej cykl prac tematycznych przedstawiono możliwości wytworzenia wysokiej jakości biokompozytów skrobiowych z wykorzystaniem techniki wtrysku wysokociśnieniowego. Wyniki badań właściwości fizycznych wyprasek, uzyskanych ze skrobi termoplastycznej, są podstawowym kryterium oceny przydatności uzyskanego biopolimeru do produkcji form sztywnych opakowań, przy zastosowaniu w/w techniki.

Badania obejmowały:

- wpływ parametrów procesu wytwarzania granulatu TPS oraz ilości zastosowanego wypełniacza w postaci włókien lnianych na wybrane właściwości fizyczne form sztywnych TPS,
- wpływ temperatury wtrysku tworzywa na właściwości fizyczne form sztywnych w postaci wyprasek, przeznaczonych do testów wytrzymałościowych.

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że dodatek włókien lnianych wpłynął w istotny sposób na wytrzymałość na rozciąganie i odkształcenie form sztywnych TPS

(Broniewski i in. 2000). Wraz ze wzrostem zawartości włókien lnianych w wypraskach, wzrastała ich wytrzymałość na rozciąganie, a wydłużenie malało. Temperatura wtrysku tworzywa nie wpłynęła w istotny sposób na wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie próbek.

Zastosowane dwie prędkości obrotowe ślimaka ekstrudera, przy wytwarzaniu granulatów, wpłynęły w niewielkim stopniu na właściwości mechaniczne wyprasek biopolimerowych. Wypraski wytworzone z granulatów wyprodukowanych przy $100 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$ charakteryzowały się nieznacznie wyższą wytrzymałością na rozciąganie.

Przeprowadzona ocena cech fizycznych wytworzonych wyprasek umożliwiła dobór odpowiedniego granulatu oraz optymalnych parametrów procesu produkcji wyprasek (Oniszczyk i in. 2012). Wyniki tych badań mogą stać się podstawą do opracowania optymalnych parametrów przetwarzania skrobi termoplastycznej i jej mieszanek, co może ułatwić opracowanie kompleksowej technologii produkcji biodegradowalnych form sztywnych stosowanych np. w opakowaniach (Ayse i Mohini 2008).

4.5. PODSUMOWANIE

Wytworzenie nowego asortymentu materiałów opakowaniowych na bazie skrobi termoplastycznej budzi zainteresowanie firm opakowaniowych na całym świecie. Opracowanie taniej i prostej w zastosowaniu technologii produkcji opakowań biodegradowalnych, opierającej się na wykorzystaniu polskiej myśli technicznej, pozwoli na zwiększenie innowacyjności gospodarki naszego kraju. Biodegradowalne materiały opakowaniowe mogą stać się uzupełnieniem istniejącej oferty opakowań, wytworzonych z tradycyjnych tworzyw sztucznych. Produkcja granulatów TPS może być szansą dla rolników i grup producenckich, zajmujących się uprawą i przetwarzaniem surowców skrobiowych na terenach typowo rolniczych. W strategiach rozwoju wielu województw, szczególnie tak zwanej „ściany wschodniej”, dąży się do zwiększenia innowacyjności regionów. Bardzo pożądane byłoby, aby na terenach rolniczych, często, słabo uprzemysłowionych, przetwarzać tani materiał typowo rolniczy taki jak skrobia, a sprzedawać produkt przemysłowy o dużo wyższej wartości. Wykorzystanie polskich ekstruderów wysokiej jakości, tańszych od zachodniej konkurencji, daje szansę na wsparcie rodzimego przemysłu i poprawę konkurencyjności na rynku europejskim.

Na podstawie prac prezentowanych jako jednotematyczny cykl publikacji pt. „Techniczno-technologiczne aspekty wytwarzania biokompozytów skrobiowych metodą

ekstruzji”, można stwierdzić, że zastosowanie techniki ekstruzji z użyciem jednoślimakowego zmodyfikowanego ekstrudera TS-45, umożliwia wytworzenie granulatu skrobi termoplastycznej o dobrych parametrach jakościowych.

Wyniki przeprowadzonych prac eksperymentalnych (**O1, O2, O3, O5, O6, O7**) potwierdziły, że istnieją zależności pomiędzy zastosowanymi parametrami procesu ekstruzji, a właściwościami otrzymanych granulatu skrobi termoplastycznej z dodatkiem wypełniaczy włóknistych. Zastosowanie odpowiednich parametrów procesu, tj. temperatury obróbki, wilgotności surowców, zawartości plastyfikatora, wypełniaczy, rodzaju skrobi, oraz prędkości obrotowej ślimaka, wpływającej na ekspandowanie granulatu TPS, umożliwia kształtowanie najbardziej pożądanых cech biopolimerów skrobiowych.

Bardzo istotne jest utrzymanie stabilnych parametrów wytwarzania biopolimerów przy użyciu różnego rodzaju surowców. Dlatego też dane uzyskane z przedstawionych badań eksploatacyjnych, mogą być niezwykle przydatne przy modelowaniu procesu i ustalaniu optymalnych parametrów produkcji biopolimerów skrobiowych. W toku ekstruzji granulatu TPS, zastosowanie różnych układów plastyfikujących, wpływało na przebieg procesu i określone w badaniach eksploatacyjnych parametry. Stwierdzono również wpływ zastosowanych obrotów ślimaka ekstrudera na stabilność procesu, jego wydajność oraz wartości wskaźnika specyficznego zapotrzebowania na energię mechaniczną, w zależności od zastosowanych wypełniaczy włóknistych (**O2**).

Zastosowanie dodatków funkcjonalnych w postaci włókien lnianych, celulozowych i mielonej kory w produkcji biopolimerów skrobiowych, potwierdziło ich korzystny wpływ na właściwości użytkowe materiałów opakowaniowych naturalnego pochodzenia. Wykorzystanie w/w wypełniaczy pozwoliło zredukować koszty wytworzenia granulatu TPS, a także wpłynęło korzystnie na wzrost wytrzymałości form sztywnych opakowań (dodatek włókien lnianych).

Określenie właściwości sorpcyjnych granulatu TPS pozwala na dobór warunków ich przechowywania. Konieczne jest zachowanie odpowiedniej wilgotności granulatu TPS, nie tylko ze względu na możliwość wielomiesięcznego ich składowania, ale przede wszystkim dlatego, że rzutuje ona na właściwości użytkowe produktów finalnych (foli i form sztywnych opakowań). Zbyt wysoka wilgotność granulatu TPS (powyżej 12%) wykorzystanych w produkcji form sztywnych metodą wtrysku wysokociśnieniowego, wpływa na wzrost skurczu wyprasek.

Granulaty skrobi TPS, z dodatkami funkcjonalnymi lub bez nich, z powodzeniem mogą być wykorzystywane do produkcji form sztywnych opakowań oraz folii biodegradowalnej.

Zaproponowane w osiągnięciu naukowym rozwiązanie techniczne i technologiczne mogą być bezpośrednio adaptowane w warunkach małej wytwórczości, zaś zastosowane elementy modyfikacji układu plastyfikującego ekstrudera, wdrożone do zastosowań przemysłowych.

LITERATURA

1. Ayse A., Mohini S., 2008. Biocomposites from wheat straw nanofibers: morphology, thermal and mechanical properties. *Com. Sci. Tech.* 68, 557–565.
2. Baley C., 2002. Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 33, 939-948.
3. Bledzki A.K., Gassan J., 1999. Composites reinforced with cellulose based fibers. *Progress In polymer Science*, 24, 221-274.
4. Broniewski T., Kapko J., Płaczek W., Thomalla J., 2000. *Metody badań i ocena właściwości tworzyw sztucznych*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa.
5. Carvalho A.J.F., Job A.E., Alves N., Curvelo A.A.S., Gandini A., 2003. Thermoplastic starch/natural rubber blends. *Carb. Polym.* 53, 95–99.
6. Carvalho A.J.F. de, Curvelo A.A.S., Agnelli J.A.M., 2001. A first insight on composites of thermoplastic starch and kaolin. *Carbohydrate Polymers*, 45, 189-194.
7. Combrzyński M., 2015. *Ekstruzja spienionych skrobiowych materiałów opakowaniowych*. Rozprawa doktorska. Wydział Inżynierii Produkcji. Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie
8. Enrione J.Hill., S.E., Mitchell J.R., 2007 *J. Agric. Food Chem.*, 55, 2956-2963
9. Forssell P., Mikkila J., Suortti T., 1996 *J. Pure Appl. Chem.* 5, 703-715.
10. Garcia M.A., Martino M.N., Zaritzky N.E., 2000. Microstructural characterization of plasticized starch-based films, *Starch*, 4, 118.
11. Griffin G.J.L. 1994. *Chemistry and technology of biodegradable polymers*, Chapman and Hall, Glasgow.

12. Janssen L.P.B.M., Moscicki L. (Eds.). 2009. Thermoplastic starch. Wiley-VchVerlagGmbH& Co., Weinheim, Germany, 1-29.
13. Liu H., Xie F., Yu L., Chen L., Li L., 2009. Thermal processing of starch-based polymers. *Prog. Polym. Sci.* 34, 1348–1368.
14. Li J., Luo X., Lin X., Zhou Y. 2013. Comparative study on the blends of pbs/thermoplastic starch prepared from waxy and normal corn starches. *Starch* 65, 831–839.
15. Liu P., Xie F., Li M., Liu X., 2011. Phase transitions of maize starches with different amylose contents in glycerol–water systems. *Carb. Polym.* 85, 180–187.
16. Labet, M., Thielemans, W., Dufresne, A. 2007. Polymer grafting onto starch nanocrystals. *Biomacromolecules.* 8, 2916–2927.
17. Ma X., Yu J., Kennedy J.F., 2005. Studies on the properties of natural fibers-reinforced thermoplastic starch composites. *Carbohydrate Polymers*, 62, 19-24.
18. Mohanty A.K., Misra M., Drzal L.T., 2001. Surface modifications of natural fibers and performance of the resulting biocomposites: An overview. *Composite Interfaces*, 5, 313-343.
19. Mohanty A.K., Misra M., Hinrichsen G., 2000. Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview. *Macromolecular Materials and Engineering*, 276/277, 1-24.
20. Mościcki L., Janssen L.P.B.M., Mitrus M., Oniszczyk T., Rejak A., Juško S. Barothermal techniques in processing of thermoplastic starch, *Acta Agrophysica*, 2007, 9(2), 431-442.
21. Mościcki L., Mitrus M., Wójtowicz A., Oniszczyk T., Rejak A., Janssen L. P.B.M. 2012. Application of extrusion-cooking for processing of thermoplastic starch (TPS). *F. Res. Intern.* 47, 291-299.
22. Oksman K., Skrifvars M., Selin J.-F 2003. Natural fibres as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites, *Composites Science and Technology*, 63, 1317-1324.
23. Oniszczyk T. 2015. Badanie wytrzymałości wyprasek biopolimerowych z dodatkiem włókien lnianych, *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 578, 81-90.
24. Oniszczyk T., Pilawka R., Oniszczyk A. 2013. Wpływ dodatku mielonej kory sosnowej na wytrzymałość termiczną skrobi termoplastycznej. *Przem. Chem.* 8, 1554-1557.

25. Oniszczyk T., Wójtowicz A., Mitrus M., Mościcki L., Combrzyński M., Rejak A., Gładyszewska B. 2012. Biodegradation of TPS mouldings enriched with natural fillers, *Teka Com. Mot. En. Agr.* 123(1), 175-180.
26. Singleton A.C.N., Baillie C.A., Beaumont P.W.R., Peijs T., 2003. On the mechanical properties, deformation and fracture of a natural fiber/recycled polymer composite. *Composites Part B: Engineering*, 34, 519-526.
27. Stamboulis A., Baillie C.A., Peijs T., 2000. Effects of environmental conditions on mechanical and physical properties of flax fibers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 32, 1105-1115.
28. Plastice 2013. Biotworzywa szansą przyszłości. Dokument przygotowany w ramach projektu PLASTICE, i wchodzi w skład WP4 Ramowych warunków stymulujących popyt rynkowy, WP4. 2 Szkicu schematu doradztwa międzynarodowego.
29. Teixeira E., DáRóz A., Carvalho A., Curvelo A. 2007. The effect of glycerol/sugar/water and sugar/water mixtures on the plasticization of thermoplastic cassava starch. *Carb. Polym.* 69, 619–624.
30. Wollerdorfer M., Bader H. 1998. Influence of natural fibres on the mechanical properties of biodegradable polymers. *Industrial Crops and Products*, 8, 105-112.
31. Zhang Y.R, Wang X.L, Zhao G.M, Wang Y.Z. 2013. Influence of oxidized starch on the properties of thermoplastic starch. *Carb. Polym.* 96, 358– 364.
32. Zhang M.Q., Rong M.Z., Lu X., 2005. Fully biodegradable natural fiber composites from renewable resources: All-plant fiber composites. *Composites Science and Technology*, 65, 2514-2525
33. Zou W., Yu L., Liu X., Chen L. 2012. Effects of amylose/ amylopectin ratio on starch-based superabsorbent polymers. *Carb. Polym.* 87, 1583–1588.

5. OMÓWIENIE POZOSTAŁYCH OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH (ARTYSTYCZNYCH)

W latach 1994-1999 studiowałem na kierunku *technika rolnicza, specjalność: technika rolno-spożywcza* Wydziału Techniki Rolniczej Akademii Rolniczej w Lublinie (obecnie Wydziału Inżynierii Produkcji Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie). Stopień magistra inżyniera uzyskałem w czerwcu 1999 roku na podstawie obrony pracy magisterskiej pt: „Perspektywy rozwoju rynku krajowego na suchą karmę dla psów i kotów” pod kierunkiem prof. dr hab. Leszka Mościckiego.

Pracę w Uniwersytecie Przyrodniczym w Lublinie rozpocząłem w październiku 1999 roku na stanowisku asystenta w Katedrze Inżynierii Procesowej. Od początku pracy zawodowej pod kierunkiem prof. dr hab. Leszka Mościckiego moje zainteresowania naukowe związane są z zastosowaniem techniki ekstruzji w przetwórstwie rolno-spożywczym oraz poznaniem związków pomiędzy właściwościami materiałów biologicznych a przebiegiem i efektywnością w/w procesu.

Katedra Inżynierii Procesowej jest wiodącą w kraju jednostką naukową, zajmującą się szeroko pojętymi zagadnieniami, związanymi z ciśnieniowo-termiczną obróbką surowców roślinnych. W roku 2002 rozpocząłem badania nad wykorzystaniem techniki ekstruzji w produkcji ekstrudowanych karm dla ryb. W badaniach wykorzystywałem nowatorskie receptury paszowe opracowane we współpracy z naukowcami Katedry Chorób Ryb Wydziału Medycyny Weterynaryjnej AR w Lublinie (aktualnie UP). Zapoczątkowane badania kontynuowałem w kolejnych latach, co zaowocowało opublikowaniem przed doktoratem dwóch oryginalnych prac naukowych (**A1**, **A2**)*. Wyniki prezentowane były podczas konferencji naukowych (**R1**, **K1**, **K2**)*.

W latach 2001 - 2004 uczestniczyłem jako jeden z głównych wykonawców w projekcie badawczym CRAFT 5 PR UE BIOPACK Nr 138982: „BIOdegradable extruded starch-based plastic for PACKaging material”. W projekcie tym prowadziłem badania związane z możliwością wykorzystania techniki ekstruzji oraz techniki wtrysku wysokociśnieniowego w produkcji biodegradowalnych materiałów opakowaniowych. W badaniach głównym surowcem, z uwagi na jego cenę, była skrobia ziemniaczana. W w/w projekcie odpowiadałem za opracowanie technologii produkcji granulatów TPS uzyskanych z wykorzystaniem ekstrudera dwuślimakowego włoskiej firmy PASQUETTI, charakteryzującego się L/D=5 oraz

* Lista opublikowanych prac twórczych, innych niż składające się na osiągnięcie naukowe (oznaczenia A i F) oraz wykaz uczestnictwa w konferencjach naukowych (oznaczenia K i R) znajdują się w zał. IIIA

średnicą ślimaków – 45 mm. Granulat skrobi TPS wykorzystywany był do produkcji form sztywnych opakowań z zastosowaniem techniki wtrysku wysokociśnieniowego, wykorzystując wtryskarkę ślimakową typu ARBURG 220H90-350, L/D = 20,5. Wytworzenie granulatu i form sztywnych przeprowadzono w Zakładzie Inżynierii Chemicznej w Królewskim Uniwersytecie (RUG) w Groningen (Holandia), ponieważ projekt realizowany był we współpracy międzynarodowej, dzięki finansowemu wsparciu UE. W tym czasie przebywałem sześciokrotnie na krótkoterminowych stażach naukowych w w/w placówce (łącznie 21 tygodni). Staże polegały na realizowaniu zadań badawczych, związanych z tematyką projektu oraz prowadzeniu ćwiczeń praktycznych ze studentami RUG. Przeprowadzony projekt pozwolił mi poszerzyć wiedzę z zakresu inżynierii materiałowej, wnikliwie zapoznać się z funkcjonowaniem laboratorium i unikatową aparaturą będącą na wyposażeniu Zakładu Inżynierii Chemicznej. W wyniku bezpośredniego porozumienia pomiędzy prof. dr hab. L. Mościckim i prof. dr L.P.B.M. Janssenem prace badawcze związane z moją rozprawą doktorską prowadziłem tzw. systemem „sandwich” – przemennie w Polsce i w Holandii.

W latach 2004-2005 byłem uczestnikiem studiów podyplomowych „Zarządzanie jakością w produkcji żywności – system HACCP”, organizowanych przez Akademię Rolniczą w Lublinie, które ukończyłem z wynikiem bardzo dobrym. Posiadam również uprawnienia audytora systemu HACCP. Pozwoliło mi to na wprowadzenie do programu realizowanych przeze mnie przedmiotów, zagadnień dotyczących systemów zapewnienia jakości i nadzoru nad bezpieczeństwem żywności.

W roku 2006, od 2 stycznia do 15 czerwca, przebywałem na stażu zawodowym w zakładzie produkcyjnym „ELA – Wyrób Folia i Opakowań” mieszczącym się w Ostrowie k/ Warszawy. Pobyt w zakładzie pozwolił mi zapoznać się z przemysłową technologią produkcji różnorodnych folii opakowaniowych. W trakcie stażu przeprowadziłem liczne próby technologiczne, związane z wytworzeniem biodegradowalnej folii opakowaniowej oraz form sztywnych opakowań. Badania miały na celu określenie parametrów procesu produkcji folii (temperatury płynięcia granulatu TPS, zastosowanej prędkości obrotowej ślimaka wylączarki, doboru odpowiedniej konfiguracji ślimaka wylączarki) w skali przemysłowej. Ponadto przeprowadziłem liczne testy cech fizycznych uzyskanych folii i form sztywnych w doskonale wyposażonym laboratorium przyzakładowym.

Doświadczenie zdobyte podczas kilkumiesięcznego stażu pozwoliło mi zgłębić wiedzę praktyczną, co bezpośrednio przekłada się na jakość prowadzonych przeze mnie zajęć ze studentami z przedmiotu „Systemy opakowań”. Badania prowadzone w firmie „ELA”

umożliwiły mi odniesienie wiedzy, zdobytej w laboratorium, do warunków przemysłowych. To wszystko utwierdziło mnie w przekonaniu dotyczącym właściwego doboru kierunku badań, związanych z przyszłą rozprawą doktorską.

Realizację celu mojej dysertacji doktorskiej pt. „Wpływ parametrów procesu wtryskiwania na właściwości fizyczne skrobiowych materiałów opakowaniowych” oparłem o doświadczenia wykonywane w Laboratorium Oceny Środków i Urządzeń Spożywczych Katedry Inżynierii Procesowej Akademii Rolniczej w Lublinie oraz w Zakładzie Inżynierii Chemicznej Królewskiego Uniwersytetu Groningen w Holandii w latach 2003 – 2005. W trakcie badań, określając wpływ przechowywania w niskich temperaturach na właściwości mechaniczne wyprasek (**A7**), współpracowałem z Katedrą Chłodnictwa i Energetyki Przemysłu Spożywczego AR w Lublinie. Podjęty temat rozprawy doktorskiej obejmował szeroki zakres doświadczeń, w tym między innymi:

- badanie przebiegu procesu ekstruzji;
- badanie przebiegu procesu wtrysku wysokociśnieniowego;
- ocenę właściwości fizycznych wyprasek:
 - pomiar właściwości mechanicznych wyprasek,
 - pomiar temperatury przejścia szklistego,
 - pomiar skurczu pierwotnego próbek,
 - pomiary mikroskopowe w świetle spolaryzowanym skrobi termoplastycznej,
 - ocenę biodegradowalności próbek wykonanych ze skrobi termoplastycznej.

Obrona doktoratu odbyła się 26 czerwca 2006 na Wydziale Inżynierii Produkcji, Akademii Rolniczej w Lublinie (obecnie Uniwersytet Przyrodniczy). Promotorami pracy byli: prof. dr hab. Leszek Mościcki i prof. dr Leon Janssen. Uzyskałem stopień doktora nauk rolniczych z zakresu inżynierii rolniczej (specjalność – inżynieria i aparatura przemysłu spożywczego). Na wniosek recenzentów rozprawa została wyróżniona nagrodą JM Rektora.

Rezultaty przeprowadzonych prac badawczych, między innymi zawartych w doktoracie, posłużyły do przygotowania szeregu oryginalnych prac twórczych z zakresu przetwórstwa bipolimerów (**F1, A2, A3, A4, A5, A7, A8, A9, A10, R1, R3, K2**), były też prezentowane na konferencjach krajowych i zagranicznych.

Po obronie pracy doktorskiej kontynuowałem doświadczenia związane z wykorzystaniem różnych rodzajów skrobi oraz zastosowaniem materiałów odpadowych jako wypełniaczy, w produkcji materiałów biodegradowalnych. Swoje badania koncentrowałem na wykorzystaniu w przetwórstwie skrobi polskiego ekstrudera spożywczego typu TS-45, który po serii eksperymentów, został zmodernizowany. W Katedrze Inżynierii Procesowej

zaprojektowano sekcję chłodząco-formującą oraz ślimak o specjalnej konfiguracji, wynikiem czego były objęte ochroną patentową wzory użytkowe (PL 64690 Y1, PL 64691 Y1).

W roku 2010 pozyskałem grant badawczy Komitetu Badań Naukowych N N313 275738 pt. „Wpływ parametrów procesu ekstruzji na właściwości użytkowe biopolimerów skrobiowych z dodatkiem włókien naturalnych”, którego zostałem kierownikiem. W trakcie realizacji zadań badawczych związanych z w/w tematem wykorzystano różne układy plastyfikujące ($L/D=16$ i $L/D=18$), opracowano nowe mieszanki surowcowe oraz określono wydajność i energochłonność procesu ekstruzji. Przeprowadzono badania związane z określeniem metod i sposobu przechowywania granulatów TPS, scharakteryzowano ich właściwości wytrzymałościowe, termiczne oraz możliwość zastosowania w produkcji form sztywnych opakowań.

Podczas realizacji tego projektu nawiązałem współpracę z Laboratorium Analizy Termicznej Polimerów Instytutu Polimerów Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Wynikiem tej współpracy były publikacje (**F3**, **K16**) oraz doniesienia prezentowane na konferencjach międzynarodowych.

W 2012 roku, podczas 3 tygodniowego pobytu naukowego, prowadziłem badania wtrysku wysokociśnieniowego w Zakładzie Inżynierii Chemicznej Królewskiego Uniwersytetu (RUG) w Groningen (Holandia).

Szczegółowy opis wyników grantu zawiera raport merytoryczny oraz publikacje (**A14**, **A15**, **A19**, **A20**, **A29**, **A30**, **A31**). Były one także prezentowane na licznych konferencjach i sympozjach naukowych w kraju i zagranicą (**R4**, **R5**, **R6**, **R7**, **R8**, **R9**, **R10**, **R11**, **R12**, **K4**, **K11**, **K12**, **K14**, **K16**, **K23**, **K24**).

W roku 2010 i 2011 byłem jednym z głównych wykonawców w dwóch grantach finansowanych przez Komitet Badań Naukowych, związanych z produkcją i badaniami materiałów biodegradowalnych. Pierwszy z nich to N N313 275838 pt. „Wpływ warunków obróbki ciśnieniowo-termicznej na właściwości fizyczne folii skrobiowych otrzymywanych metodą rozdmuchu”, oraz kolejny to N N313 704740 pt. „Badania właściwości mechanicznych i funkcjonalnych biodegradowalnych materiałów opakowaniowych wytwarzanych ze skrobi termoplastycznej (TPS)”. Podczas realizacji w/w projektów uczestniczyłem w badaniach związanych z wytworzeniem nowego typu granulatów TPS oraz określeniem wpływu procesu obróbki na jego właściwości użytkowe. W kolejnym etapie badań przeprowadzono próby związane z wyłaczaniem folii biopolimerowej. Wynikiem przeprowadzonych badań były następujące publikacje (**F6**, **F7**, **F13**) znajdujące się w bazie

Journal Citation Reports oraz publikacje (**A22, A23, A25, A27**) z części B wykazu czasopism naukowych.

Uczestniczyłem także w badaniach prowadzonych w Katedrze Inżynierii Procesowej związanych z wytworzeniem ekstrudowanych spienionych skrobiowych materiałów opakowaniowych. Wyniki były publikowane i prezentowane na konferencjach międzynarodowych (**A27, A34, K17**).

Dodatkowo kontynuowałem współpracę z Katedrą Chorób Ryb Wydziału Medycyny Weterynaryjnej UP dotyczącą możliwości wykorzystania techniki ekstruzji w produkcji specjalistycznych pasz dla ryb z dodatkiem suszu roślin leczniczych. Prowadzone doświadczenia pozwoliły opracować unikatowe receptury. Badano wpływ parametrów procesu ekstruzji na wydajność, energochłonność procesu, określono optymalne wilgotności mieszanek paszowych przed procesem ekstruzji oraz właściwości fizyczne uzyskanych ekstrudatów (gęstości, wytrzymałość kinematyczną, współczynniki WAI, WSI, stabilność wodną itp.). Przeprowadzono badania żywieniowe. Na podstawie uzyskanych wyników opracowano wysoko punktowane publikacje (**F2, F9, A6, A21**). Wyniki prezentowano w postaci referatów i posterów na licznych konferencjach naukowych (**R2, K5, K6, K7**).

Technika ekstruzji i jej możliwości zastosowania w przemyśle rolno-spożywczym są bardzo szerokie. W związku z tym kolejnym nurtem moich zainteresowań jest wytwarzanie żywności prozdrowotnej z dodatkami funkcjonalnymi - roślinami leczniczymi i mąkami pełnoziarnistymi. Wytwarzanie produktów instant takich, jak zbożowe kaszki dla dzieci (**A32, A34, A35, K18**), makaronów pełnoziarnistych (**A12, A19, K22**), przekąsek ekstrudowanych (**A28**) oraz modyfikowanych skrobi różnego pochodzenia botanicznego (**A13, A19, K8, K10**) możliwe jest przy użyciu zmodyfikowanego ekstrudera TS-45.

W roku 2008 zostałem jednym z głównych wykonawców w projekcie N N312 162334 finansowanym przez Komitet Badań Naukowych pt. „Wpływ obróbki ciśnieniowo-termicznej na jakość wzbogacanych makaronów podgotowanych”. W roku 2009 uczestniczyłem jako jeden z głównych wykonawców w projekcie N N313 065936 pt. „Badania procesu ciśnieniowo-termicznej modyfikacji skrobi”. Udział w tych projektach pozwolił mi wzbogacić mój warsztat naukowy i zdobyć cenne doświadczenie zawodowe. Prace badawcze, związane z tą tematyką, obejmowały ocenę surowców stosowanych do produkcji ekstrudatów, ocenę jakościową gotowych wyrobów takich jak pelety, makarony, snaki, chrupki. Zastosowane do produkcji szerokiej gamy ekstrudatów, różnorodne surowce, miały wpływ na wyniki badań eksploatacyjnych procesu ekstruzji i na cechy jakościowe.

Od roku 2008 rozpocząłem współpracę z Katedrą Chemii, Katedrą Farmacji Stosowanej oraz Katedrą Farmakognozji Uniwersytetu Medycznego w Lublinie. Współpracowałem także z JUNG w Puławach, co pozwoliło mi poszerzyć wiedzę na temat zastosowania wybranych roślin leczniczych w produkcji żywności funkcjonalnej. Współpraca ta pozwala w sposób kompleksowy podejść do zagadnień związanych z bezpieczeństwem żywności oraz analizą substancji czynnych w niej zawartych.

W roku 2009 odbyłem trzy szkolenia związane z zastosowaniem nowoczesnych metod chromatograficznych w analizie jakościowej i ilościowej. Szkolenia przeprowadzone zostały przez Wydział Farmaceutyczny Uniwersytetu Medycznego w Lublinie. Tematem szkoleń były „Nowoczesna chromatografia cieczowa”, „Wpływ analizy chromatograficznej na ewolucję nauk przyrodniczych” oraz „Barwa w chromatografii”. Zdobyte doświadczenie pozwoliło pogłębić znacząco moją wiedzę na temat izolacji, oczyszczania, rozdzielania i aktywności farmakologicznej wtórnych metabolitów roślinnych oraz na włączenie się w zagadnienia badawcze w/w jednostek naukowych. Wynikiem tej współpracy są wspólne publikacje. (**F4, F5, F8, F10, F11, A11, A16, A34, A35**).

Moja działalność naukowa została kilkakrotnie doceniona przez władze Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. W roku 2006 otrzymałem nagrodę indywidualną III stopnia, zaś w latach 2009 i 2011 otrzymałem dyplomy uznania za wybitne osiągnięcia naukowe, w roku 2012 nagrodę zespołową II stopnia, i w latach 2014 i 2015 dwie nagrody indywidualne za wybitne osiągnięcia naukowe.

Pomimo wielu aspektów zainteresowań naukowych, głównym nurtem moich dociekań była, i pozostaje, problematyka związana z przetwórstwem i aplikacyjnymi możliwościami zastosowania biopolimerów w opakowalnictwie. Dzięki zdobytemu doświadczeniu w pozyskiwaniu grantów badawczych w dalszym ciągu zabiegam o zdobycie nowych środków na doposażenie istniejących laboratoriów. W roku 2014 uczestniczyłem w pracach związanych z opracowaniem dwóch projektów związanych z wykorzystaniem techniki ekstruzji w przetwórstwie biopolimerów oraz żywności funkcjonalnej. Projekty opracowane przez nasz zespół jako jedne z nielicznych zostały wpisane do strategii województwa lubelskiego na lata 2014-2020. Pierwszy z nich to projekt pt. „Lubelskie Centrum Żywność i Zdrowie”, drugi „Centrum Biopolimerowych Materiałów Biodegradowalnych”. Pozyskane finansowanie pozwoli prowadzić dalsze badania związane z moimi zainteresowaniami naukowymi.

6. PODSUMOWANIE DOROBKU NAUKOWO-BADAWCZEGO

Mój dotychczasowy dorobek naukowy związany jest przede wszystkim, z zainteresowaniami badawczymi dotyczącymi procesu ekstruzji surowców roślinnych. Obejmuje łącznie 80 pozycji (51 prac znajduje się na liście czasopism punktowanych przez MNiSW – zał. IV), w tym 47 to oryginalne prace twórcze, 1 artykuł popularno-naukowy, 5 rozdziałów w monografiach napisanych w j. angielskim, 2 rozdziały w monografiach w j. polskim oraz 25 streszczeń opublikowanych w materiałach pokonferencyjnych. Spośród 47 prac oryginalnych, 42 prace napisano w języku angielskim, z czego 17 to publikacje indeksowane w bazie Journal Citation Reports (JCR), posiadające Impact Factor. W 3 publikacjach jestem jedynym autorem, a w pozostałych współautorem ze znacznym wkładem w ich przygotowanie.

Tabela 1. Syntetyczne zestawienie całego dorobku naukowego

Rodzaj publikacji	Język	Przed doktoratem			Po doktoracie			Łącznie
		Indywidualne	Zbiorowe	Łącznie	Indywidualne	Zbiorowe	Łącznie	
Oryginalne prace twórcze								
W czasopismach z <i>Impact Factor</i>	A	0	0	0	0	11	11	11
	P					6	6	6
Prace oryginalne opublikowane w czasopismach recenzowanych	A	0	0	0	0	25	25	25
	P	1	1	2	1	2	3	5
Inne prace								
Rozdziały w monografiach	A					5	5	5
	P					2	2	2
Prace popularno-naukowe opublikowane w czasopismach recenzowanych	P	0	0	0	0	1	1	1
Streszczenia pokonferencyjne	P	0	1	1	0	24	24	25
Łącznie		0	5	5	10	51	61	80

Tabela 2. Punktacja opublikowanych prac wg MNiSW

Nazwa czasopisma	Liczba publikacji	IF ^a	Suma punktów MNiSW	
			zgodnie z rokiem wydania *	w roku 2015**
Osiągnięcie naukowe				
Food Research International	1	3,005	40	40
Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa;	2	-	12	16
Przemysł Chemiczny	3	1,165	45	45
Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych	1	-	9	14
Razem	<u>7</u>	<u>4,17</u>	<u>106</u>	<u>115</u>
Czasopisma wyróżnione w bazie (JCR)				
International. Agrophysics	1	1,117	25	25
Polish Journal of Environmental Studies;	1	0,963	10	15
Przemysł Chemiczny;	3	1,105	45	45
Industrial Crops and Products;	1	2,837	40	40
Aquaculture Nutrition;	1	2,179	35	25
Journal Of Liquid Chromatography & Related Technologies;	2	1,244	30	30
Acta Chromatographica;	1	0,485	15	15
Pharmacological Reports;	1	2,165	25	25
Polish Journal of Veterinary Sciences;	1	0,604	20	20
Journal of Brazilian Chemical Sociality;	1	1,125	25	25
Pozostałe czasopisma punktowane				
Acta Agrophysica;	1	-	4	14
Inżynieria Rolnicza;	4	-	24	40
Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa;	19	-	114	152
Open Chemistry;	2	-	28	28
Annales UMCS.	1	-	7	8
Razem				
<u>Rozdziały w monografiach (j. polski)</u>	2	-	8	8
<u>Rozdziały w monografiach (j. angielski)</u>	5	-	25	25
<u>Publikacje punktowane łącznie</u>	<u>58</u>	<u>17,99</u>	<u>586</u>	<u>655</u>
<i>Publikacje punktowane łącznie przed doktoratem</i>	2	-	8	20
<i>Publikacje punktowane łącznie po doktoracie</i>	56	17,99	578	635
		4		

*Punktacja MNiSW określona według roku wydania publikacji, w przypadku braku danych przy publikacjach z roku 2015, przyjęto aktualną punktację z listy z dnia 31 grudnia 2015

**Punktacja MNiSW określona według aktualnie obowiązującej listy z dnia 31 grudnia 2015

^a IF w roku wydania publikacji, w przypadku publikacji z roku 2016 podano ostatni dostępny IF₂₀₁₅ według JCR

SUMA PUNKTÓW UZYSKANYCH ZA DOTYCHCZASOWE PUBLIKACJE:

Całkowita liczba punktów MNiSW zgodnie z rokiem wydania publikacji:	586
Całkowita liczba punktów MNiSW zgodnie z aktualną listą czasopism:	655
Sumaryczny IF zgodnie z rokiem wydania publikacji wg JCR:	17,994

Suma po odjęciu punktów za cykl publikacji powiązanych tematycznie, składających się na osiągnięcie naukowe:

Liczba punktów MNiSW zgodnie z rokiem wydania publikacji:	480
Liczba punktów MNiSW zgodnie z aktualną listą czasopism:	540
IF zgodnie z rokiem wydania publikacji wg JCR:	13,824

Informacje dotyczące osiągnięć dydaktycznych, organizacyjnych i popularyzatorskich, zamieszczone zostały w zał. IV.

Lublin, dn. 09.03.2016

