



Politechnika Koszalińska

Wydział Mechaniczny

Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego

dr inż. Iwona Michalska-Požoga

AUTOREFERAT

Załącznik nr 2a do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego
w dziedzinie Nauk Technicznych,
w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn

Koszalin, 2017

SPIS TREŚCI

1. CHARAKTERYSTYKA HABILITANTKI.....	3
1.1. Uzyskane stopnie i tytuły naukowe	3
1.2. Przebieg pracy zawodowej.....	3
1.3. Osiągnięcia naukowe przed uzyskaniem stopnia doktora	4
2. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO.....	4
2.1. Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia	5
2.2. Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników.....	8
2.3. Syntetyczny opis uzyskanych wyników	19
3. POZOSTAŁE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWO-BADAWCZE.....	65
4. OPIS OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH, DYDAKTYCZNYCH, POPULARYZATORSKICH I ORGANIZACYJNYCH	68

1. CHARAKTERYSTYKA HABILITANTKI

1.1. Uzyskane stopnie i tytuły naukowe

- **2006 – stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie Budowa i Eksploatacja Maszyn,**
Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, promotor: prof. dr hab. inż. Jarosław Diakun, temat pracy doktorskiej: *Wpływ tarczowego mechanizmu uplastyczniania w wylączarce ślimakowo-tarczowej na właściwości mechaniczne wylączyn*. Recenzenci: prof. dr hab. inż. Robert Sikora (Politechnika Lubelska), dr hab. inż. Daniela Herman – prof. PK (Politechnika Koszalińska).
- **2001 – tytuł magistra inżyniera kierunku Mechanika i Budowa Maszyn,**
Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, kierunek Mechanika i Budowa Maszyn, specjalność Zarządzanie i Marketing w Budowie i Eksploatacji Maszyn, promotor: prof. dr hab. inż. Jarosław Diakun, tytuł pracy dyplomowej magisterskiej: *Analiza rynku cystern do zbioru mleka*.
- **2000 – tytuł zawodowy inżyniera kierunku Mechanika i Budowa Maszyn,**
Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, kierunek Mechanika i Budowa Maszyn, specjalność Zarządzanie i Marketing w Budowie i Eksploatacji Maszyn, promotor: prof. dr hab. inż. Jarosław Diakun, tytuł pracy dyplomowej inżynierskiej: *Analiza możliwości wykorzystania opakowań w reklamie*.

1.2. Przebieg pracy zawodowej

- | | |
|-------------------------|---|
| od 01.03.2017 – do dziś | Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego
Praca na stanowisku: asystent . |
| 01.03.2007 – 28.02.2017 | Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego.
Praca na stanowisku: adiunkt . |
| 01.10.2006 – 28.02.2007 | Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, Katedra Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego.
Praca na stanowisku: asystent . |
| 01.10.2001 – 31.07.2006 | Politechnika Koszalińska, Wydział Mechaniczny, doktorant w Katedrze Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego. |

1.3. Osiągnięcia naukowe przed uzyskaniem stopnia doktora

Pracę naukowo-badawczą rozpoczęłam w październiku 2001 roku, w ramach podjętych Studiów Doktoranckich (III stopnia) na Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej. Realizację pracy doktorskiej podjęłam w Katedrze Procesów i Urządzeń Przemysłu Spożywczego (dawniej Katedra Inżynierii Spożywczej i Tworzyw Sztucznych) kierowanej przez prof. dr. hab. inż. Jarosława Diakuna. W latach 2002 – 2004, w trakcie realizacji badań do pracy doktorskiej, weszłam w skład zespołu naukowo-badawczego powołanego w celu realizacji projektu badawczego nr 4 T08E 06223 na temat: „*Badanie możliwości przetwórczych autotermicznej wycłaczarki ślimakowo-tarczowej*”, finansowanego przez KBN, którego kierownikiem był prof. dr. hab. inż. Jarosław Diakun. Uzyskany w ramach realizacji badań materiał oraz jego analiza umożliwiły mi przygotowanie rozprawy doktorskiej pt. *Wpływ tarczowego mechanizmu uplastyczniania w wycłaczarce ślimakowo-tarczowej na właściwości mechaniczne wycłocznyn*, obronionej 20 czerwca 2006 roku w Wydziale Mechanicznym Politechniki Koszalińskiej. Promotorem pracy był prof. dr. hab. inż. Jarosław Diakun, recenzentami byli: prof. dr. hab. inż. Robert Sikora (Politechnika Lubelska), dr. hab. inż. Daniela Herman (Politechnika Koszalińska).

Prowadzona przeze mnie działalność naukowo-badawcza, w okresie **przed uzyskaniem stopnia doktora**, znalazła odzwierciedlenie w autorstwie i współautorstwie 9 opracowań naukowych, w tym 1 w czasopiśmie wyróżnionym w Journal Citation Reports. Ponadto, uzyskany materiał naukowo-badawczy był prezentowany przeze mnie podczas 6 konferencji krajowych i międzynarodowych.

2. WSKAZANIE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWEGO

Jako osiągnięcie, zgodnie 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, wskazuję:

- monografię naukową,
- cykl dziewięciu powiązanych tematycznie publikacji,
- patent udzielony przez Urząd Patentowy RP.

Wspólny tytuł osiągnięcia brzmi:

Teoretyczne i doświadczalne podstawy wycłaczania kompozytów polimerowych z wykorzystaniem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego

2.1. Wykaz publikacji wchodzących w skład osiągnięcia

1) Monografia naukowa

1. **Michalska-Požoga Iwona:** Studium efektywnego wytłaczania kompozytów polimerowych z wykorzystaniem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego. **Monografia Wydziału Mechanicznego nr 319.** Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin **2017**, ISSN 0239-7129, ISBN 978-83-7365-440-2. **** (25 pkt)**

Monografia zawiera ogółem 173 stron druku zwartego, podzielonego na 9 rozdziałów, streszczenie w języku polskim i angielskim oraz wykaz oznaczeń i literatury liczącej 194 pozycje. W treści zawarte są 23 tabele i 76 rysunki.

Wskazana powyżej monografia uzyskała pozytywne recenzje wydawnicze dr. hab. inż. Jolanty Tomaszewskiej - prof. nadzw. Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego z Bydgoszczy i dra hab. inż. Bogusława Królikowskiego z Instytutu Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników z Torunia.

Praca samodzielna. Mój udział procentowy wynosi 100%.

2) Publikacje w recenzowanych czasopismach naukowych wyróżnionych w Journal Citation Reports® indeksowanych przez Thomson Reuters® Web of Science®

1. **Michalska-Požoga I., Jakubowski M. 2012.** Analiza CFD ruchu cząstki i charakteru przepływu tworzywa polimerowego w strefie tarczowej wytłaczarki ślimakowo-tarczowej. **Przemysł Chemiczny** 91, 9, 1808-1812. ***(15 pkt; IF=0,344)**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu, opracowaniu i interpretacji wyników symulacji numerycznych oraz współudziale w opracowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy wynosi 60%.

2. Rydzkowski T., **Michalska-Požoga I. 2014.** A study on polymer particle flow in a disk zone of a screw-disk extruder. **Chemical and Process Engineering** 35(1), 121-135. DOI: 10.2478/cpe-2014-0009. ***(15 pkt; IF=0,653)**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie stanu wiedzy, zebraniu, przeanalizowaniu i interpretacji wyników oraz współudziale w opracowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy wynosi 50%.

3. **Michalska-Požoga I., Rydzkowski T. 2016.** The effect of extrusion conditions for a screw-disk plasticizing system on the mechanical properties of polypropylene/wood composites (WPC). **Polimery** 61, 3, 202-210. DOI: dx.doi.org/10.14314/polimery.2016.202. ***(15 pkt; IF=0,718)**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na opracowaniu metodyki i przeprowadzeniu badań eksperymentalnych oraz opracowaniu i interpretacji wyników badań oraz współudziale w opracowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy wynosi 60%.

4. **Michalska-Požoga I., Jakubowski M. 2015.** Analiza CFD przepływu tworzywa polimerowego w dwustożkowej strefie uplastyczniająco-homogenizującej wylączarki ślimakowo-tarczowej. **Przemysł Chemiczny** 94, 12, 2105-2111. ***(15 pkt; IF=0,367)**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu, opracowaniu i interpretacji wyników symulacji numerycznych oraz współudziale w opracowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy wynosi 60%.

5. **Michalska-Požoga I., Tomkowski R., Rydzkowski T., Thakur V.K. 2016.** Towards the usage of image analysis technique to measure particles size and composition in wood-polymer composites. **Industrial Crops and Products** 92, 149 – 156. ***(40 pkt; IF=3,449)**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu, opracowaniu i interpretacji wyników analizy obrazu przeprowadzonej w programie MATLAB oraz współudziale w opracowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy wynosi 60%.

3) Publikacje w recenzowanych czasopismach wyszczególnionych na liście B MNiSW

1. Rydzkowski T., **Michalska-Požoga I. 2009.** Ruch cząsteczek tworzywa w strefie tarczowej wylączarki ślimakowo-tarczowej. **Czasopismo Techniczne: Mechanika** 106, 3, 273-279 Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Kraków 2009. ***(4 pkt; IF=0)**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie stanu wiedzy, zebraniu, przeanalizowaniu i interpretacji wyników oraz współudziale w opracowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy wynosi 50%.

2. **Michalska-Požoga I., Rydzkowski T. 2010.** Właściwości przetwórcze i fizykochemiczne PP pierwotnego przetwarzanego w wylączarce ślimakowo-tarczowej. **Przetwórstwo Tworzyw 3**, 100-104. ***(6 pkt; IF=0)**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie stanu wiedzy, zaplanowaniu badań doświadczalnych, przeprowadzeniu badań analitycznych i interpretacji wyników oraz współudziale w opracowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy wynosi 50%.

3. **Michalska-Požoga I., Jakubowski M. 2010.** Analiza przepływu tworzywa polimerowego w strefie tarczowej wylączarki ślimakowo-tarczowej na podstawie obliczeń numerycznych z wykorzystaniem programu ANSYS CFX. **Przetwórstwo Tworzyw 4**, 185-187. ***(6 pkt; IF=0)**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na zaplanowaniu, opracowaniu i interpretacji wyników symulacji numerycznych oraz współudziale w opracowaniu manuskryptu. Mój udział procentowy wynosi 50%.

4) Rozdział w monografii w języku angielskim

1. Rydzkowski T., **Michalska-Požoga I. 2015.** Effective screw-disc extrusion in processing of recycled polymers and its composites. Rozdział 4 w książce **Recycled Polymers: Chemistry and Processing**, Volume 1, Smithers RAPRA, str. 115-160. ****(5 pkt; IF=0)**

Mój wkład w powstanie tej pracy polegał na analizie stanu wiedzy, zebraniu, przeanalizowaniu i interpretacji danych oraz współudziale w opracowaniu rozdziału. Mój udział procentowy wynosi 50%.

5) Patent

1. Diakun J., **Michalska-Požoga I. 2011.** Strefa tarczowej wylączarki ślimakowo-tarczowej. Urząd Patentowy RP, patent nr PL210138. *****(25 pkt).**

Mój wkład w powstanie patentu polegał na rozpoznaniu dotychczasowego stanu wiedzy, opracowaniu koncepcji zastrzeżeń patentowych. Mój udział procentowy wynosi 50%.

(wg roku opublikowania); **(wg oceny param. jedn. za lata 2013 - 2016); *(wg oceny param. jedn. za rok 2011)*

Sumaryczny IF osiągnięcia wynosi **5,531**. Sumaryczna liczba punktów osiągnięcia, wg listy MNiSW oraz kryteriów oceny parametrycznej jednostek naukowych (patent), wynosi **171 pkt** (liczba punktów udziału własnego w osiągnięciu wynosi **106,5 pkt**).

We wszystkich przedstawionych powyżej publikacjach i opracowaniu patentowym byłam pomysłodawcą hipotez, koncepcji analiz oraz badań eksperymentalnych oraz głównym realizującym zadania. W przedstawionych pracach stanowiących osiągnięcie byłam autorem odpowiedzialnym za merytoryczną stronę publikacji.

2.2. Omówienie celu naukowego i osiągniętych wyników

W dobie szybko rozwijającej się technologii i potrzeb rynku, poszukiwanie nowych materiałów i nowych sposobów ich przetwarzania stało się konieczne, ponieważ właściwości materiałów konwencjonalnych stały się niewystarczające. Zakładano, że nowoczesne materiały, powinny być efektywne i niezawodne oraz wytwarzane z wysoką wydajnością. Ponadto powinny być lekkie i odporne na ekstremalne warunki. Po wielu latach badań stwierdzono, że wszystkie te właściwości można uzyskać przez stworzenie, na bazie materiałów klasycznych, kompozytów o różnych właściwościach. Skład materiałów kompozytowych ewoluował, dzięki czemu możliwe było polepszanie ich właściwości (Chawla, 2012). Obecnie materiały te na równi z materiałami klasycznymi, tj. metalami, ceramiką i polimerami, są równie szeroko stosowane jako materiały konstrukcyjne. Kompozyty polimerowe, swoją popularność zdobyły dzięki dużej wytrzymałości mechanicznej przy stosunkowo niskiej masie, zwiększonej odporności na agresywne środowisko, a także podatności na ich ponowne przetwarzanie (Błędzki i Sperber, 2005; Zajchowski i inni, 2005). Dodatkami stosowanymi jako napełnienie lub wzmocnienie w kompozytach mogą być: materiały naturalne (włókna celulozowe, bawełniane, słoma, a nawet liście drzew itp.) i materiały syntetyczne (włókna szklane, węglowe, polimerowe, wzmocnienia metaliczne, napełniacze ceramiczne itp.). W zależności od ich postaci, rozmiarów i udziału w masie osnowy, możemy zmieniać właściwości kompozytów (Askeland i inni, 2011). Kompozyty polimerowe najczęściej wytwarzane są wysoko wydajnymi metodami stosowanymi do przetwarzania materiałów polimerowych. Do wytwarzania kompozytów o osnowie termoplastycznej wykorzystuje się wytłaczanie lub wtryskiwanie, o osnowie z tworzyw termoutwardzalnych stosuje się prasowanie tłoczne, przetłoczne lub płytowe, o osnowie z tworzyw chemoutwardzalnych

wykorzystuje się laminowanie ręczne, natryskowe, ciśnieniowe, prasowanie na gorąco oraz formowanie metodą nawijania.

Wytwarzanie kompozytów polimerowych wiąże się najczęściej z przeprowadzeniem tego procesu w dwóch etapach: wstępnym i właściwym. Wstępnym etapem wytwarzania kompozytów jest mieszanie polimeru w stanie uplastycznionym z napełniaczem, a także z innymi dodatkami podczas wytłaczania, najczęściej w układach jedno- lub dwuślimakowych, w ten sposób uzyskując np. wzmocniony granulaty. Drugi etap, to kształtowania (formowania) gotowego wyrobu z wcześniej wytłoczonego granulatu (Błędzki i Sperber, 2005; Braun i inni, 2007). Bardzo ważnym zagadnieniem w procesach wytwarzania kompozytów, jest uzyskanie wysokiego stopnia ujednorodnienia (rozprowadzenia) napełnienia lub wzmocnienia w osnowie polimerowej. Ważne jest także uzyskanie odpowiedniego stopnia adhezji składników, tj. osnowy i wzmocnienia, co wpływa na dobre właściwości otrzymanych materiałów. Poprawę adhezji i zmniejszenie tendencji do tworzenia się aglomeratów, zgodnie z doniesieniami literaturowymi, uzyskuje się głównie przez fizyczną lub chemiczną modyfikację polimeru lub napełniacza/wzmocnienia (Jayamol, 2001; Błędzki i inni, 2005).

Obecnie poszukiwane są metody pozwalające na skrócenie czasu wytwarzania elementów gotowych z kompozytów polimerowych (najlepiej w jednym procesie przetwórczym) z pominięciem modyfikacji powierzchni wzmocnienia, a ponadto otrzymywania wyrobów gotowych o oczekiwanych właściwościach. Taką alternatywą może być wytłaczanie z wykorzystaniem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego.

Pierwsze wzmianki o tarczowych układach uplastyczniających pojawiły się w literaturze światowej w latach pięćdziesiątych ubiegłego wieku. Wśród opracowań należy wymienić prace Maxwella i Scalora z 1959 roku, zespołów badaczy ukraińskich, tj. Prokunina z lat 1972 i 1990, Leonova wraz ze współpracownikami z 1976 roku, a także prace Lukacza i Kocherova (Maxwella i Scalora, 1959; Prokunin, 1972; Kocherov, 1973; Leonov, 1976; Łukacz, 2001;) oraz prace naukowców japońskich Kato i Tomity z 1967 roku (Tomito i Kato, 1967). Prace Prokunina potwierdziły możliwość konstruowania tarczowych układów wytłaczarek działających z wykorzystaniem efektu Weissenberga. Ponadto w literaturze istnieją wzmianki o czterech patentach z tego zakresu, a mianowicie: patent nr PT68659, zgłoszony w Wielkiej Brytanii w roku 1978, patent RFN nr DE2732173 i patent RFN nr DE2759878, zgłoszone w Niemczech, odpowiednio w latach 1978 i 1986, a także patent polski nr PL83102 z 1975 roku.

Zgodnie z teorią, ruch tworzywa w strefie tarczowej wylączarki wymuszany jest przez efekt Weissenberga. Przepływ tworzywa w szczelinie tarczowej powoduje jego homogenizację w wyniku ścinania i spływania pojedynczych strumieni tworzywa z całego obwodu tarczy do centralnie usytuowanego wylotu. Wadą układu tarczowego było niskie ciśnienie wylączania, co powodowało zbyt małe natężenie przepływu w trakcie procesu (Sikora, 1993). W celu polepszenia warunków wylączania w wylączarkach tarczowych rozpoczęto poszukiwania nowych rozwiązań konstrukcyjnych. Ukierunkowane przede wszystkim na zwiększenie ciśnienia, a w konsekwencji wzrost wartości natężenia przepływu. Po dokonaniu analiz wcześniejszych rozwiązań konstrukcyjnych stwierdzono, że lepsze warunki wylączania można uzyskać przez połączenie strefy tarczowej ze strefą ślimakową. W takim połączeniu strefa ślimakowa miała pełnić rolę strefy wstępnego uplastyczniania tworzywa, przede wszystkim zaś wytwarzała odpowiednio wysokie ciśnienie. Natomiast w strefie tarczowej miało zachodzić całkowite uplastycznienie, homogenizacja i dalsze sprężanie tworzywa. Pierwsze wzmianki o tego rodzaju konstrukcjach pojawił się pod koniec lat sześćdziesiątych i w latach siedemdziesiątych XX wieku w publikacjach naukowców ukraińskich (Kocherov i inni, 1973; Łukacz i inni, 1981; Sikora, 1993). W układzie tym wyróżniono trzy strefy (Kocherov i inni, 1973):

- w części ślimakowej – strefy zasilania i przemiany,
- w części tarczy – strefę homogenizacji.

Cechą wspólną wszystkich skonstruowanych w tamtym czasie konstrukcji było to, że średnica tarczy była większa od średnicy ślimaka. Wstępne wyniki badań potwierdziły przypuszczenia, że wylączarka ślimakowo-tarczowa umożliwi wygenerowanie zadowalających parametrów procesowych, tj. ciśnienia i wydajności. Poza tym zauważono, że wylączarki wykonane w tym procesie charakteryzują się korzystniejszymi właściwościami użytkowymi niż uzyskane w procesie klasycznym. Ponadto w trakcie badań stwierdzono jeszcze inny pożądaný efekt. Mianowicie, podczas wylączania w wylączarce ślimakowo-tarczowej osiągnięto efekt zwiększonej mieszalności polimerów niemieszalnych (Kocherov, 1973, 2002; Lebedov i inni, 1989). Mimo tak zadowalających wyników, konstrukcje te znalazły wąskie zastosowanie w przemyśle. Może to wynikać z faktu, że aby osiągnąć przedstawione powyżej efekty, należałoby dla każdego typu tworzywa, czy jego mieszanin, wykonać odrębną konstrukcję wylączarki (Kocherov, 2002).

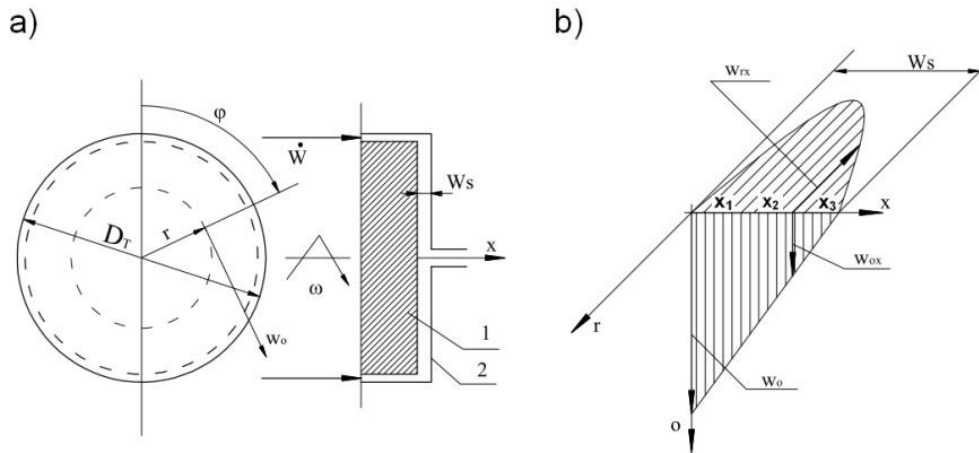
Korzystając z doświadczeń poprzedników, zespoły naukowców z Politechniki Koszalińskiej i Politechniki Lubelskiej opracowały, w 1995 roku nową konstrukcję

wyłączarki ślimakowo-tarczowej (wzór użytkowy nr RWU 64229) (Diakun i Sikora, 2009). Powstała ona jako rezultat analiz teoretycznych przeprowadzonych przez Diakuna (1991). Jest ona oryginalnym rozwiązaniem konstrukcyjnym, opartym na przeprowadzonych obliczeniach optymalizacyjnych i symulacyjnych (Diakun i inni, 1995). W wykonanej wyłęczarce z ślimakowo-tarczowym układem uplastyczniającym, zachodzą unikatowe i niespotykane w klasycznych (jedno- i dwuślimkowych) konstrukcjach, zjawiska – potwierdzone w badaniach zespołu z Politechniki Koszalińskiej (np. Diakun i Michalska-Požoga, 2004; Michalska-Požoga, 2006; Rydzkowski 2011). Konstrukcja wyłęczarki ślimakowo-tarczowej charakteryzuje się nieruchomym, rowkowanym cylindrem (na całej jego wewnętrznej powierzchni występują skrętne rowki o stałym skoku), w którym umieszczony jest ślimak o średnicy $D = 130$ mm i długości $L = 260$ mm, o stałym skoku zwoju na całej jego długości, ale o zmiennej głębokości. Średnica tarczy jest równa średnicy ślimaka. Istotnym elementem rozwiązania konstrukcyjnego jest wydzielenie gorącej i zimnej strefy układu uplastyczniającego wyłęczarki. Zimna strefa układu uplastyczniającego odpowiada za transport tworzywa i wytwarzanie ciśnienia, natomiast w jego gorącej strefie następuje uplastycznianie tworzywa. Kolejnym charakterystycznym elementem wyłęczarki jest szczelina w strefie tarczowej, której szerokość można regulować w zakresie od 0,3 do 3,0 mm. Tworzy ją czoło ślimaka (tarcza ruchoma) i pokrywa cylindra (tarcza nieruchoma). Odległość pomiędzy tarczami, czyli szerokość szczeliny tarczowej, można regulować za pomocą obrotowej tulei oporowej łożyska wzdłużnego (Rydzkowski, 2001).

Zespół Politechniki Koszalińskiej prowadził wieloletnie badania wyżej opisanej konstrukcji w zakresie identyfikacji parametrów procesu wyłęczania autotermicznego, gdzie analizowano stan autotermiczności w funkcji prędkości obrotowej, szerokości szczeliny, średnicy kryzy, a także temperatury początku wyłęczania. Charakter otrzymanej w trakcie badań przestrzeni stanu autotermiczności pozwolił na analizowanie wpływu poszczególnych czynników na uzyskiwanie efektu autotermicznego wyłęczania w wyłęczarce ślimakowo-tarczowej. Powyższe badania przeprowadzono w ramach pracy doktorskiej Rydzkowskiego (2001). Przebadano także jej przydatność do mieszania tworzyw. W latach 2002 – 2004 określono jej możliwości przetwórcze i ich wpływ na właściwości użytkowe wytworzonych elementów których wyniki opisano w wielu publikacjach (np. Michalska-Požoga, 2006). W latach 2005 – 2007 zbadano możliwość zastosowania tej konstrukcji do przetwarzania tworzyw pochodzących z recyklingu.

Na podstawie analizy stanu wiedzy stwierdzono, że tworzywo polimerowe w strefie tarczowej wyłęczarki ślimakowo-tarczowej przemieszcza się w kierunku

promieniowym, od krawędzi tarczy D_T do centralnie (osiowo) usytuowanego otworu wylotowego (dysza). Uplastycznione tworzywo w strefie tarczowej, w trakcie procesu wytłaczania, znajduje się pomiędzy stożkowym końcem obracającego się ślimaka a nieruchomą tarczą pokrywy cylindra (rys. 1a). Strefa tarczowa zastąpiła dwie strefy wytłaczarki klasycznej, a mianowicie strefę przemiany i homogenizacji. Ruch tworzywa w strefie tarczowej wytłaczarki ślimakowo-tarczowej wynika z superpozycji dwóch strumieni: ciśnieniowego i wleczonego (rys. 1b) (Diakun i Michalska-Požoga, 2004).



Rys. 1. Strefa tarczowa wytłaczarki ślimakowo-tarczowej: a) schemat: 1 – tarcza obrotowa, 2 – nieruchoma tarcza pokrywy cylindra, r – kierunek promieniowy, x – odległość od tarczy ruchomej (położenie cząstki w przestrzeni szczeliny tarczowej: $x_1 = 0,2 \cdot W_s$, $x_2 = 0,5 \cdot W_s$, $x_3 = 0,8 \cdot W_s$), D_T – średnica tarczy, ω – prędkość kątowna, \dot{W} – wydajność, W_s – wymiar szczeliny; b) rozkład prędkości w szczelinie: w_{rx} – prędkość strumienia ciśnieniowego, w_{ox} – prędkość strumienia wleczonego, w_o – prędkość w kierunku obwodowym, o – kierunek obwodowy (Diakun i Michalska-Požoga, 2004)

Strumień ciśnieniowy jest skutkiem przepływu tworzywa wymuszanego ciśnieniem wytworzonym przez układ ślimakowy wytłaczarki. Rozkład prędkości tworzywa ma charakter paraboliczny w_{rx} (rys. 1b). Paraboliczny rozkład prędkości zależy od warunków brzegowych, w związku z tym prędkość tę opisano równaniem kwadratowym postaci (1.1) (Diakun i Michalska-Požoga, 2004):

$$w_{rx} = ax^2 + bx + c \quad (1.1)$$

Zakładając warunki brzegowe w postaci (1.1a i 1.1b):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{jeżeli } x = 0 \text{ to } w_{rx} = 0 \\ \text{jeżeli } x = W_s \text{ to } w_{rx} = 0 \end{array} \right. \quad (1.1a)$$

$$(1.1b)$$

otrzymujemy:

- spełniając założenia warunku (1.1a), równanie (1.2):

$$0 = a \cdot 0 + b \cdot 0 + c \rightarrow c = 0 \quad (1.2)$$

- spełniając założenia warunku (1.1b) równanie (1.3):

$$\begin{aligned} 0 &= aW_s^2 + bs \\ 0 &= aW_s + b \rightarrow b = -aW_s \end{aligned} \quad (1.3)$$

Wartość prędkości tworzywa w strefie tarczowej wynika z wydajności i zmienia się wraz z promieniem r , w związku z tym wyprowadzono zależność (1.4):

$$\begin{aligned} d\dot{W} &= dF \cdot w_{rx} \\ dF &= dx \cdot 2\pi r \\ d\dot{W} &= 2\pi r \cdot w_{rx} \cdot dx \end{aligned} \quad (1.4)$$

Podstawiając do równania (1.4) równanie (1.2) otrzymujemy (1.4a):

$$\begin{aligned} d\dot{W} &= 2\pi r(ax^2 + bx)dx \\ \int dW &= \dot{W} = \int_{x=0}^{x=W_s} 2\pi r(ax^2 + bx)dx \\ \dot{W} &= 2\pi r \int_{x=0}^{x=W_s} (ax^2 + bx) dx \\ \dot{W} &= 2\pi r \left(\frac{1}{3}ax^3 + \frac{1}{2}bx^2 \right) \Big|_0^{x=W_s} \\ \dot{W} &= 2\pi r \left(\frac{1}{3}aW_s^3 + \frac{1}{2}bW_s^2 \right) \end{aligned} \quad (1.4a)$$

Natomiast po podstawieniu równania (1.3), otrzymujemy (1.4b):

$$\begin{aligned} \dot{W} &= 2\pi r \left(\frac{1}{3}aW_s^3 - \frac{1}{2}aW_s \cdot W_s^2 \right) \\ \dot{W} &= 2\pi r \left(-\frac{1}{6}aW_s^3 \right) \end{aligned}$$

$$\dot{W} = -\frac{1}{3}\pi r \cdot a W_s^3 \rightarrow a = \frac{-3\dot{W}}{\pi r \cdot W_s^3} \quad (1.4b)$$

Uzyskaną postać wielkości a (1.4b) podstawiono do równania (1.3), otrzymując (1.5):

$$b = -a W_s = \frac{3\dot{W}}{\pi r \cdot W_s^2} \quad (1.5)$$

Podstawiając uzyskane równania (1.4b) i (1.5) do równania (1.1), wyprowadzono wzór określający rozkład prędkości strumienia ciśnieniowego tworzywa polimerowego w_{rx} w kierunku promieniowym, na promieniu r i w odległości od tarczy ruchomej x , (1.6):

$$w_{rx} = -\frac{3\dot{W}}{\pi r \cdot W_s^3} x^2 + \frac{3\dot{W}}{\pi r \cdot W_s^2} x$$

$$w_{rx} = \frac{3}{\pi} \cdot \frac{\dot{W}}{r W_s^3} (W_s \cdot x - x^2). \quad (1.6)$$

Strumień wleczony wynika ze względnego ruchu obracającej się tarczy (rys. 1a). Prędkość zmniejsza się w kierunku x do tarczy nieruchomej (rys. 1a). Rozkład prędkości strumienia wleczonego ma charakter liniowy w_{ox} (rys. 1b). Liniowy rozkład prędkości zależy od warunków brzegowych, w związku z tym prędkość tę opisano równaniem liniowym postaci (1.7):

$$w_{ox} = ax + b. \quad (1.7)$$

Zakładając warunki brzegowe w postaci (1.7a i 1.7b):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{jeżeli } x = 0 \text{ to } w_{ox} = \omega \cdot r \\ \text{jeżeli } x = W_s \text{ to } w_{ox} = 0 \end{array} \right. \quad (1.7a)$$

$$(1.7b)$$

otrzymujemy:

- spełniając założenia warunku (1.7a), równanie (1.8):

$$\omega \cdot r = a \cdot 0 + b \rightarrow b = \omega \cdot r \quad (1.8)$$

- spełniając założenia warunku (1.7b), równanie (1.9):

$$0 = aW_s + b \rightarrow a = -\frac{b}{W_s}. \quad (1.9)$$

Podstawiając równania (1.8) i (1.9) do równania (1.7) opisującego liniowy charakter strumienia wleczonego, wyprowadzono wzór określający rozkład prędkości strumienia wleczonego w_{ox} (1.10):

$$w_{ox} = r \cdot \omega \cdot \left(1 - \frac{x}{W_s}\right). \quad (1.10)$$

Natomiast prędkość kątową przemieszczania się cząstek tworzywa w strefie tarczowej określa zależność (1.11):

$$\omega_{ox} = \omega \cdot \left(1 - \frac{x}{W_s}\right). \quad (1.11)$$

Kierunki prędkości strumieni ciśnieniowego i wleczonego są względem siebie prostopadłe (rys. 1b).

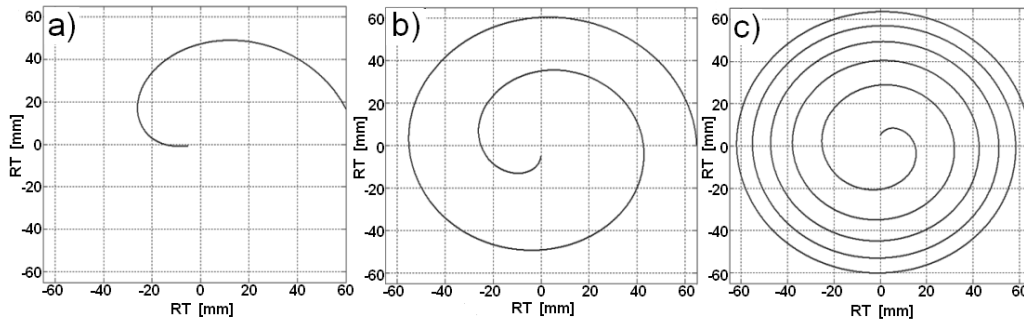
Wzory opisujące trajektorię ruchu tworzywa w szczelinie tarczowej można przedstawić we współrzędnych biegunowych (r, φ) , wtedy równanie (1.6) przyjmuje postać (1.12):

$$r = \frac{D_T}{2} - \int w_{rx} dt, \quad (1.12)$$

natomiast równanie (1.10), postać (1.13):

$$\varphi = \int \omega_{ox} dt. \quad (1.13)$$

Superpozycja opisanych powyżej strumieni, tj.: ciśnieniowego i wleczonego, powoduje powstawanie spiralnego ruchu tworzywa w szczelinie strefy tarczowej wytłaczarki ślimakowo-tarczowej. Trajektorie cząstek są, w zależności od parametrów procesowych, spiralami lub ich częściami. Ich postać zależy od szerokości szczeliny strefy tarczowej – W_s , wydajności – \dot{W} , położenia cząstki w przestrzeni szczeliny tarczowej (odległości od tarczy ruchomej) – x i prędkości kątowej – ω (rys. 2).



Rys. 2. Przykładowe trajektorie ruchu tworzywa w szczelinie tarczowej wylączarki, uzyskane symulacyjnie dla stałych $x_I = 0,2 \cdot W_s$ mm, $\dot{W} = 2000$ mm³/s, $\omega = 2$ rad·s⁻¹ i zmiennej szerokości szczeliny: a) $W_s = 0,3$ mm, b) $W_s = 1,0$ mm, c) $W_s = 3,0$ mm (Diakun i Michalska-Požoga, 2004)

Ten rodzaj ruchu porządkuje strukturę tworzyw polimerowych, a także pozwala na lepsze rozproszanie napełnienia lub wzmocnienia w matrycy polimerowej.

Wnioski z analizy literatury:

- Unikatowe zjawiska zachodzące w ślimakowo-tarczowym układzie uplastyczniającym dają możliwość przetwarzania tworzyw polimerowych w odmienny sposób, niż w urządzeniach klasycznych, w szczególności przy wytwarzaniu kompozytów. Konstrukcja ta umożliwia takie przetwarzania tworzyw polimerowych, dzięki którym możemy uzyskiwać określone właściwości użytkowe wyrobów (Michalska-Požoga, 2006; Michalska-Požoga i Diakun, 2014).
- Przetwarzania w ślimakowo-tarczowym układzie uplastyczniającym daje możliwość uzyskania wysokiej jednorodności mieszanin tworzyw, co jest szczególnie istotne dla wylączania materiałów pochodzących z recyklingu, przygotowywania koncentratów barwnych lub kompozycji polimerowych z napełniaczami włóknistymi lub hybrydowymi (Rydzkowski i Michalska-Požoga, 2010; Rydzkowski, 2011).
- Kompaktowa (krótka) konstrukcja wylączarki ($L/D=2$), skraca czas przebywania uplastycznionego tworzywa w układzie, w wyniku czego zmniejsza się obciążenie termiczne przetwarzanego materiału.
- Wylączarka ślimakowo-tarczowa, dzięki swym oryginalnym cechom, umożliwia uzyskanie wylóczyn o odmiennych właściwościach niż wylóczyny powstałe w procesie klasycznego wylączania ślimakowego. Wynika to z właściwości przetwórczych mechanizmu tarczowego wylączarki, który

powoduje porządkowanie struktury tworzyw polimerowych. Odpowiedni dobór szerokości szczeliny tarczowej i prędkości obrotowej ślimaka stwarza takie warunki, w których można otrzymać wytłoczną charakteryzującą się lepszymi właściwościami użytkowymi od uzyskiwanej na drodze klasycznego wytłaczania ślimakowego (Michalska-Požoga, 2014).

- **Próba zastosowania tarczowego układu homogenizującego wytłaczarki ślimakowo-tarczowej do wytłaczania kompozytów umożliwi stworzenie takich warunków, które umożliwią pominięcie pewnych etapów obróbki wstępnej składników kompozytu. Przede wszystkim pozwoli wyeliminować proces modyfikacji napelnacza/wzmocnienia i osnowy. Ponadto, umożliwią wyeliminowanie procesu wstępnego mieszania, w stanie uplastycznionym, składników kompozytu w oddzielnej operacji, w celu ich konfekcjonowania (uzyskania wzmocnionego granulatu), a także skrócenia czasu potrzebnego na wykonanie wyrobu gotowego.**
- **Brak jest szczegółowych opracowań dotyczących efektywnego wytłaczania kompozytów polimerowych za pomocą ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego i jego wpływu na właściwości otrzymanych materiałów kompozytowych.**
- **Dotychczas nie przeprowadzono analiz numerycznych MES (Metoda Elementów Skończonych) zjawisk zachodzących w ślimakowo-tarczowym układzie uplastyczniającym w oparciu o warunki początkowe, dobrane stosownie do rzeczywistych możliwości konstrukcyjnych i przetwórczych wytłaczarki ślimakowo-tarczowej.**
- **Dotychczas nie opracowano zestawu parametrów wytłaczania ślimakowo-tarczowego, umożliwiającego otrzymanie oczekiwanych właściwości kompozytów polimerowych z różnym rodzajem napelnienia lub wzmocnienia.**

PROBLEMY BADAWCZE

Wnioski wyciągnięte z analizy literatury, a także wyniki wcześniej prowadzonych badań zjawisk zachodzących w strefie tarczowej wytłaczarki ślimakowo-tarczowej i ich wpływu na właściwości otrzymywanych materiałów, pozwoliły na sformułowanie problemów badawczych, które rozwiązano na drodze analiz numerycznych i badań eksperymentalnych. Przeprowadzono badania właściwości

mechanicznych, fizycznych, dyspersji napełniacza w matrycy polimerowej oraz badania mikroskopowe struktury kompozytów.

CEL NAUKOWY BADAŃ

Celem naukowym było opracowanie podstaw wytłaczania z zastosowaniem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego wytłaczarki, którego budowa umożliwia uzyskanie kompozytów polimerowych o oczekiwanych właściwościach w jednym procesie, z użyciem napełnienia o zróżnicowanej postaci, wielkości cząstek oraz różnym pochodzeniu.

W ramach realizacji celu naukowego rozwiązano następujące problemy badawcze:

1. Opracowano model numeryczny, przy użyciu którego określono zakres, charakter i intensywność zjawisk zachodzących w strefie tarczowej wytłaczarki ślimakowo-tarczowej, w oparciu o warunki początkowe, dobrane stosownie do rzeczywistych możliwości konstrukcyjnych i przetwórczych wytłaczarki ślimakowo-tarczowej. Określono obszary oddziaływania parametrów wytłaczania na prędkość przemieszczania się cząstek tworzywa w szczelinie tarczowej, charakter przepływu tworzywa, wartości i rozkład szybkości ścinania występujących podczas procesu wytłaczania.
2. Określono możliwości przeprowadzenia wytłaczania kompozytów polimerowych z udziałem mączki drzewnej (PP+mączka drzewna) z zastosowaniem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego. Oszacowano wpływ parametrów wytłaczania (szczelina tarczowa, prędkość obrotowa) na właściwości mechaniczne, fizyczne, dyspersję napełniacza w matrycy polimerowej i budowę strukturalną uzyskanych kompozytów.
3. Określono możliwości przeprowadzenia wytłaczania kompozytów polimerowych z udziałem wiórów drzewnych (PP+wióry drzewne) z zastosowaniem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego. Oszacowano wpływ parametrów wytłaczania (szczelina tarczowa, prędkość obrotowa) na właściwości mechaniczne, fizyczne, dyspersję napełniacza w matrycy polimerowej i budowę strukturalną uzyskanych kompozytów.
4. Określono możliwości przeprowadzenia wytłaczania kompozytów polimerowych z udziałem włókna szklanego (PE-LD+włókno szklane) z zastosowaniem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego. Oszacowano wpływ parametrów wytłaczania

(szczelina tarczowa, prędkość obrotowa) na właściwości mechaniczne, fizyczne i budowę strukturalną uzyskanych kompozytów.

5. Określono wpływ szybkości ścinania na stopień rozprowadzenia napełniacza w matrycy polimerowej. Ponadto określono wielkość cząstek napełniacza na podstawie analizy obrazów.

6. Określono wpływ parametrów wytłaczania na stopień adhezji napełniacza z matrycą polimerową i strukturę kompozytów na podstawie obrazów mikroskopowych (Scanning Electron Microscope – SEM).

7. Oceniono możliwości zastosowania ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego do wytłaczania kompozytów polimerowych, w szczególności kompozytów wysokonapełnionych.

8. Opracowano zakresy nastaw parametrów wytłaczania, umożliwiających otrzymanie kompozytów o oczekiwanych właściwości.

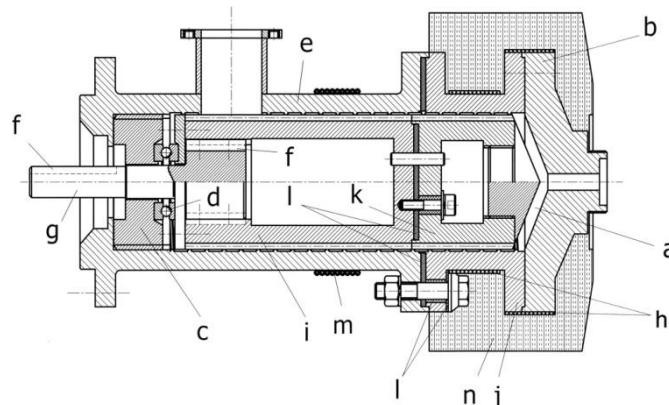
9. Opracowano nową konstrukcję strefy tarczowej wytłaczarki ślimakowo-tarczowej.

2.3. Syntetyczny opis uzyskanych wyników

W tym podrozdziale przedstawiono założenia, metody i przykładowe wyniki poszczególnych etapów badań. Podsumowano rozdziały wskazując najważniejsze wnioski i efekty naukowe.

OPIS OBIEKTU BADAŃ

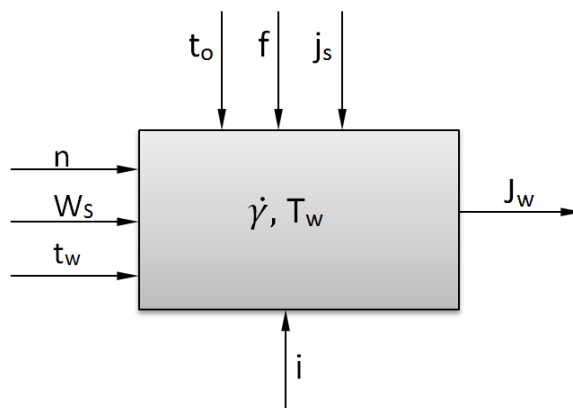
Badanym obiektem była wytłaczarka ze ślimakowo-tarczowym układem uplastyczniającym (rys. 3).



Rys. 3. Przekrój układu uplastyczniającego wytłaczarki ślimakowo-tarczowej: a) strefa tarczowa, b) pokrywa (tarcza nieruchoma), c) tuleja oporowa łożyska wzdłużnego, d) łożysko wzdłużne, e) część zimna cylindra, f) wpust, g) wał napędowy,

h) grzejniki otokowe, i) część zimna ślimaka, j) część gorąca cylindra, k) część gorąca ślimaka, l) warstwa izolacji termicznej, m) opaska chłodząca, n) izolacja termiczna

Badana wyciączarka jest złożonym obiektem badań, a jego istotne zmienne przedstawia rys. 4. Parametrami wejściowymi i nastawialnymi w obiekcie badań są: szerokość szczeliny tarczowej (W_s), prędkość obrotowa (n) i temperatura wyciączania (t_w) (zależna od użytego tworzywa polimerowego). Ponadto, parametrem zmiennym był także procentowy udział napełniacza (i). Zidentyfikowano także zakłócenia jakie mogły wpływać na proces wyciączania, tj.: temperatura i wilgotność względna otoczenia (t_o , f), a także jakość surowców (j_s). Analizowanym parametrem wyjściowym była jakość wytłoczony (kompozytu) (J_w) oceniona za pomocą badań właściwości mechanicznych, fizycznych i strukturalnych oraz analizy adhezji napełniacza z matrycą polimerową i stopniem rozproszczenia składnika w matrycy polimerowej.



Rys. 4. Uniwersalny model obiektu badań: $\dot{\gamma}$ – szybkość ścinania, T_w – czas wyciączania (pozostałe objaśnienia symboli w tekście)

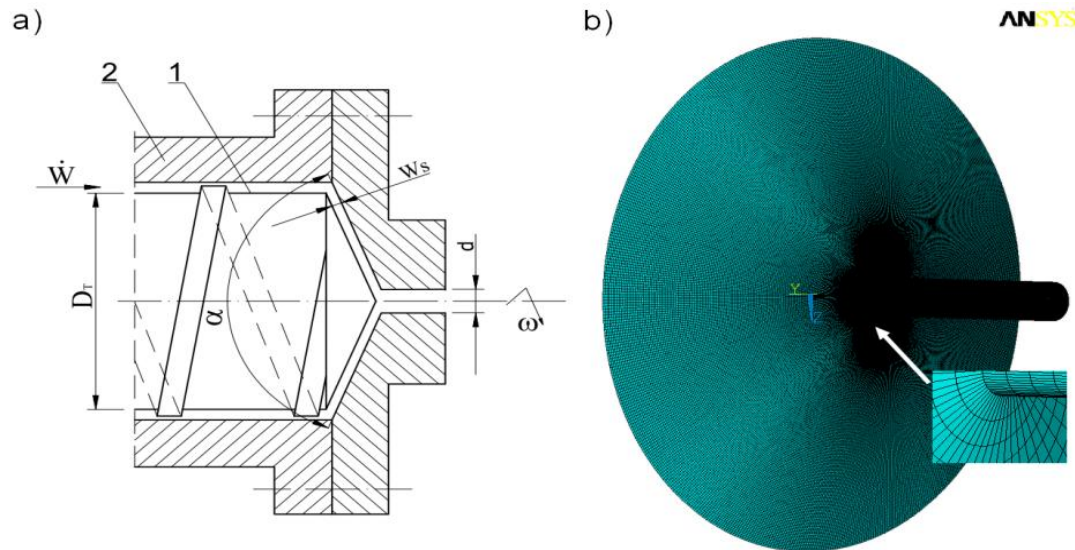
1. Analiza numeryczna określania zakresu, charakteru i intensywności zjawisk zachodzących w strefie tarczowej wyciączarki ślimakowo-tarczowej

1.1. Określono tor ruchu i prędkości cząstek w strefie tarczowej wyciączarki

Analizę numeryczną przeprowadzono na przestrzennym modelu badawczym strefy tarczowej wyciączarki ze ślimakowo-tarczowym układem uplastyczniającym wygenerowanym za pomocą programu Ansys CFX 12.1 (rys. 5). Model geometryczny strefy wykonano według następujących parametrów: $D_T = 130$ mm, $d = 10$ mm, $\alpha = 133^\circ$, $W_{s1} = 0,3$ mm, $W_{s2} = 0,7$ mm, $W_{s3} = 1,7$ mm, $W_{s4} = 2,6$ mm, $W_{s5} = 3,0$ mm. Dla modelu strefy tarczowej wyciączarki ślimakowo-tarczowej przeprowadzono

dyskretyzację przestrzeni siatką przestrzenną, prostopadłościenną wykorzystując element typu Fluid 142.

Analizę przeprowadzono dla następujących nastaw wylączarki: $W_{s,l} = 0,3 \div 3,0$ mm, $\omega = 1,26; 1,69; 2,73; 3,67; 4,20$ [rad·s⁻¹].



Rys. 5. Model strefy tarczowej wylączarki ślimakowo-tarczowej: a) schemat, b) model geometryczny z nałożoną siatką typu Fluid 142

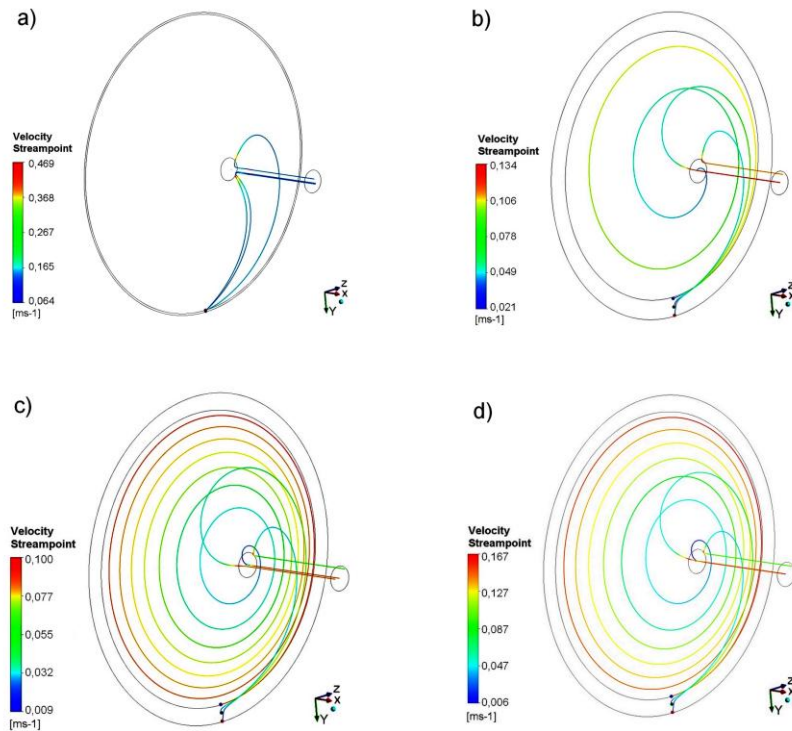
Do analiz jako tworzywo modelowe przyjęto polietylen małej gęstości. Do zdefiniowania płynu modelowego przyjęto uniwersalny model potęgowej Ostwalda-de Waele'a, wyrażony wzorem (1.14) (Wilczyński, 2000):

$$\tau = k \cdot \left(\frac{dw}{dy} \right)^n = k \cdot \left(\frac{d\gamma}{dt} \right)^n, \quad (1.14)$$

w którym: τ oznacza naprężenie styczne [Pa], k oznacza współczynnik konsystencji [Pa·sⁿ], $d\gamma/dt$ oznacza szybkość ścinania [s⁻¹], a n oznacza wykładnik płynięcia. Współczynniki n i k wyznaczone są doświadczalnie.

Przeprowadzono obliczenia symulacyjne dla trzech różnych położzeń cząstek w szczelinie tarczowej. Opisany sposób analizowania torów ruchu cząstki i jego prędkości daje całościowy obraz zjawisk zachodzących w przestrzeni szczeliny tarczowej.

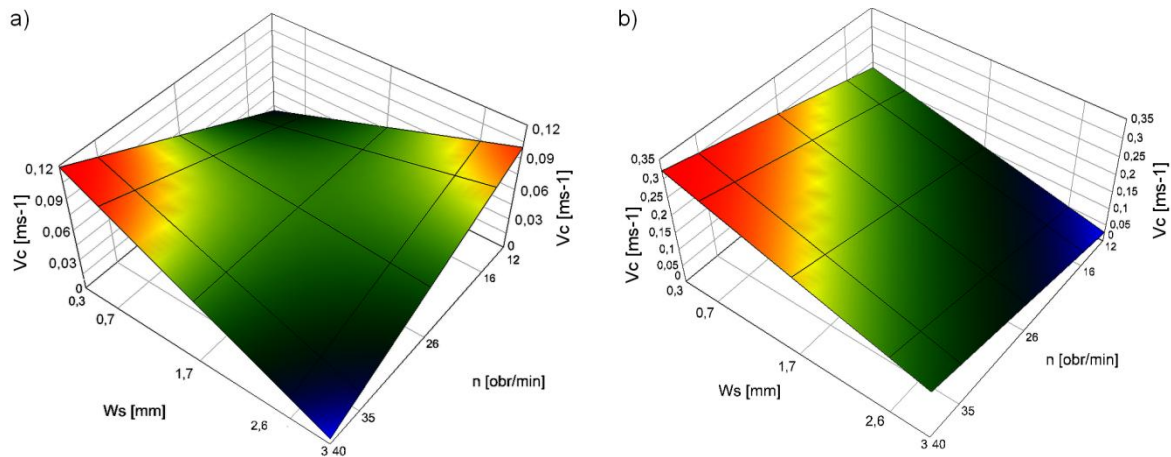
Przykładowe wyniki analiz przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Tory ruchów cząstek w strefie tarczowej wylączarki ślimakowo-tarczowej w zależności od doboru parametrów: a) $W_{s1} = 0,3 \text{ mm}$, $\omega = 2,73 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$, b) $W_{s5} = 3,0 \text{ mm}$, $\omega = 2,73 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$, c) $W_{s4} = 2,6 \text{ mm}$, $\omega = 1,69 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$, d) $W_{s4} = 2,6 \text{ mm}$, $\omega = 3,67 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$

Zagęszczenie toru ruchu cząstek zależy od szerokości szczeliny tarczowej, prędkości kątowej i początkowego ich położenia w szczelinie tarczowej. Posiadając wiedzę o charakterze ruchu cząstek tworzywa w szczelinie tarczowej, możemy wpływać na czas przebywania tworzywa w układzie uplastyczniającym wylączarki, a także na intensywność (duże lub małe szybkości ścinania) zachodzących w niej zjawisk.

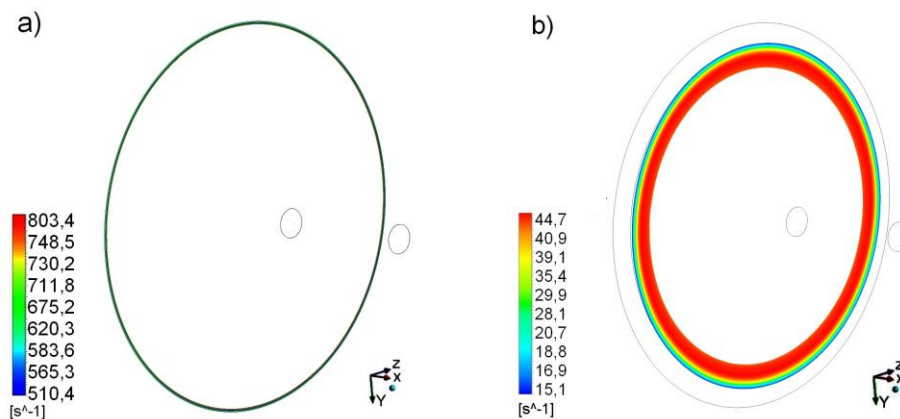
W celu wyznaczenia charakteru oddziaływania szerokości szczeliny tarczowej i prędkości obrotowej ślimaka na prędkość przemieszczania się cząstek, dokonano aproksymacji uzyskanych wyników za pomocą równań regresji (na podstawie równań wygenerowano powierzchnie w przestrzeni – rys. 7).



Rys. 7. Rozkład prędkości ruchu cząstki V_c w szczelinie tarczowej wylączarki w zależności od jej szerokości szczeliny tarczowej i prędkości obrotowej: a) rozkład prędkości minimalnych (V_{cmin}), b) rozkład prędkości maksymalnych (V_{cmax})

1.2. Wyznaczono szybkości ścinania w strefie tarczowej wylączarki

Kolejnym etapem analiz numerycznych było określenie minimalnych i maksymalnych wartości szybkości ścinania ($\dot{\gamma}$) uzyskanych na różnych głębokościach szczeliny tarczowej (x), przy zmiennej szerokości szczeliny tarczowej i prędkości obrotowej.



Rys. 8. Szybkość ścinania w wybranych miejscach strefy tarczowej wylączarki ślimakowo-tarczowej: a) $x_1 = 0,06$ mm, przy szerokości szczeliny $W_{s1} = 0,3$ mm i $\omega = 2,73$ rad·s⁻¹, b) $x_3 = 2,4$ mm, dla szczeliny $W_{s5} = 3,0$ mm i $\omega = 2,73$ rad/s

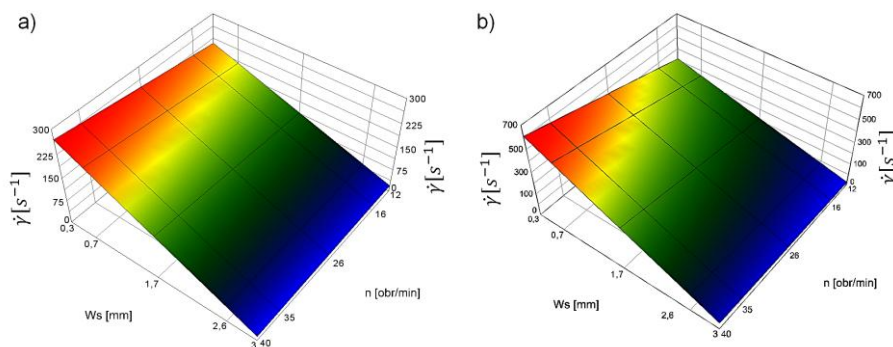
Poddając analizie wyniki przedstawione na rys. 8 stwierdzono, że w przypadku małych szerokości szczeliny tarczowej uzyskujemy duże wartości szybkości ścinania, które powodują warunki krótkotrwałego, intensywnego oddziaływania ścinająco-

mieszającego. Natomiast w przypadku dużych szerokości szczeliny tarczowej stwierdza się małe wartości szybkości ścinania, w wyniku czego tworzywo dłużej przebywa w układzie i obserwuje się łagodne, długotrwałe oddziaływanie mieszające. Wynika z tego, że szerokością szczeliny tarczowej możemy wpływać na intensywność mieszania i stopień ujednorodnienia przetwarzanego materiału.

Zwiększanie szerokości szczeliny tarczowej, niezależnie od wzrostu wartości prędkości obrotowej, powoduje spadek wartości szybkości ścinania w każdym miejscu szczeliny tarczowej o około 95%.

Podobnie jak w przypadku określania toru i prędkości przemieszczania cząstki, określono wpływ parametrów wytłaczania na uzyskiwane wartości szybkości ścinania. W tym celu również dokonano aproksymacji uzyskanych wyników za pomocą równań regresji.

Na podstawie równań regresji wygenerowano przestrzenne powierzchnie opisujące charakter i intensywność wpływu W_s i n na szybkość ścinania w szczelinie tarczowej (rys. 9).



Rys. 9. Rozkład wartości szybkości ścinania ($\dot{\gamma}$) w szczelinie tarczowej wylączarki ślimakowo-tarczowej, w zależności od szerokości jej szczeliny tarczowej i prędkości obrotowej: a) rozkład $\dot{\gamma}_{\min}$, b) rozkład $\dot{\gamma}_{\max}$

Analizując wyniki stwierdzono, że najwyższe wartości $\dot{\gamma}$ zaobserwowano podczas jednoczesnego oddziaływania małych szerokości szczeliny tarczowej w zakresie od 0,3 do 1,0 mm niezależnie od wartości prędkości obrotowej.

Przeprowadzono porównanie wartości szybkości ścinania uzyskiwanych podczas pracy wylączarki ślimakowo-tarczowej do szybkości ścinania uzyskiwanych w wylączarkach najczęściej stosowanych w przetwórstwie tworzyw. Stwierdzono, że badana wylączarka, przy szerokości szczeliny tarczowej $W_{s5} = 3,0$ mm, mieści się w zakresie najwyższych wartości szybkości ścinania uzyskiwanych na wylączarkach jednoślakowych, i w najniższych występujących w wylączarkach dwuślakowych współbieżnych uzyskiwanych dla szerokości szczeliny tarczowej równej 0,3 mm.

Podsumowując stwierdzono, że tylko zmieniając nastawy wytłaczania w wytłaczarce ślimakowo-tarczowej możemy uzyskiwać odmienny stopień oddziaływania na przetwarzany materiał.

Najważniejsze wnioski etapu analiz numerycznych:

1. Metoda modelowania, zastosowana w programie Ansys CFX 12.1, pozwala na poznanie i przeanalizowanie, bliskich rzeczywistości, warunków przetwarzania panujących w strefie tarczowej wytłaczarki ślimakowo-tarczowej.
2. Trajektorie ruchu cząstek tworzywa w szczelinie tarczowej są spiralami lub ich częściami. Ich postać zależy od szerokości szczeliny, prędkości obrotowej i od początkowego położenia cząstki tworzywa w strefie tarczowej. Różnica w torach ruchu cząstek polimeru w szczelinie tarczowej wynika z oddziałującego na nie gradientu prędkości.
3. Czas przebywania tworzywa w szczelinie tarczowej zależy od prędkości obrotowej i szerokości szczeliny tarczowej.
4. Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że jednoczesne oddziaływanie małej szerokości szczeliny tarczowej i dużej wartości prędkości obrotowej, powoduje warunki krótkotrwałego, intensywnego oddziaływania ścinająco-mieszającego (duże szybkości ścinania) lub warunki łagodnego, długotrwałego oddziaływania mieszającego (małe szybkości ścinania) przy jednoczesnym wpływie dużych wartości szczeliny tarczowej i małych prędkości obrotowych. Te warunki mają wpływ na stopień homogenizacji wytłaczanych kompozytów.

Efektym naukowym tego etapu badań jest stwierdzenie, że:

- ślimakowo-tarczowy układ uplastyczniający umożliwia uzyskanie warunków łagodnego lub intensywnego oddziaływania na tworzywo tylko przez zmianę nastaw wytłaczania, co nie jest możliwe w przypadku konstrukcji klasycznych;
- jednoczesne oddziaływanie szerokości szczeliny tarczowej i prędkości obrotowej, ma wpływ na stopień homogenizacji wytłaczanych kompozytów;
- poznanie zjawisk występujących w strefie tarczowej wytłaczarki ślimakowo-tarczowej daje możliwość takiego doboru elementów konstrukcji urządzenia przetwórczego (projektowanie urządzeń) lub parametrów procesu (projektowanie procesu), aby wytworzony produkt uzyskał jak najwięcej oczekiwanych właściwości użytkowych;

Publikacje

Michalska-Požoga I. 2017. Studium efektywnego wytłaczania kompozytów polimerowych z wykorzystaniem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego. **Monografia Wydziału Mechanicznego nr 319**, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2017, str. 51-53, 65-76. ISSN 0239-7129, ISBN 978-83-7365-440-2

Michalska-Požoga I., Jakubowski M. 2012. Analiza CFD ruchu cząstki i charakteru przepływu tworzywa polimerowego w strefie tarczowej wylączarki ślimakowo-tarczowej. **Przemysł Chemiczny** 91, 9, 1808-1812.

Rydzkowski T., **Michalska-Požoga I. 2009.** Ruch cząsteczek tworzywa w strefie tarczowej wylączarki ślimakowo-tarczowej. **Czasopismo Techniczne: Mechanika** 106, 3, 273-279 Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej. Kraków 2009.

Michalska-Požoga I., Jakubowski M. 2010. Analiza przepływu tworzywa polimerowego w strefie tarczowej wylączarki ślimakowo-tarczowej na podstawie obliczeń numerycznych z wykorzystaniem programu ANSYS CFX. **Przetwórstwo Tworzyw** 4, 185-187.

Rydzkowski T., **Michalska-Požoga I. 2014.** A study on polymer particle flow in a disk zone of a screw-disk extruder. **Chemical and Process Engineering** 35(1), 121-135. DOI: 10.2478/cpe-2014-0009.

Rydzkowski T., **Michalska-Požoga I. 2015.** Effective screw-disc extrusion in processing of recycled polymers and its composites. Rozdział 4 w książce **Recycled Polymers: Chemistry and Processing, Volume 1**, Smithers RAPRA, str. 115-160.

2. Wytłaczanie kompozytów polimerowych z udziałem mączki drzewnej (PP+mączka drzewna) z zastosowaniem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego i wpływ jego parametrów na właściwości mechaniczne, fizyczne i budowę strukturalną uzyskanych kompozytów

Materiałem badawczym wykorzystanym w tym etapie badań był polipropylen PP Moplen HP456J i napełnienie w postaci mączki drzewnej z drzewa iglastego o nazwie handlowej Lignocel C 120 o wymiarach 70 – 150 μm produkcji Rettenmaier und Söhne GmbH+Co. KG (Niemcy). Zastosowany materiał osnowy i napełniacz nie poddano fizycznej lub chemicznej modyfikacji.

2.1. Określono wpływ parametrów wytłaczania na właściwości mechaniczne kompozytów polimerowych (PP+mączka drzewna)

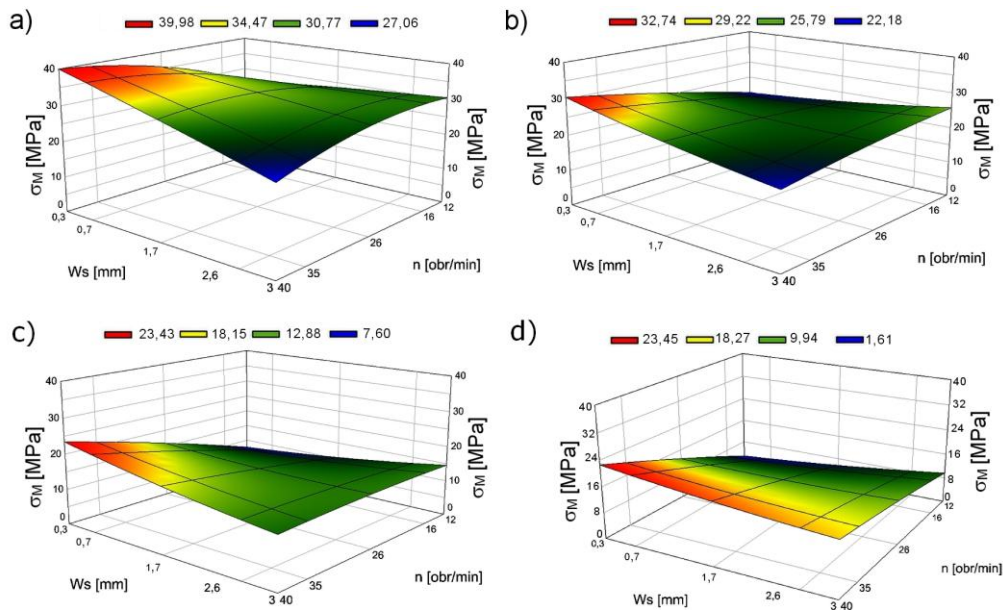
W ramach tej części opracowania przedstawiono badania właściwości mechanicznych. Wyznaczono wartości: wytrzymałości na rozciąganie – σ_M , wydłużenia względnego przy rozciąganiu – ε_M , modułu Younga – E_t i udarności – a_k , w funkcji szerokości szczeliny tarczowej – W_s , prędkości obrotowej – n i procentowego udziału napełniacza – i .

Na podstawie wyników badań wyznaczono równania regresji, na podstawie których wygenerowano szereg przestrzennych powierzchni opisujących charakter i intensywność wpływu szerokości szczeliny tarczowej (W_s), prędkości obrotowej

ślimaka (n) i udziału napełniacza drzewnego (i) na właściwości mechaniczne uzyskanych kompozytów polimerowo-drzewnych. Na podstawie analizy przestrzennych powierzchni wyznaczono także obszary korzystnego i niekorzystnego oddziaływania parametrów wytlaczania. W dalszej części opracowania przedstawiono podstawowe wnioski i efekt naukowy badań.

Analizując przykładowe wyniki przedstawione na rys. 10 stwierdzono, że przy zwiększaniu zawartości dodatku drzewnego występuje tendencja spadkowa wartości wytrzymałości na rozciąganie. Najniższą jej wartość, na poziomie 23 MPa, zanotowano dla kompozytów wysokonapełnionych ($i > 50\%$ mas.), natomiast najwyższą dla kompozytów niskonapełnionych ($i \leq 15\%$ mas.) na poziomie 34 MPa. Spadek wartości wytrzymałości dla kompozytów wysokonapełnionych w stosunku do niskonapełnionych wynosi średnio 40%.

Na podstawie wyznaczonych obszarów korzystnego i niekorzystnego oddziaływania parametrów wytlaczania stwierdzono, że obszary korzystnego oddziaływania parametrów wytlaczania dla kompozytów napełnionych mączką drzewną, niezależnie od jej udziału, występują tylko w obszarze oddziaływania małych szerokości szczeliny czołowej, tj. $W_s = 0,3 - 0,9$ mm i dużych wartości prędkości obrotowej $n = 29 - 40$ obr./min. Jednoczesne oddziaływanie tych parametrów powoduje występowanie, w strefie tarczowej wytlaczarki, dużych wartości szybkości ścinania, które intensywnie oddziałują na przetwarzany materiał, co pozwala otrzymać w krótkim czasie materiał o dobrym stopniu wymieszania. Natomiast obszary niekorzystnego oddziaływania zidentyfikowano: dla kompozytów niskonapełnionych w przypadku dużych szerokości szczeliny tarczowej, tj. $W_s = 2,6 - 3,0$ mm i dużych wartości prędkości obrotowej $n = 35 - 40$ obr./min, a dla wysokonapełnionych oddziaływanie małych szerokości szczeliny tarczowej, tj. $W_s = 0,3 - 1,0$ mm i małych wartości prędkości obrotowej $n = 12 - 16$ obr./min.

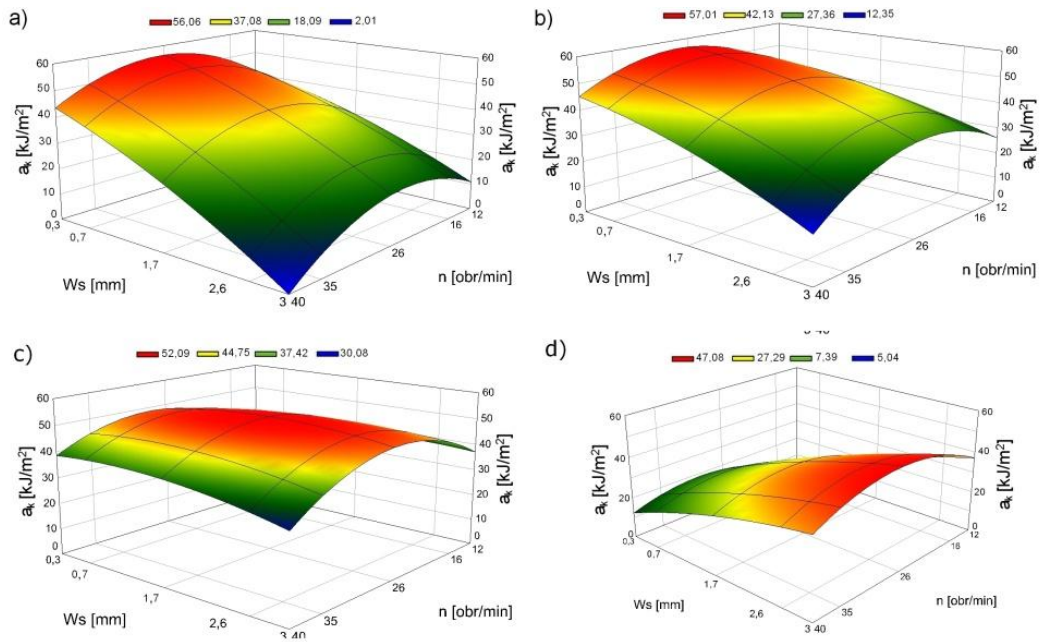


Rys. 10. Zależność wytrzymałości na rozciąganie od szerokości szczeliny tarczowej i prędkości obrotowej, dla WPC o napełnieniu: a) $i = 0\%$ mas., b) $i = 10\%$ mas., c) $i = 35\%$ mas., d) $i = 70\%$ mas.

Podobne tendencje zaobserwowano w przypadku analizy wyników badań dotyczących wydłużenia względnego przy rozciąganiu (ϵ_M) kompozytów napełnionych mączką drzewną.

Analizując zmianę wartości modułu sprężystości – E_t [MPa], w funkcji szerokości szczeliny tarczowej, prędkości obrotowej i udziału napełniacza stwierdzono, że analizowany parametr wzrósł maksymalnie o 10%, wraz ze wzrostem ilości napełniacza. Ponadto, wartość modułu Younga otrzymanych kompozytów nieznacznie przekroczyła wartości modułu materiału osnowy (wartość około 1000 MPa). Wynikać to może z wysokiego stopnia ujednorodnienia kompozytu. Dla otrzymania wysokiego stopnia ujednorodnienia kompozytu konieczne są, w zależności od udziału napełniacza, odpowiednio dobrane parametry wytłaczania ślimakowo-tarczowego, dzięki którym wytworzono korzystne warunki ścinająco-mieszające.

Analizując przykładowe wyniki przedstawione na rys. 11 zauważono, że zwiększając zawartość dodatku drzewnego następuje nieznaczny spadek udarności – od wartości 57 kJ/m^2 dla kompozytów niskonapełnionych ($i \leq 15\%$ mas.) do 47 kJ/m^2 dla wysokonapełnionych ($i > 50\%$ mas.). Spadek wartości udarności dla kompozytów wysokonapełnionych w stosunku do niskonapełnionych wynosi średnio 20%.



Rys. 11. Zależność udarności od szerokości szczeliny tarczowej i prędkości obrotowej, dla WPC o napełnieniu: a) $i = 0\%$ mas., b) $i = 10\%$ mas., c) $i = 35\%$ mas., d) $i = 70\%$ mas.

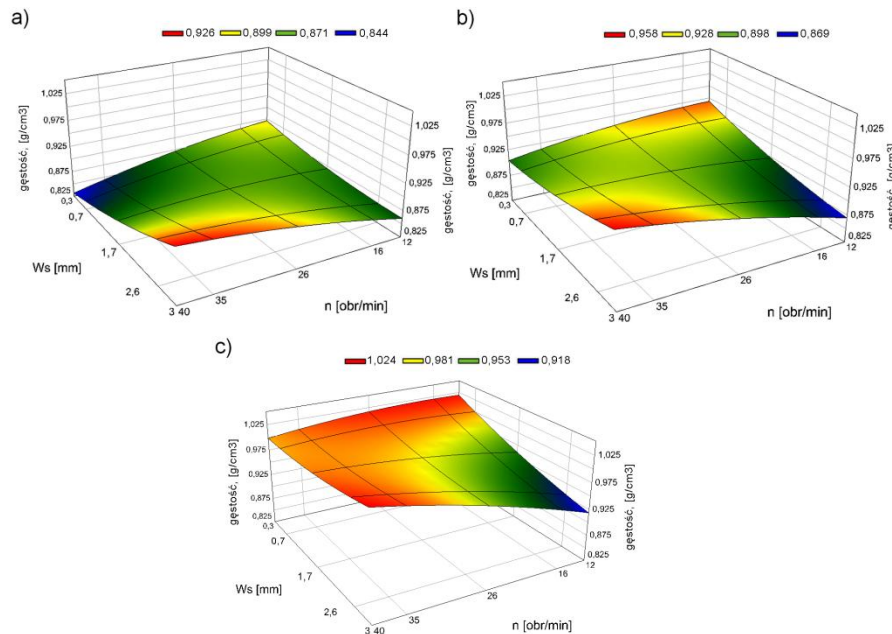
Uzyskane wyniki są bardzo interesujące, ponieważ w publikacjach innych autorów wykazywano o wiele większy spadek udarności, wraz ze wzrostem udziału napełniacza, czasem nawet o około 50% – wyniki badań zespołu Zajchowskiego (2005) i (2014) lub o około 30% w badaniach zespołu Kazemiego (2013).

2.2. Określono wpływ parametrów wytłaczania na właściwości fizyczne kompozytów polimerowych (PP+mączka drzewna)

W ramach badań właściwości fizycznych dokonano pomiaru gęstości i nasiąkliwości kompozytów polimerowo-drzewnych. Na podstawie wyników badań, tak jak w poprzedniej części opracowania, wyznaczono równanie regresji. Na ich podstawie wygenerowano szereg przestrzennych powierzchni opisujących charakter i intensywność wpływu szerokości szczeliny tarczowej, prędkości obrotowej i zawartości napełniacza, na właściwości fizyczne otrzymanych kompozytów.

Analizując przykładowe wyniki (rys. 12) stwierdzono, że przy zwiększaniu zawartości mączki drzewnej, gęstość kompozytu wzrasta. Najniższe jej wartości w zakresie $\rho = 0,89 - 0,91 \text{ g/cm}^3$ (odpowiadające gęstości osnowy – zgodne z wartością katalogową) zaobserwowano dla kompozytów nisko-

i średniopełnionych (od 0 do 35% mas.), natomiast najwyższą gęstość $\rho = 1,024 \text{ g/cm}^3$ uzyskano dla kompozytów wysokonapełnionych ($i > 50\%$ mas.). Wzrost gęstości kompozytów wysokonapełnionych w stosunku do niskonapełnionych stanowił średnio 15%.

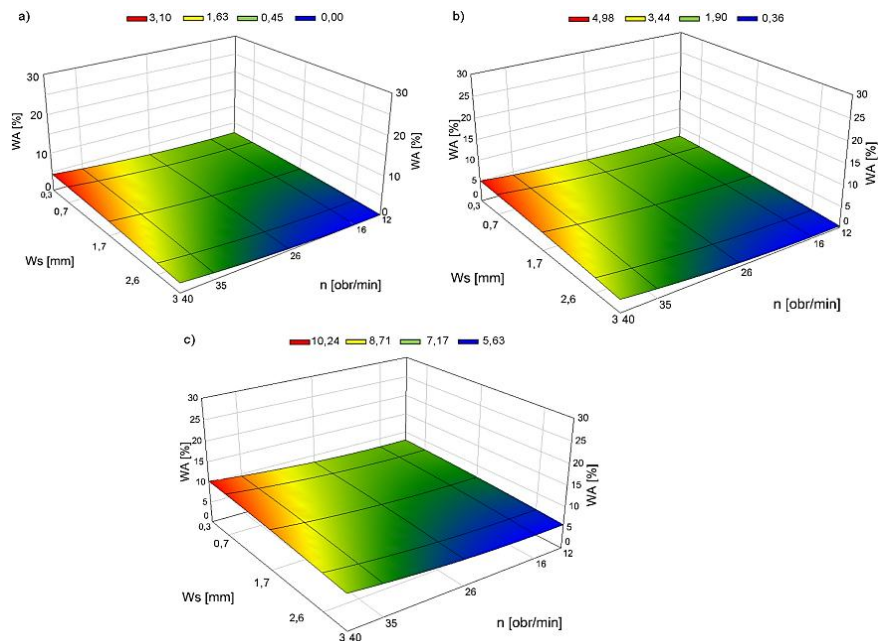


Rys. 12. Zależność gęstości od szerokości szczeliny tarczowej i prędkości obrotowej, dla kompozytów WPC o napełnieniu: a) $i \leq 15\%$ mas. (niskonapełnione), b) 15% mas. $< i < 50\%$ mas. (średniopełnione), c) $i > 50\%$ mas. (wysokonapełnione)

Gęstość powyżej 1 g/cm^3 otrzymano w obszarze jednoczesnego oddziaływania całego zakresu szerokości szczeliny tarczowej i średnich lub dużych prędkości obrotowych w zakresie od 26 do 40 obr./min (duże wartości ciśnienia w trakcie wytłaczania). Duże wartości ciśnienia panujące w układzie uplastyczniającym powodują zmianę struktury cząstek drewna. Następuje ściśnięcie porowatej, kanalikowej struktury drewna, która staje się zwarta i w konsekwencji zajmuje mniejszą objętość, przy zachowaniu stałej masy. Oprócz ściśnięcia porowatej struktury drewna, pozostałe wolne przestrzenie cząstek napełniacza, w związku z występowaniem wysokiego ciśnienia, może wypełniać osnowa polimerowa. Uzyskany kompozyt charakteryzuje się większą gęstością, niż zakładana z proporcjonalnego udziału każdej z faz i ich standardowych gęstości.

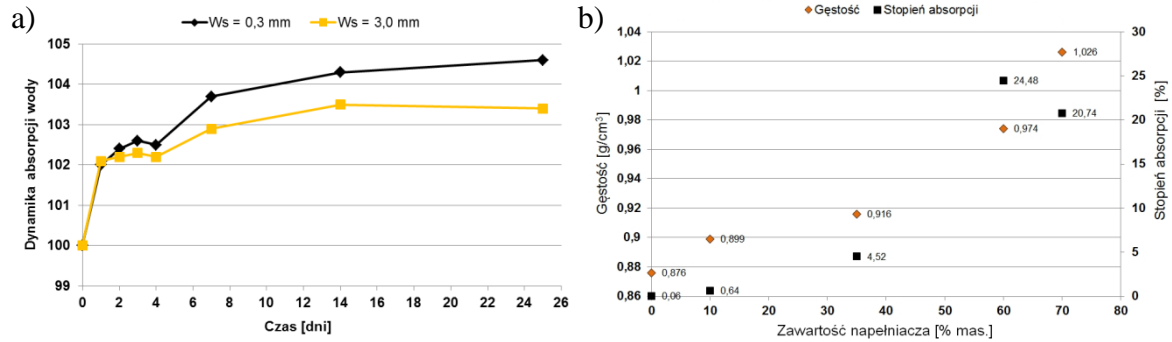
Analizując przykładowe wyniki uzyskane z badań wodochłonności (rys. 13) stwierdzono, że ilość absorbowanej wilgoci zależy głównie od stopnia napełnienia kompozytu i czasu oddziaływania wody. Ponadto, analizując zależność nasiąkliwości

wody od warunków panujących w strefie tarczowej wylączarki stwierdzono, że kompozyty otrzymane podczas wytłaczania przy szerokości szczeliny tarczowej w zakresie od 1,2 do 3,0 mm i prędkości obrotowej od 12 do 35 obr./min, charakteryzowały się małym stopniem absorpcji. Natomiast dużą wartość WA zaobserwowano w kompozytach otrzymanych w wyniku jednoczesnego oddziaływania małych lub średnich szerokości W_s w zakresie od 0,3 do 1,0 mm i dużych wartości prędkości obrotowej – od 35 do 40 obr./min.



Rys. 13. Przykład zmiany stopnia absorpcji, w czasie pierwszego dnia namaczania wody, dla kompozytów: a) niskonapełnionych ($i \leq 15\%$ mas.), b) średnionapełnionych (15% mas. < i < 50% mas.), c) wysokonapełnionych ($i > 50\%$ mas.) w zależności od szerokości szczeliny tarczowej i prędkości obrotowej

Na podstawie wyników badań, określono wskaźnik dynamiki absorpcji wody dla kompozytów średnionapełnionych, otrzymanych przy skrajnych szerokościach szczeliny tarczowej (0,3 mm i 3,0 mm) i stałej prędkości obrotowej, równej 26 obr./min (rys. 14a). Niezależnie od zastosowanych parametrów wytłaczania największy wzrost stopnia absorpcji zaobserwowano do 4. dnia badania. Po tym czasie następował systematyczny, lecz mniej intensywny przyrost zawartości wody w badanych kompozytach. Wyższy wskaźnik dynamiki zaobserwowano w przypadku kompozytów wytłaczanych z małą szerokością szczeliny, czyli przy dużych wartościach szybkości ścinania.



Rys. 14. Wykres: a) dynamiki absorpcji wody w czasie, dla kompozytu polipropylenowego z mączką drzewną, b) zależności stopnia absorpcji i gęstości w funkcji zawartości napelniacza, dla kompozytów wytworzonych przy $W_s = 1,7$ mm i $n = 26$ obr./min

Analizując rysunek 14b, przedstawiający zależność gęstości kompozytu od stopnia napełnienia, zauważono, że w kompozytach powyżej 60% zawartości mączki, wraz ze wzrostem stopnia napełnienia maleje wartość absorpcji. Może to być wynikiem warunków panujących w trakcie wytłaczania kompozytu, które spowodowały sprasowanie komórkowej struktury drewna, a także wciśnięcie tworzywa pomiędzy jego włókna.

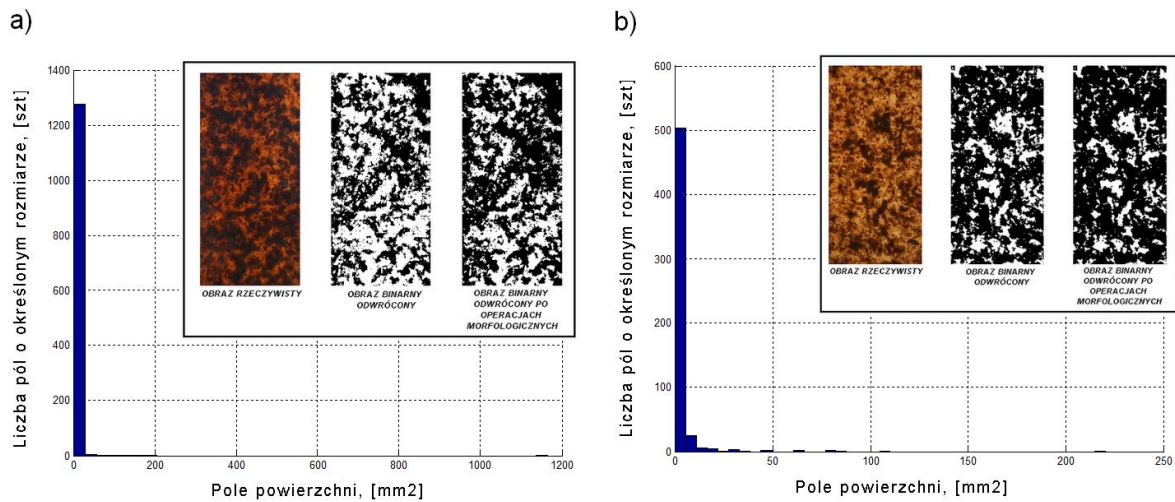
2.3. Określono wpływ szybkości ścinania na stopień rozproszczenia i wielkość cząstek mączki drzewnej w matrycy polimerowej

Na podstawie analizy literatury stwierdzono, że stopień rozproszczenia napelniacza i zmiana wymiarów jego cząstek wpływa bezpośrednio na właściwości otrzymywanych kompozytów (Rydzkowski i inni, 2011; Butylina i inni, 2011).

Analizę przeprowadzono dla parametrów procesu wytłaczania: szczeliny strefy tarczowej i prędkości obrotowej, dobranych w taki sposób, aby wywoływały skrajne warunki (intensywne lub łagodne) w strefie tarczowej wytłaczarki ślimakowo-tarczowej. Skoncentrowano się na parametrach powodujących występowanie dużych i małych wartościach szybkości ścinania, odpowiednio: jednoczesne oddziaływanie małych szerokości szczeliny tarczowej i dużych prędkości obrotowych, następnie dużych szerokości szczeliny tarczowej i małych prędkości obrotowych (małe wartości szybkości ścinania). Analizę i ocenę rozproszczenia mączki drzewnej w matrycy polipropylenowej określono na podstawie ilości powstałych aglomeratów o określonych polach powierzchni i sumy wszystkich zidentyfikowanych pól.

Analizując kompozyty otrzymane w warunkach krótkotrwałego, intensywnego oddziaływania ścinająco-mieszającego, gdzie szybkość ścinania wyniosła

w przybliżeniu 800 s^{-1} , stwierdzono wiele wyraźnie widocznych dużych skupisk mączki drzewnej zbierającej się w postaci aglomeratów różnej wielkości (rys. 15a).



Rys. 15. Histogram wyznaczonych liczb i powierzchni pól aglomeratów otrzymanych w warunkach: a) wysokich wartości szybkości ścinania ($\dot{\gamma} = 800 \text{ s}^{-1}$), b) niskich wartości szybkości ścinania ($\dot{\gamma} = 60 \text{ s}^{-1}$)

Natomiast poddając analizie kompozyty otrzymane w warunkach łagodnego, długotrwałego oddziaływania mieszającego, gdzie szybkość ścinania była w przybliżeniu 60 s^{-1} , stwierdzono na ich powierzchni, wiele aglomeratów, ale o mniejszym polu powierzchni (rys. 15b).

Sumę wszystkich pól aglomeratów w badanych kompozytach oraz procentowy udział sumy powierzchni ich pól do całkowitego pola badanej próbki, w zależności od szybkości ścinania, przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki analizy obrazów kompozytów dla różnych wartości szybkości ścinania

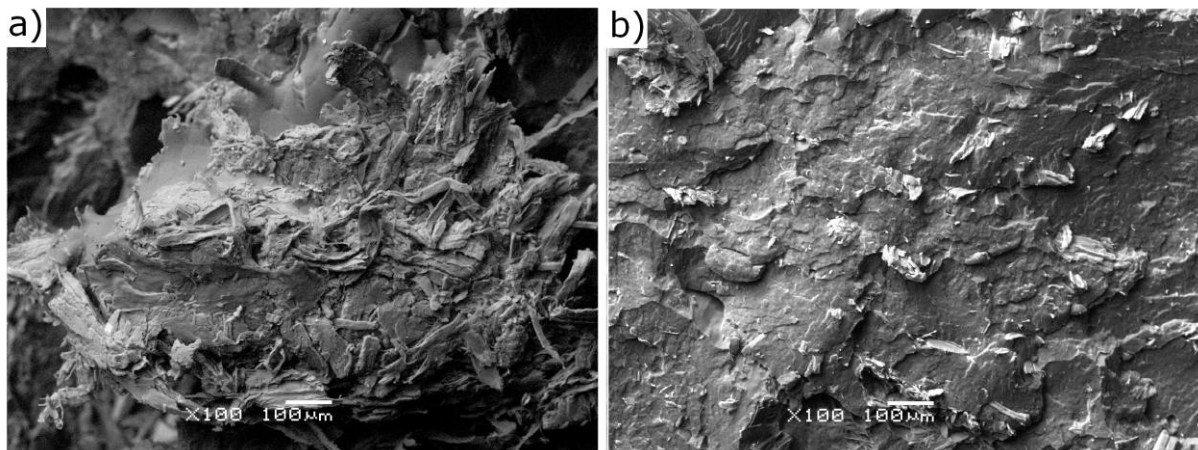
Parametry				Wyniki	
$\dot{\gamma}$ [s^{-1}]	W_s [mm]	i [% mas.]	n [obr./min]	Suma wszystkich powierzchni pól aglomeratów [mm^2]	(suma powierzchni pól aglomeratów/pola powierzchni próbki)·100 [%]
~ 800	0,3	35	26	$2,599 \cdot 10^3$	33
~ 60	3,0			$1,540 \cdot 10^3$	20

Porównując wyniki uzyskane dla kompozytów PP/mączka drzewna, wytworzonych w skrajnie różnych warunkach w strefie tarczowej, stwierdzono, że znaczący wpływ na stopień rozproszczenia składnika w matrycy polimerowej ma szerokość szczeliny tarczowej. W przypadku kompozytów z mączką drzewną, w celu osiągnięcia jak najlepszego rozproszczenia napełniacza w osnowie polimerowej, należy wytwarzać go w warunkach łagodnego, długotrwałego oddziaływanie mieszającego.

2.4. Ocena stopnia adhezji mączki drzewnej z matrycą polimerową i struktury kompozytów na podstawie obrazów SEM

Analizując stopień adhezji napełniacza i matrycy polimerowej skoncentrowano się na parametrach powodujących występowanie dużych i małych wartości szybkości ścinania (odpowiednio intensywne i łagodne oddziaływanie), a także przeanalizowano wpływ zmiany prędkości obrotowej na strukturę kompozytów przy stałych pozostałych parametrach: szerokości szczeliny tarczowej (W_s) i stopniu napełnienia (i), przykłady na rysunku 16.

Zauważono, że cząstki mączki drzewnej tworzą skupiska nierozproszzonego napełniacza w postaci dużych, zbitych aglomeratów w masie osnowy. Gromadzeniu się mączki w postaci aglomeratów może sprzyjać pochodzenie napełniacza (z drzewa iglastego), który charakteryzuje się tym, że jest lekki, miękki i porowaty.



Rys. 16. Obraz SEM przełamów kompozytów z 35% mas. napełnieniem mączką drzewną, wytworzonych przy: a) $W_s = 0,3$ mm i $n = 26$ obr./min, b) $W_s = 3,0$ mm i $n = 26$ obr./min, powiększenie x100

Na przełamach próbek kompozytów przedstawionych na rysunkach 16b stwierdzono lepsze, niż omawiane wyżej, rozmieszczenie napełniacza w polimerowej matrycy. Skupiska mączki w postaci aglomeratów również występują, ale w mniejszej ilości i są

mniejszych rozmiarów. Zaobserwowano także równomierne rozproszenie mączki drzewnej w matrycy polipropylenowej. Przy analizowanych parametrach procesowych, które łagodnie, ale w dłuższym czasie oddziałują na przetwarzany materiał, następuje w trakcie wytłaczania, dobre rozprowadzenie napełniacza. Ponadto, w przypadku tych warunków wytłaczania nie zaobserwowano występowania porów w osnowie polimerowej.

W wyniku analizy struktury kompozytów stwierdzono, że odpowiedni dobór parametrów procesowych, tj. wymiaru szczeliny tarczowej oraz prędkości obrotowej, pozwala wpływać na rozprowadzenie i homogenizację napełniacza w osnowie polimerowej, a tym samym uzyskiwanie określonych właściwości użytkowych wytwarzanych kompozytów. Analiza obrazów mikroskopowych pozwoliła na potwierdzenie uzyskania kompozytów o dobrej adhezji napełniacza z osnową bez środka sprzęgającego, w przeciwieństwie do wyników prac innych badaczy, którzy otrzymywali kompozyty o zadowalającej strukturze dopiero po chemicznej modyfikacji napełniacza.

Najważniejsze wnioski etapu badań:

1. W przypadku analizy wyników badań właściwości mechanicznych i fizycznych otrzymanych kompozytów PP+mączka drzewna stwierdzono, że warunki panujące w ślimakowo-tarczowym układzie uplastyczniającym wytłaczarki pozwalają na uzyskanie wysokiej jakości kompozytów, nawet o wysokim stopniu napełnienia.
2. Po analizie właściwości mechanicznych kompozytów polipropylenowych z mączką drzewną, stwierdzono ograniczone możliwości sterowania parametrami procesu wytłaczania ślimakowo-tarczowego, w celu uzyskania kompozytów o oczekiwanych właściwościach.
3. W trakcie oceny stopnia rozprowadzenia mączki drzewnej w matrycy polipropylenowej stwierdzono możliwość jednoczesnego oddziaływania szerokością szczeliny tarczowej i prędkością obrotową, na rozmiar i ilość aglomeratów.
4. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że ślimakowo-tarczowy układ uplastyczniający i parametry procesu dają możliwość otrzymania kompozytów napełnionych mączką drzewną o dobrych właściwościach użytkowych, bez konieczności stosowania fizycznej lub chemicznej modyfikacji polimeru i napełniacza.

Efektym naukowym badania kompozytów PP+mączka drzewna jest potwierdzenie, że:

- warunki panujące w ślimakowo-tarczowym układzie uplastyczniającym wylączarki pozwalają na uzyskanie wysokiej jakości kompozytów PP+mączka drzewna, nawet o wysokim stopniu napełnienia;
- w przypadku kompozytów napełnionych mączką drzewną, w celu osiągnięcia jak najlepszego rozproszczenia napełniacza w osnowie polimerowej, należy wytworzyć warunki łagodnego i długotrwałego oddziaływania mieszającego (małe wartości szybkości ścinania);
- otrzymane, w układzie ślimakowo-tarczowym wylączarki, kompozyty zachowują wyższą elastyczność, w porównaniu z kompozytami otrzymywanymi w klasycznych układach uplastyczniających;
- relację między odpowiednimi układami nastaw prędkości obrotowej ślimaka i szerokości szczeliny strefy tarczowej, które mają bezpośredni związek z wartością szybkości ścinania tworzywa, wpływają na właściwości wytworzonych kompozytów polimerowych, a także na stopień dyspersji i adhezji napełniacza w matrycy polimerowej.

Publikacje

Michalska-Požoga I. 2017. Studium efektywnego wylączania kompozytów polimerowych z wykorzystaniem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego. **Monografia Wydziału Mechanicznego nr 319**, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2017, str. 42-48, 62-64, 77-103. ISSN 0239-7129, ISBN 978-83-7365-440-2

Michalska-Požoga I., Tomkowski R., Rydzkowski T., Thakur V.K. 2016. Towards the usage of image analysis technique to measure particles size and composition in wood-polymer composites. **Industrial Crops and Products** 92, 149 – 156.

Michalska-Požoga I., Rydzkowski T. 2016. The effect of extrusion conditions for a screw-disk plasticizing system on the mechanical properties of polypropylene/wood composites (WPC). **Polimery** 61, 3, 202-210.

Rydzkowski T., **Michalska-Požoga I. 2015.** Effective screw-disc extrusion in processing of recycled polymers and its composites. Rozdział 4 w książce **Recycled Polymers: Chemistry and Processing**, Volume 1, Smithers RAPRA, str. 115-160.

Michalska-Požoga I., Rydzkowski T. 2010. Właściwości przetwórcze i fizykochemiczne PP pierwotnego przetwarzanego w wylączarce ślimakowo-tarczowej. **Przetwórstwo Tworzyw** 3, 100-104.

3. Wytłaczanie kompozytów polimerowych z udziałem wiórów drzewnych (PP+wióry drzewne) z zastosowaniem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego i wpływu parametrów wytłaczania na właściwości mechaniczne, fizyczne i budowę strukturalną uzyskanych kompozytów

Materiałem badawczym wykorzystanym w tym etapie badań był polipropylen PP Moplen HP456J i napełnienie w postaci wiórów drzewnych z drzewa iglastego o nazwie handlowej Lignocel 3-4 o wymiarach 1500 – 4500 μm , produkcji Rettenmaier und Söhne GmbH+Co. KG (Niemcy). Zastosowany materiał osnowy i napełniacz bez fizycznej lub mechanicznej modyfikacji.

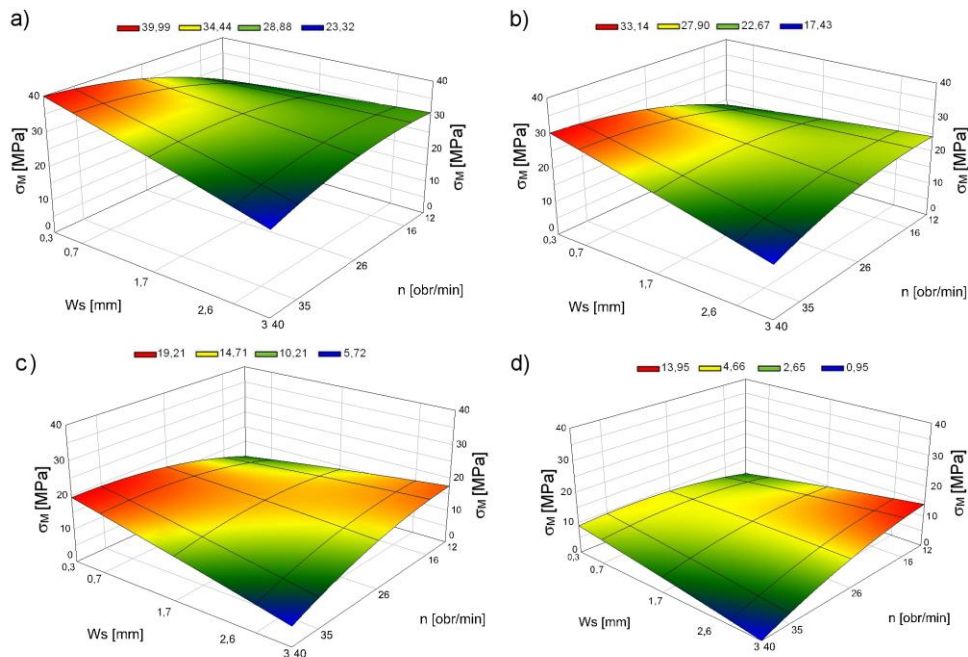
3.1. Określono wpływ parametrów wytłaczania na właściwości mechaniczne kompozytów polimerowych (PP+wióry drzewne)

Podczas przeprowadzania badań właściwości mechanicznych wyznaczono wartości: wytrzymałości na rozciąganie – σ_M , wydłużenia względnego przy rozciąganiu – ε_M , modułu Younga – E_t i udarności – a_k , w funkcji szerokości szczeliny tarczowej – W_s , prędkości obrotowej – n i procentowego udziału napełniacza – i .

Na podstawie wyników badań wyznaczono równania regresji na podstawie których wygenerowano szereg przestrzennych powierzchni opisujących charakter i intensywność wpływu parametrów procesu na właściwości mechaniczne uzyskanych kompozytów PP+wióry drzewne. Na podstawie wyników wyznaczono także obszary korzystnego i niekorzystnego oddziaływania parametrów wytłaczania. W dalszej części opracowania przedstawiono podstawowe wnioski badań, a także ich efekt naukowy.

Analizując przykładowe wyniki przedstawione na rys. 17 stwierdzono, że zwiększając ilość dodatku drzewnego w postaci wiórów drzewnych (Lignocel 3-4), wartość wytrzymałości na rozciąganie kompozytów ma tendencję spadkową, od wartości $\sigma_M = 33,14$ MPa dla kompozytów niskonapełnionych do $\sigma_M = 13,95$ MPa dla wysokonapełnionych. Spadek ten wynosi około 60%. Niezależnie od tej ogólnej tendencji, zauważono obszary korzystnego oddziaływania parametrów wytłaczania na właściwości wytrzymałościowe uzyskanych kompozytów. Stwierdzono, że w przypadku kompozytów niskonapełnionych (rys. 17b) duże wartości wytrzymałości uzyskiwano przy jednoczesnym oddziaływaniu małych szerokości szczeliny tarczowej $W_s = 0,3 - 0,9$ mm i dużych prędkościach obrotowych $n = 26 - 40$ obr./min. Przy tych parametrach występują duże wartości szybkości ścinania, które mogą w sposób znaczący wpływać na stopień ujednorodnienia, a także na równomierne rozprowadzenie napełniacza drzewnego. Wraz ze wzrostem udziału dodatku

drzewnego (rys. 17c) charakter oddziaływania zmienia się i korzystne warunki przetwarzania znajdują się w obszarze dużych szerokości szczeliny tarczowej i małych wartości prędkości obrotowej (rys. 17d). W tym przypadku należy zauważyć, że kompozyty otrzymywane z wytłaczania ślimakowo-tarczowego, na tle właściwości kompozytów uzyskiwanych z wytłaczarek konwencjonalnych mają porównywalne, a nawet lepsze właściwości mechaniczne, uzyskane bez użycia kompatybilizatorów.



Rys. 17. Zależność wytrzymałości na rozciąganie od szerokości szczeliny tarczowej i prędkości obrotowej, dla WPC o napełnieniu: a) $i = 0\%$ mas., b) $i = 10\%$ mas., c) $i = 35\%$ mas., d) $i = 70\%$ mas.

Występowanie obszarów niekorzystnego oddziaływania (to znaczy takich, przy których wartości wytrzymałości kompozytów są małe), niezależnie od procentowego udziału napełniacza, stwierdzono przy jednoczesnym oddziaływaniu dużych szerokości szczeliny tarczowej $W_s = 2,6 - 3,0$ mm i dużych wartościach prędkości obrotowej $n = 35 - 40$ obr./min.

Analizując wyniki wydłużenia względnego przy rozciąganiu (ϵ_M) zauważono, że jego wartość zmniejsza się wraz ze wzrostem udziału napełniacza, od wartości $\epsilon_M = 14\%$ dla kompozytów niskonapełnionych, do wartości $\epsilon_M = 7\%$ dla wysokonapełnionych, tj o 50%.

Korelując uzyskane wyniki wydłużenia względnego przy rozciąganiu z wynikami wytrzymałości na rozciąganie można przypuszczać, że materiał wytłoczony przy

jednoczesnym oddziaływaniu $W_s = 0,3 - 0,7$ mm i $n = 35 - 40$ obr./min, a także $W_s = 2,6 - 3,0$ mm i $n = 12 - 16$ obr./min, byłyby jednocześnie wytrzymałe i elastyczny. Natomiast przy jednoczesnym oddziaływaniu dużych szerokości szczeliny tarczowej i dużych wartości prędkości obrotowej, powstawałyby materiały kruche.

Analizując zmianę modułu sprężystości w zależności od szerokości szczeliny tarczowej, prędkości obrotowej i udziału napełniacza stwierdzono, że dla kompozytów PP+wióry drzewne, moduł Younga wzrasta wraz ze wzrostem udziału napełniacza. W każdym analizowanym przypadku moduł sprężystości otrzymanych kompozytów przekroczył moduł sprężystości materiału osnowy (wartość około 1000 MPa) i mieścił się w przedziale od 1958 do 4000 MPa i wzrósł dla kompozytów od nisko- do wysokonapełnionych o około 100%. Wysokie wartości modułu sprężystości występują w różnych obszarach oddziaływań parametrów wytłaczania oraz zależą od procentowej zawartości napełniacza. Zauważono także, że wraz ze wzrostem udziału wiórów drzewnych zmniejsza się obszar, w którym oddziaływanie parametrów przetwórczych pozwala na wytworzenie materiału o jednocześnie występującej małej sprężystości, ale dużej elastyczności.

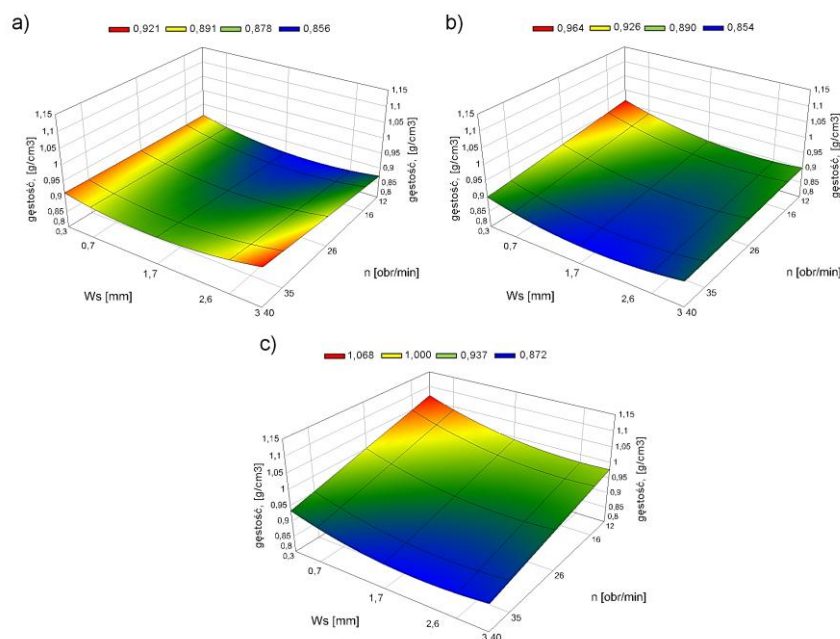
Przechodząc do analizy wyników badania udarności (a_k) kompozytów zauważono, że jej wartość zmniejsza się wraz ze wzrostem udziału napełniacza, od wartości 147 kJ/m² dla kompozytów niskonapełnionych, do 121 kJ/m² dla wysokonapełnionych. Spadek wartości udarności kompozytów wysokonapełnionych w stosunku do niskonapełnionych wynosi około 18%. Różnica w wartościach udarności między nisko-, średnio- i wysokonapełnionymi kompozytami wynosiła maksymalnie około 26%. Obszar oddziaływania korzystnych parametrów wytłaczania na omawianą wielkość, niezależnie od udziału napełniacza, wyznaczyły: duża szerokość szczeliny tarczowej $W_s = 2,0 - 3,0$ mm i mała prędkość obrotowa $n = 12 - 18$ obr./min.

W przypadku wytłaczania ślimakowo-tarczowego uzyskane wartości udarności kompozytów były większe od wartości udarności próbek uzyskiwanych w wytłaczaniu konwencjonalnym. Potwierdzono to analizując badania opublikowane przez zespoły np. Zajchowskiego (2005), Butylina (2011) i Kazemi'ego (2013), które również przeprowadzały wytłaczanie konwencjonalne kompozytów PP+wióry drzewne.

3.2. Określono wpływ parametrów wytlaczania na właściwości fizyczne kompozytów polimerowych (PP+wióry drzewne)

W ramach badań właściwości fizycznych kompozytów PP+wióry drzewne dokonano pomiaru gęstości i nasiąkliwości. Na podstawie wyników badań wyznaczono równanie regresji na podstawie których wygenerowano szereg przestrzennych powierzchni opisujących charakter i intensywność wpływu szerokości szczeliny tarczowej, prędkości obrotowej i zawartości napełniacza, na właściwości fizyczne otrzymanych kompozytów.

Analizując przykładowe wyniki przedstawione na rys. 18 stwierdzono, że przy zwiększaniu udziału wiórów drzewnych wzrasta gęstość otrzymanego kompozytu. Najniższą gęstość, na poziomie $\rho = 0,85 \text{ g/cm}^3$ (odpowiadającą gęstości osnowy), zanotowano dla kompozytów niskonapełnionych, a najwyższą, na poziomie $\rho = 1,07 \text{ g/cm}^3$, dla kompozytów wysokonapełnionych ($i > 50\% \text{ mas.}$). Wzrost wartości gęstości kompozytów wysokonapełnionych w stosunku do niskonapełnionych wynosił około 22%.



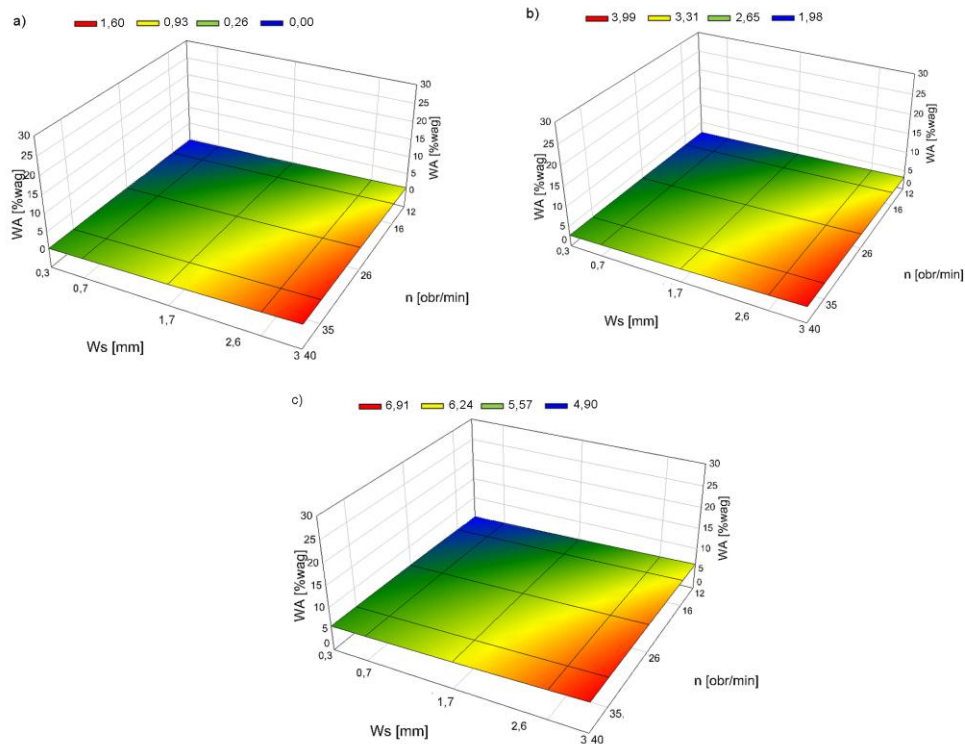
Rys. 17. Zależność gęstości od szerokości szczeliny tarczowej i prędkości obrotowej, dla kompozytów o napełnieniu: a) $i = 15\% \text{ mas.}$, b) $i = 35\% \text{ mas.}$, c) $i > 50\% \text{ mas.}$

Gęstość powyżej 1 g/cm^3 otrzymano w obszarze jednoczesnego oddziaływania małych szerokości szczeliny tarczowej w zakresie od 0,3 do 0,7 mm i małych wartości prędkości obrotowych w zakresie od 12 do 16 obr./min. Wzrost gęstości kompozytów wraz ze wzrostem udziału napełniacza był konsekwencją działania dużego ciśnienia w trakcie przetwarzania. Dzięki takim warunkom panującym w układzie

uplastyczniającym zachodzą zmiany morfologiczne struktury cząstek drewna. Następuje zaprasowanie porowatej struktury drewna (jamki lejcowate), która staje się zwarta i w konsekwencji zajmuje mniejszą objętość przy zachowaniu stałej masy. Uzyskane kompozyty osiągają wyższą gęstość, niż zakładana z proporcjonalnego udziału każdej z faz i ich standardowej gęstości. Wzrost gęstości kompozytów wraz ze wzrostem udziału napełniacza i działającego wysokiego ciśnienia w trakcie przetwórstwa opisał Zajchowski wraz ze współautorami (2005).

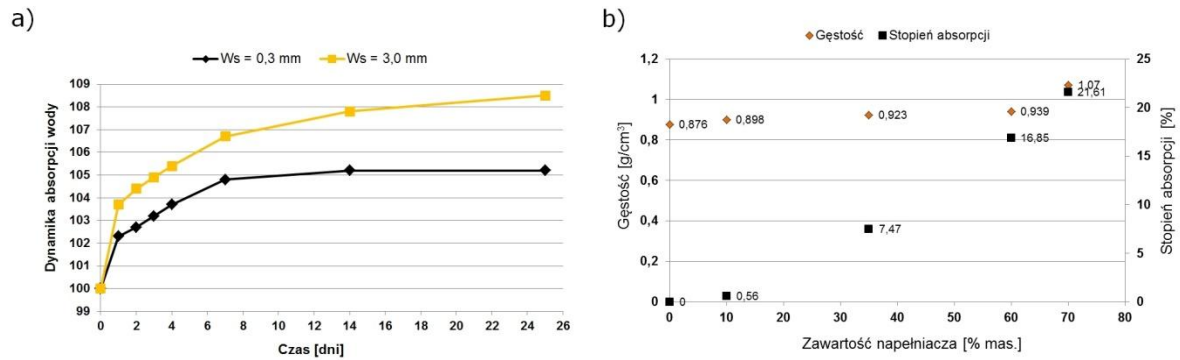
Analizując przykładowe wyniki badania nasiąkliwości (WA) kompozytów PP+wióry drzewne (rys. 19) stwierdzono, że ilość zaabsorbowanej wilgoci zależy, podobnie jak w przypadku napełnienia w postaci mączki drzewnej, głównie od udziału napełniacza i czasu oddziaływania wody. Zaobserwowano także wpływ parametrów wytłaczania (w szczególności szerokości szczeliny czołowej) na badaną właściwość. Stwierdzono, że korzystny obszar oddziaływania na wartość WA kompozytów wyznaczono podczas wytłaczania przy szerokości szczeliny tarczowej w zakresie od 0,3 do 0,7 mm, a obszar niekorzystnego oddziaływania parametrów wyznaczały duże szerokości szczeliny tarczowej w zakresie od 2,6 do 3,0 mm, i w obu przypadkach cały zakres analizowanej prędkości obrotowej ślimaka.

Niezależnie od zawartości napełniacza zaobserwowano znaczny wzrost stopnia absorpcji wody przez kompozyty w 3. dniu badania. Może to być spowodowane przeniknięciem wody przez osnowę i intensywnym wnikaniami jej do wnętrza kompozytów. Po tym czasie, we wszystkich przypadkach, następował ponowny wzrost stopnia absorpcji, by w 25. dniu badania uzyskać trzykrotny wzrost wskaźnika WA. Dla kompozytów średnio- i wysokonapełnionych uzyskana całkowita wodochłonność pokrywała się z wodochłonnością drewna iglastego (pochodzenie materiału wypełnienia) i mieściła się w zakresie od 8 – 20%.



Rys. 19. Przykład zmiany stopnia absorpcji wody w czasie pierwszego dnia namaczania dla kompozytów: a) niskonapełnionych ($i \leq 15\%$ mas.), b) średnionapełnionych ($15\% \text{ mas.} < i < 50\% \text{ mas.}$), c) wysokonapełnionych ($i > 50\% \text{ mas.}$) w zależności od szerokości szczeliny tarczowej i prędkości obrotowej

Na podstawie wyników badań, określono wskaźnik dynamiki absorpcji wody dla kompozytów średnionapełnionych, otrzymanych przy skrajnych szerokościach szczeliny tarczowej (0,3 mm i 3,0 mm) i stałej prędkości obrotowej, równej 26 obr./min (rys. 20a). W analizowanych przypadkach zauważono, że intensywność absorpcji wody przez kompozyt zależała od parametrów procesu wytlaczania, w szczególności od szerokości szczeliny tarczowej. Dla szczeliny tarczowej równej 3,0 mm zaobserwowano większą dynamikę wzrostu zawartości wody, niż w przypadku szczeliny 0,3 mm. Intensywne pochłanianie wody następowało do 7. dnia pomiaru. Po tym czasie następował systematyczny, lecz mniej intensywny przyrost zawartości wody w badanych kompozytach.

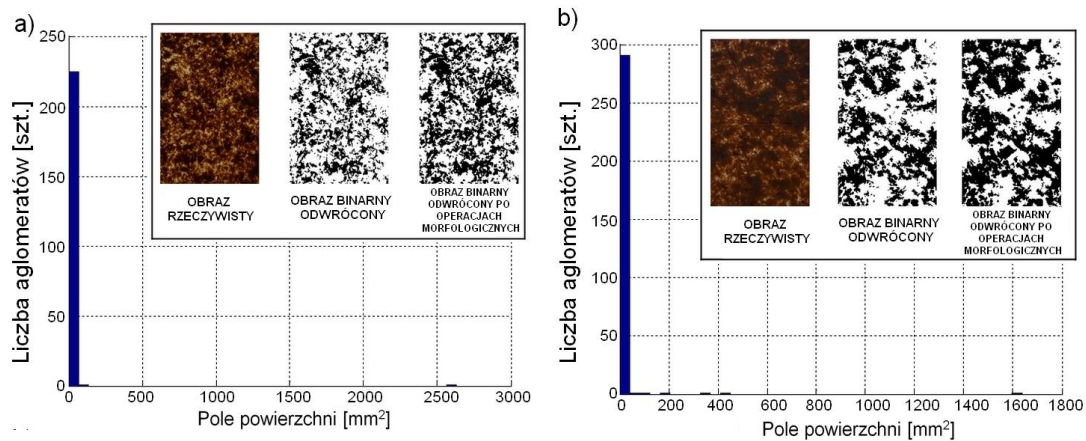


Rys. 20. Wykres: a) dynamiki absorpcji wody w czasie, dla kompozytu polipropylenowego z wiórami drzewnymi, b) zależności stopnia absorpcji i gęstości w funkcji zawartości napelniacza, dla kompozytów wytworzonych przy $W_s = 1,7$ mm i $n = 26$ obr./min

Wraz ze wzrostem gęstości systematycznie wzrasta stopień nasiąkliwości kompozytów (rys. 20b).

3.3. Określono wpływ szybkości ścinania na stopień rozproszczenia i wielkość wiórów drzewnych w matrycy polimerowej

Analizę, podobnie jak w przypadku kompozytów napełnionych mączką drzewną, przeprowadzono dla szczeliny strefy tarczowej i prędkości obrotowej, dobranych w taki sposób, aby wywoływały skrajne oddziaływania strefy tarczowej wylączarki ślimakowo-tarczowej, a mianowicie: duże i małe wartości szybkości ścinania. Analizę i ocenę rozproszczenia wiórów drzewnych w matrycy polipropylenowej określono na podstawie ilości powstałych aglomeratów o określonych polach powierzchni i sumy wszystkich zidentyfikowanych pól. Analizując kompozyty otrzymane w warunkach krótkotrwałego, intensywnego oddziaływania ścinająco-mieszającego, gdzie szybkość ścinania wyniosła w przybliżeniu 800 s^{-1} , stwierdzono wiele, wyraźnie widocznych, dużych skupisk napelniacza w postaci aglomeratów (rys. 21a).



Rys. 21. Histogram wyznaczonych liczb i powierzchni pól aglomeratów otrzymanych w warunkach: a) wysokich ($\dot{\gamma}$ około 800 s^{-1}), b) niskich ($\dot{\gamma}$ około 60 s^{-1}), wartości szybkości ścinania

Podając analizie obrazy mikroskopowe przełomów kompozytów, otrzymane w warunkach łagodnego, długotrwałego oddziaływanie mieszającego, gdzie szybkość ścinania wynosi przeciętnie 60 s^{-1} (rys. 21b), stwierdzono na ich powierzchni również, podobnie jak w poprzednim przypadku (rys. 21a), występowanie aglomeratów, ale o mniejszym polu powierzchni i bardziej równomiernym rozprowadzeniu w kompozycie (rys. 21b).

Sumę wszystkich pól aglomeratów w badanych kompozytach oraz procentowy udział sumy powierzchni ich pól do całkowitego pola badanej próbki, w zależności od szybkości ścinania, przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki analizy obrazów kompozytów dla różnych wartości szybkości ścinania

Parametry				Wyniki	
$\dot{\gamma}$ [s ⁻¹]	W_s [mm]	i [% mas]	n [obr./min]	Suma wszystkich powierzchni pól aglomeratów [mm ²]	(suma powierzchni pól aglomeratów/pola powierzchni próbki)·100 [%]
~ 800	0,3	35	26	$2,886 \cdot 10^3$	55
~ 60	3,0			$3,177 \cdot 10^3$	45

W kompozytach PP+wióry drzewne zauważono, że główny wpływ na stopień rozprowadzenia składnika w matrycy polimerowej ma szerokość szczeliny tarczowej, lecz nie tak wyraźny, jak w przypadku napelniacza w postaci mączki drzewnej.

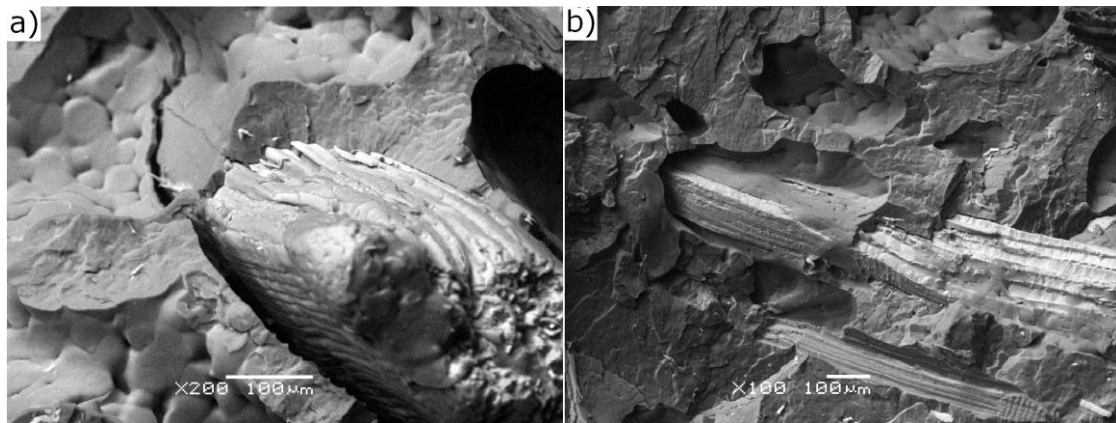
Porównując kompozyty uzyskane w znacząco odmiennych warunkach przetwarzania, stwierdzono, że do przetwarzania kompozytów napełnionych wiórami drzewnymi należy zastosować parametry łagodnie oddziałujące na materiał i pozwalające na dłuższe jego przebywanie w układzie uplastyczniającym, tj. dużej szerokości szczeliny i małej prędkości obrotowej. Przy minimalnej prędkości obrotowej, równej 12 obr./min, osiągnięty wymiar liniowy aglomeratu jest około 1,5 razy dłuższy (6,3 mm) od długości pojedynczej cząstki napełniacza (4,5 mm). Przy średniej prędkości, czyli około 26 obr./min, uzyskany średni wymiar liniowy aglomeratu jest równy wymiarowi wzdłużnemu pojedynczego wióra. Przy maksymalnej prędkości obrotowej, tj. 40 obr./min, osiągnięty wymiar liniowy aglomeratu jest około 2 razy dłuższy (9 mm) od wymiaru pojedynczej cząstki napełniacza.

Zastosowanie takiego zestawu parametrów spowoduje także zmniejszanie wymiarów wzdłużnych długich wiórów drzewnych (w wyniku ich łamania) lub wymiarów poprzecznych (w wyniku rozwłókniania). Podobne wnioski, z badań rozpoznawczych, w swojej pracy przedstawił Rydzkowski (2012).

3.4. Ocena stopnia adhezji wiórów drzewnych z matrycą polimerową i struktura kompozytów na podstawie obrazów mikroskopowych (SEM)

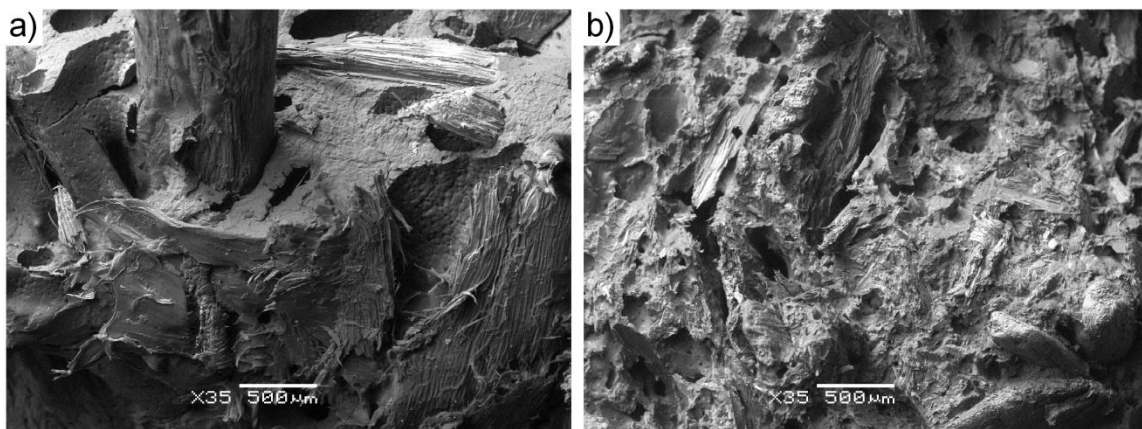
Wyboru próbek do analizy mikroskopowej kompozytów PP+wióry drzewne dokonano analogicznie jak wcześniej opisanych kompozytów PP+mączka drzewna.

Obrazy przełomów umieszczonych na rysunku 22, uwidaczniają wpływ szerokości szczeliny na zmiany w geometrii napełniacza. Zauważono, że ooddziaływanie małą szerokością szczeliny tarczowej $W_s = 0,3$ mm, powoduje zmniejszanie wymiarów wzdłużnych długich wiórów drzewnych, w wyniku ich łamania. W przeciwieństwie do warunków panujących w strefie tarczowej, przy szczelinie tarczowej równej $W_s = 3,0$ mm, gdzie następuje zmniejszanie wymiarów poprzecznych cząstki drewna, w wyniku jej rozwłókniania.



Rys. 22. Obrazy mikroskopowe (SEM) przełomów kompozytów PP z 35% mas. napełnieniem wiórami drzewnymi, wytworzonych przy: a) $W_s = 0,3$ mm i $n = 26$ obr./min – powiększenie x200, b) $W_s = 3,0$ mm i $n = 26$ obr./min, powiększenie x100

Dokonując analizy wpływu zmiany prędkości obrotowej na stopień wymieszania i rozprowadzenia napełniacza w osnowie na podstawie obrazów powierzchni przełomów kompozytów stwierdzono, że zwiększając prędkość obrotową wpływano, w sposób znaczący, na badane wielkości (rys. 23).



Rys. 23. Obrazy mikroskopowe (SEM) przełomów kompozytów wytłoczonych przy szerokości szczeliny tarczowej równej $W_s = 1,7$ mm i zmiennej prędkości obrotowej: a) $n = 12$ obr./min, b) $n = 26$ obr./min, powiększenie x35

Podczas analiz stwierdzono, że przy wytłaczaniu kompozytów PP+wióry drzewne należy stosować prędkości obrotowe ślimaka w zakresie od małych do średnich. Niezależnie od prędkości obrotowej, w osnowie zaobserwowano pustki powietrzne (rys. 23b). W niektórych przypadkach może być to aspekt pozytywny pozwalający na uzyskiwanie wytrzymałych, a zarazem lekkich elementów użytkowych. Po analizie mikroskopowej struktury kompozytów stwierdzono, że odpowiedni dobór parametrów procesowych, daje możliwość wpływania na stopień rozprowadzenia napełniacza

w osnowie polimerowej, a tym samym na uzyskiwanie określonych właściwości użytkowych wytwarzanych kompozytów. Jednak w tym przypadku zakres stosowanych parametrów, mających pozytywny wpływ na rozprowadzenie napelnacza w postaci wiórów drzewnych, jest ograniczony w porównaniu do kompozytu z napelnaczem w postaci mączki drzewnej.

Najważniejsze wnioski etapu badań:

1. W przypadku analizy wyników badań właściwości mechanicznych i fizycznych otrzymanych kompozytów PP+wióry drzewne wyznaczono obszary korzystnego i niekorzystnego oddziaływania parametrów wytłaczania. Dzięki znajomości tych obszarów możemy projektować właściwości wytworów.
2. W trakcie wytłaczania kompozytów PP+wióry drzewne uzyskano możliwość bardziej elastycznego sterowania parametrami procesu wytłaczania ślimakowo-tarczowego, w celu uzyskania kompozytów o pożądanym właściwościach, niż w przypadku kompozytów PP+mączka drzewna. Kompozyty o dobrych właściwości użytkowych otrzymano przy jednoczesnym oddziaływaniu parametrów w dwóch obszarach występowania korzystnych warunków przetwarzania, a mianowicie: małych i dużych wartościach szybkości ścinania ($W_s = 0,3 - 1,0$ mm i $n = 26 - 40$ obr./min oraz $W_s = 2,6 - 3,0$ mm i $n = 12 - 16$ obr./min). Wybór parametrów wytłaczania zależy, w tym przypadku, od stopnia napelnienia kompozytu. Otrzymany materiał charakteryzował się wysoką wytrzymałością, przy jednoczesnym zachowaniu elastyczności.
3. Na stopień rozprowadzenia napelnacza w postaci wiórów drzewnych w matrycy polimerowej ma wpływ szerokość szczeliny tarczowej, lecz nie jest on tak wyraźny jak, w przypadku napelnacza w postaci mączki drzewnej. Główny i istotny wpływ na rozprowadzenie napelnacza, w przypadku napelnienia w postaci wiórów drzewnych, ma łagodne, długotrwałe oddziaływanie strefy tarczowej na przetwarzany materiał. W takich warunkach otrzymujemy materiał o mniejszej liczby aglomeratów, co świadczy o dobrym wymieszaniu i rozprowadzeniu napelnacza, a także skróceniu wymiarów wzdłużnych ich cząstek, co ułatwia układanie się wiórów w kierunku przepływu.

Efektym naukowym badania kompozytów PP+wióry drzewne jest potwierdzenie, że:

- warunki panujące w ślimakowo-tarczowym układzie uplastyczniającym wytłaczarki pozwalają na uzyskiwanie wysokiej jakości kompozytów z napełnieniem w postaci wiórów drzewnych, nawet wysokonapełnionych;
- warunki łagodnego, długotrwałego (małe wartości szybkości ścinania) lub intensywnego, krótkotrwałego (duże wartości szybkości ścinania) oddziaływania warunków wytwarzania na tworzywo panujących w ślimakowo-tarczowym układzie uplastyczniającym, powodują zmniejszenie wymiarów wzdłużnych i poprzecznych napełniacza w postaci wiórów drzewnych;
- ślimakowo-tarczowy układ uplastyczniający, podobnie jak w przypadku napełniacza w postaci mączki drzewnej, daje możliwość otrzymania charakteryzujących się dobrymi właściwościami użytkowymi kompozytów napełnianych wiórami drzewnymi, bez konieczności stosowania fizycznej lub chemicznej modyfikacji polimerowej matrycy lub napełniacza;
- opisane relację między odpowiednimi układami nastaw prędkości obrotowej ślimaka i szerokości szczeliny strefy tarczowej, które mają bezpośredni związek z wartością szybkości ścinania tworzywa, mają wpływ na właściwości wytworzonych kompozytów polimerowych, a także na stopień dyspersji i adhezji napełniacza w matrycy polimerowej;

Publikacje

Michalska-Požoga I. 2017. Studium efektywnego wytłaczania kompozytów polimerowych z wykorzystaniem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego. **Monografia nr 319**, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2017, str. 41 – 46 i 104 – 130. ISSN 0239-7129, ISBN 978-83-7365-440-2

Michalska-Požoga I., Tomkowski R., Rydzkowski T., Thakur V.K. 2016. Towards the usage of image analysis technique to measure particles size and composition in wood-polymer composites. **Industrial Crops and Products** 92, 149 – 156.

Michalska-Požoga I., Rydzkowski T. 2016. The effect of extrusion conditions for a screw-disk plasticizing system on the mechanical properties of polypropylene/wood composites (WPC). **Polimery** 61, 3, 202-210.

Rydzkowski T., **Michalska-Požoga I. 2015.** Effective screw-disc extrusion in processing of recycled polymers and its composites. Rozdział 4 w książce **Recycled Polymers: Chemistry and Processing**, Volume 1, Smithers RAPRA, str. 115-160.

Michalska-Požoga I., Rydzkowski T. 2010. Właściwości przetwórcze i fizykochemiczne PP pierwotnego przetwarzanego w wytłaczarce ślimakowo-tarczowej. **Przetwórstwo Tworzyw** 3, 100-104.

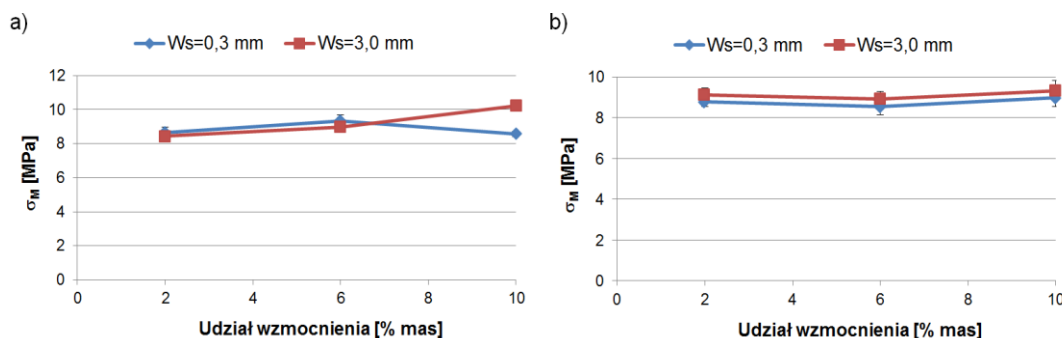
4. Wytłaczanie kompozytów polimerowych z udziałem włókna szklanego (PE-LD+włókna szklane) z zastosowaniem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego i wpływ jego parametrów na właściwości mechaniczne, fizyczne i budowę strukturalną uzyskanych kompozytów

W tym etapie badań ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego wytłaczarki, określono jego możliwości zastosowania do wytwarzania kompozytów ze wzmocnieniem w postaci włókna szklanego, czyli napęniacza o odmiennych właściwościach niż mączka czy wióry drzewne.

Materiałem badawczym wykorzystanym w tym etapie badań był polietylen małej gęstości PE-LD FABS – 23D022 Malen E i wzmocnienie w postaci włókna szklanego – roving cięty ER 5001 produkcji firmy Krosglass S.A. (Krosno).

4.1. Określono wpływ parametrów wytłaczania na właściwości mechaniczne kompozytów polimerowych (PE-LD+włókno szklane)

Analizując przykładowe wyniki właściwości mechanicznych kompozytów polimerowych ze wzmocnieniem syntetycznym w postaci włókna szklanego stwierdzono, że przy zwiększaniu jego zawartości w kompozycie polimerowym następuje średnio o około 20%, wzrost wartości wytrzymałości na rozciąganie. Analizując rys. 24 stwierdzono, że w przypadku wytłaczania w ślimakowo-tarczowym układzie uplastyczniającym, na wzrost wartości wytrzymałości na rozciąganie istotny wpływ mają warunki panujące w szczelinie tarczowej, wywołane określonymi nastawami procesu wytłaczania, tj. szerokością szczeliny tarczowej i prędkością obrotową.



Rys. 24. Zmiana wartości wytrzymałości na rozciąganie, w zależności od udziału wzmocnienia, dla: a) $n = 12$ obr./min, b) $n = 40$ obr./min przy różnych szerokościach szczeliny tarczowej

W przypadku małych wartości szybkości ścinania, co jest możliwe do uzyskania przy jednoczesnym oddziaływaniu dużych wartości szczeliny tarczowej i małych lub

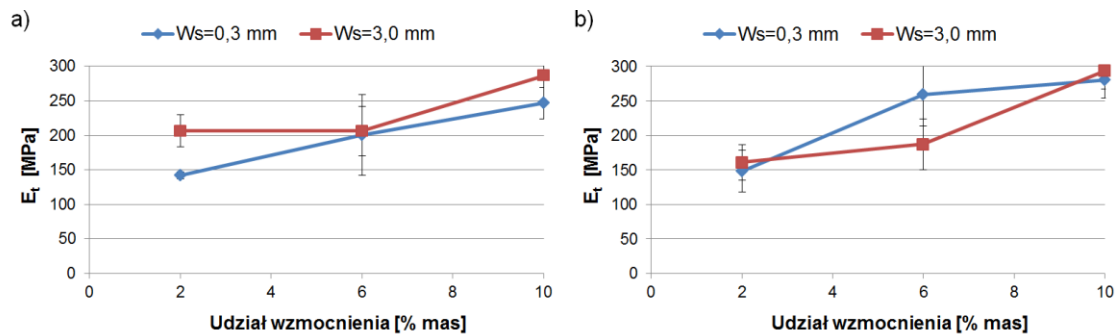
dużych wartości prędkości obrotowej, zauważono wzrost wartości wytrzymałości na rozciąganie. W przypadku parametrów $W_s = 3,0$ mm i $n = 12$ obr./min ($\dot{\gamma} = 27$ s⁻¹) (rys. 24a – linia czerwona) wzrost wartości wytrzymałości na rozciąganie zaobserwowano, zwiększając zawartość włókna szklanego z 2 do 10% mas. W tym przypadku wartość wytrzymałości na rozciąganie wzrosła dla PE-LD GF 10 o około 20% w odniesieniu do PE-LD GF 2, a o około 12% w stosunku do PE-LD bez modyfikacji chemicznej. Natomiast dla $W_s = 3,0$ mm i $n = 40$ obr./min ($\dot{\gamma} = 90$ s⁻¹) (rys. 24b – linia czerwona) stwierdzono, że, wraz ze wzrostem ilości wzmocnienia, następował niewielki wzrost wartości wytrzymałości na rozciąganie, o około 3,5% dla PE-LD GF 10 w stosunku do PE-LD GF 2 i PE-LD bez modyfikacji chemicznej. W przypadku dużych wartości szybkości ścinania, uzyskanych przy jednoczesnym oddziaływaniu małej wartości szczeliny tarczowej ($W_s = 0,3$ mm) i dużych wartości prędkości obrotowej ($n = 40$ obr./min) ($\dot{\gamma} = 907$ s⁻¹), gdzie panują warunki krótkotrwałego, intensywnego oddziaływania ścinająco-mieszającego, zauważono niewielki wzrost wartości wytrzymałości na rozciąganie (rys. 24b – linia niebieska).

Dziesięciokrotne zwiększenie szerokości szczeliny tarczowej (z 0,3 mm do 3,0 mm), przy jednocześnie małej wartości prędkości obrotowej ślimaka (rys. 24a), powoduje znaczące (około 20%) zwiększenie wytrzymałości na rozciąganie. Wytłaczanie z dużą wartością prędkości obrotowej, niezależnie od nastawionej szerokości szczeliny (rys. 24b), nie wywołuje takiego efektu. Spowodowane jest to tym, że małe wartości szybkości ścinania pozwalają na stworzenie warunków łagodnego, długotrwałego oddziaływania mieszającego, co ułatwia równomierne rozprowadzenie wzmocnienia, a jednocześnie powoduje jedynie sporadyczne łamanie włókien. Natomiast duże wartości szybkości ścinania powodują intensywne łamanie włókien, a ponadto ich ułożenie w kompozycie bywa chaotyczne, co wpływa na brak efektu umocnienia wytwarzanych kompozytów.

Analizując wyniki opisujące zmianę wydłużenia względnego przy zerwaniu, w zależności od szerokości szczeliny tarczowej, prędkości obrotowej i udziału wzmocnienia, stwierdzono spadek wartości ε_M wraz ze wzrostem udziału włókna szklanego. Dla kompozytów PE-LD+GF, wartość wydłużenia względnego przy zerwaniu była mniejsza niż wartość wydłużenia względnego przy zerwaniu materiału osnowy ($\varepsilon_M = 600\%$) i mieściła się w zakresie od 130 do 492%.

Analizując wyniki opisujące zmianę modułu sprężystości (rys. 25), w zależności od szerokości szczeliny tarczowej, prędkości obrotowej i udziału wzmocnienia

stwierdzono, że wraz ze wzrostem ilości wzmocnienia wzrasta wartość modułu Younga.



Rys. 25. Zmiana wartości modułu Younga, w zależności od udziału wzmocnienia, dla: a) $n = 12$ obr./min, b) $n = 40$ obr./min

Ponadto niezależnie do wartości szybkości ścinania, wartość modułu Younga ma tendencję wzrostową, i w przypadku niskich wartości szybkości ścinania wartość E_t wzrosła w odniesieniu do materiału bez napełnienia o około 39% (rys. 25a – linia czerwona), a w przypadku dużych wartości $\dot{\gamma}$ średnio o około 85% (rys. 25b – linia niebieska).

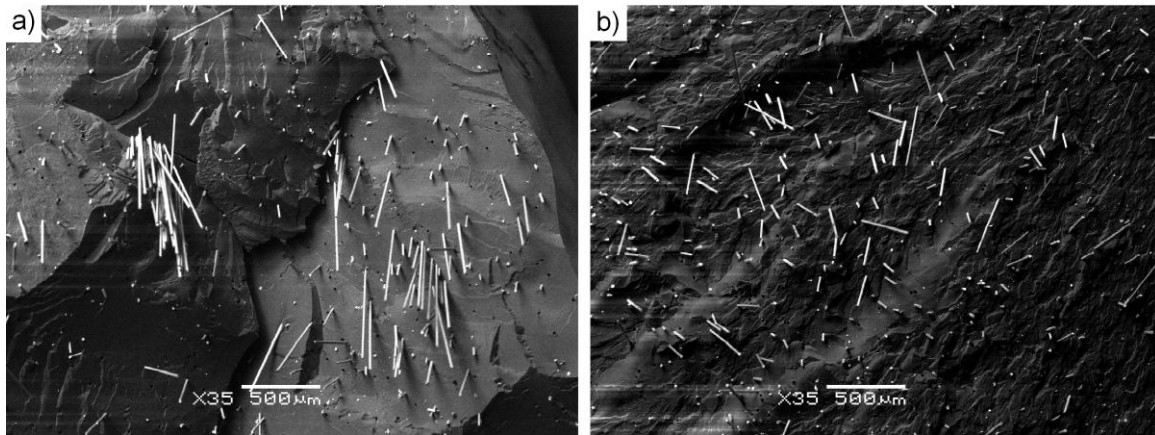
4.2. Określono wpływ parametrów wytłaczania na właściwości fizyczne kompozytów polimerowych (PE-LD+włókno szklane)

Analizując wyniki opisujące zmianę gęstości kompozytów polietylenowych ze wzmocnieniem w postaci włókna szklanego, w zależności od wartości szczeliny tarczowej, prędkości obrotowej i udziału wzmocnienia, stwierdzono że parametry wytłaczania i udział wzmocnienia nie miały znaczącego wpływu na gęstość otrzymanych kompozytów. Gęstość wytworzonych kompozytów PE-LD+GF była nieznacznie wyższa, niż gęstość materiału osnowy PE-LD ($\rho = 0,923 \text{ g/cm}^3$) i mieściła się w przedziale od 0,924 do 0,988 g/cm^3 .

4.3. Ocena stopnia adhezji włókna szklanego z matrycą polimerową i struktury kompozytów na podstawie obrazów mikroskopowych (SEM)

Analizując przykładowe obrazy przedstawione na rys. 26 stwierdzono, że panujące w strefie tarczowej wytłaczarki krótkotrwałe, intensywne warunki przetwarzania prowadzą do łamania włókien szklanych i gromadzenia się ich w postaci skupisk (rys. 26a). Łagodniejsze, długotrwałe warunki przetwarzania pozwalają na bardziej równomierne rozproszczenie i ułożenie włókien szklanych w kierunku przepływu

(rys. 26b). Nie zaobserwowano również większych skupisk włókien, w przeciwieństwie do struktury kompozytów przedstawionych na rys. 26a.



Rys. 26. Obraz mikroskopowe (SEM) przełomów kompozytów polimerowych z włóknem szklanym (PE-LD GF 6), uzyskanych przy: a) $W_s = 0,3$ mm i $n = 12$ obr./min ($\dot{\gamma} = 907$ s⁻¹), b) $W_s = 3,0$ mm i $n = 40$ obr./min ($\dot{\gamma} = 27$ s⁻¹) – powiększenie x35

Analiza obrazów mikroskopowych przełomów otrzymanych kompozytów potwierdziła wyniki oceny właściwości mechanicznych.

Kolejnym krokiem była analiza struktury kompozytów w zależności od zmiennej prędkości obrotowej, przy stałych pozostałych parametrach ($W_s = \text{const}$, $i = \text{const}$). Dokonując analizy otrzymanych obrazów przełomów próbek stwierdzono, że w przypadku małej szerokości szczeliny tarczowej, zwiększając prędkość obrotową wpływało na stopień ujednorodnienia i ułożenia napełniacza w masie osnowy. Jednocześnie ujawniono występowanie łamania włókien (skracanie długości poniżej l_{kr}) – rys. 26a, co powoduje osłabienie wytrzymałości kompozytu. Dla dużej szerokości szczeliny tarczowej, zmiana prędkości obrotowej z małej na dużą, w jednakowy sposób wpływa na wymieszanie i rozprowadzenie wzmocnienia w osnowie polimerowej (rys. 26b). Analizując przykładowe mikroskopowe obrazy przełomów (rys. 26) zaobserwowano zjawisko częściowego wrywania włókien szklanych z matrycy polimerowej, co może doprowadzać do pogorszenia właściwości wytrzymałościowych kompozytu.

Najważniejsze wnioski etapu badań:

1. Warunki panujące w ślimakowo-tarczowym układzie uplastyczniającym wytłaczarki pozwalają na uzyskanie wysokiej jakości kompozytów polimerowych z krótkimi włóknami szklanymi.

2. Uzyskanie kompozytów PE-LD+GF o dobrych właściwościach użytkowych, wymaga zastosowania nastaw pozwalających na wytworzenie łagodnych i długotrwałych mieszających warunków wytłaczania, a mianowicie, jednoczesnego oddziaływania dużej szerokości szczeliny tarczowej i małej prędkości obrotowej. W takich warunkach wytwarzania następuje równomierne rozprowadzanie wzmocnienia bez znaczącego skracania długości włókien, co w konsekwencji wpływa na polepszenie właściwości wytrzymałościowych kompozytów.
3. Po analizie mikroskopowych obrazów przełomów kompozytów stwierdzono, że odpowiedni dobór parametrów procesowych, tj. szerokości szczeliny tarczowej i prędkości obrotowej wytłaczania, wpływa na rozprowadzenie i homogenizację napelnacza w osnowie polimerowej, tym samym na uzyskanie określonych właściwości użytkowych wytwarzanych kompozytów.

Efektym naukowym badań kompozytów PE-LD+GF jest potwierdzenie, że:

- istnieje, choć ograniczona, możliwość zastosowania ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego do wytłaczania kompozytów polimerowych ze wzmocnieniem w postaci włókna szklanego;
- zakres stosowanych parametrów, mających pozytywny wpływ na stopień rozprowadzenia wzmocnienia w postaci włókien szklanych, jest mocno ograniczony w porównaniu z zastosowaniem napelnacza w postaci mączki oraz wiórów drzewnych i możliwy tylko dla kompozytów niskonapelnionych;
- opisane relację między odpowiednimi układami nastaw prędkości obrotowej ślimaka i szerokości szczeliny strefy tarczowej, które mają bezpośredni związek z wartością szybkości ścinania tworzywa, mają wpływ na właściwości wytworzonych kompozytów polimerowych, a także na stopień dyspersji i adhezji napelnacza w matrycy polimerowej;

Publikacje

Michalska-Požoga I. 2017. Studium efektywnego wytłaczania kompozytów polimerowych z wykorzystaniem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego. Monografia nr 319. Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2017, str. 41 – 42, 46 – 48 i 131 – 139. ISSN 0239-7129, ISBN 978-83-7365-440-2

5. Opracowano zakresu nastaw parametrów wytłaczania, umożliwiającą zaprojektowanie oczekiwanych właściwości kompozytów polimerowych z naturalnym i syntetycznym napełnieniem lub wzmocnieniem, wytwarzanych przy wykorzystaniu ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego

Przeprowadzona analiza numeryczna i otrzymane wyniki badań eksperymentalnych (określenie zestawu parametrów powodujących intensywne i krótkotrwałe lub łagodne i długotrwałe oddziaływanie) pozwalają na stwierdzenie, że wytłaczarka ze ślimakowo-tarczowym układem uplastyczniającym może być zastosowana do efektywnego wytwarzania kompozytów polimerowych, nawet wysokonapełnionych, przy przygotowywaniu kompozycji polimerowych z niemodyfikowanymi napełniaczami naturalnymi i sztucznymi, w różnej postaci.

Na podstawie analizy wyników opracowano zakresy nastaw parametrów wytłaczania dla kompozytów nisko-, średnio- i wysokonapełnionych z napełnieniem w postaci mączki drzewnej (tab. 3), wiórów drzewnych (tab. 4), dla uzyskania oczekiwanych właściwości użytkowych. Ponadto, opracowano wytyczne nastaw parametrów wytłaczania kompozytów z włóknem szklanym (tab. 5).

Tabela 3. Zakres nastaw parametrów wytłaczania, umożliwiającą wytwarzania oczekiwanych właściwości kompozytów PP+mączka drzewna

Właściwości kompozytu	Parametry wytłaczania	
	W_s [mm]	n [obr./min]
Kompozyty niskonapełnione ($i < 15\%$ mas.)		
duża wytrzymałość na rozciąganie	0,3 – 0,9	29 – 40
mała wytrzymałość na rozciąganie	2,6 – 3,0	35 – 40
duże wydłużenie względne przy zerwaniu	2,4 – 3,0	12 – 16
małe wydłużenie względne przy zerwaniu	2,6 – 3,0	26 – 40
duży moduł Younga	0,3 – 3,0	12 – 26
mały moduł Younga	1,7 – 3,0	35 – 40
duża udarność	0,3 – 1,9	12 – 40
mała udarność	2,6 – 3,0	35 – 40
duża absorpcja wody	0,3 – 1,0	35 – 40
mała absorpcja wody	1,2 – 3,0	12 – 35
dobra dyspersja napełniacza	1,0 – 3,0	26 – 40
słaba dyspersja napełniacza	1,0 – 3,0	12 – 16
Kompozyty średnionapełnione (15% mas. $< i < 50\%$ mas.)		

duża wytrzymałość na rozciąganie	0,3 – 0,9	29 – 40
mała wytrzymałość na rozciąganie	0,3 – 0,9	12 – 16
duże wydłużenie względne przy zerwaniu	0,3 – 0,7 2,6 – 3,0	35 – 40 12 – 14
małe wydłużenie względne przy zerwaniu	2,6 – 3,0	26 – 40
duży moduł Younga	2,4 – 3,0	12 – 40
mały moduł Younga	0,3 – 0,7	12 – 16
duża udarność	0,3 – 3,0	16 – 35
mała udarność	2,6 – 3,0	35 – 40
duża absorpcja wody	0,3 – 1,0	35 – 40
mała absorpcja wody	1,2 – 3,0	12 – 35
dobra dyspersja napelniacza	1,0 – 3,0	26 – 40
słaba dyspersja napelniacza	1,0 – 3,0	12 – 16
Kompozyty wysokonapelnione (i > 50% mas.)		
duża wytrzymałość na rozciąganie	0,3 – 0,9	29 – 40
mała wytrzymałość na rozciąganie	0,3 – 0,9	12 – 16
duże wydłużenie względne przy zerwaniu	0,3 – 0,7	35 – 40
małe wydłużenie względne przy zerwaniu	2,6 – 3,0	26 – 40
duży moduł Younga	2,4 – 3,0	12 – 40
mały moduł Younga	0,3 – 0,7	12 – 16
duża udarność	2,0 – 3,0	16 – 35
mała udarność	0,3 – 0,7	12 – 16
duża absorpcja wody	0,3 – 1,0	35 – 40
mała absorpcja wody	1,2 – 3,0	12 – 35
dobra dyspersja napelniacza	1,0 – 3,0	26 – 40
słaba dyspersja napelniacza	1,0 – 3,0	12 – 16

Tabela 4. Zakresy nastaw parametrów wytłaczania, umożliwiającą wytwarzanie oczekiwanych właściwości kompozytów PP+wióry drzewne

Właściwości kompozytu	Parametry wytłaczania	
	W _s [mm]	n [obr./min]
Kompozyty niskonapelnione (i < 15% mas.)		
duża wytrzymałość na rozciąganie	0,3 – 0,9	26 – 40
mała wytrzymałość na rozciąganie	2,6 – 3,0	35 – 40
duże wydłużenie względne przy zerwaniu	0,3 – 3,0	12 – 40
małe wydłużenie względne przy zerwaniu	2,6 – 3,0	35 – 40
duży moduł Younga	0,3 – 0,7	35 – 40 12 – 16

mały moduł Younga	0,9 – 2,6	16 – 35
duża udarność	2,0 – 3,0	12 – 18
mała udarność	0,3 – 2,6	26 – 40
duża absorpcja wody	2,6 – 3,0	12 – 16
mała absorpcja wody	0,3 – 0,7	12 – 40
dobra dyspersja napelniacza	1,0 – 3,0	26 – 40
słaba dyspersja napelniacza	0,3 – 0,9	26 – 40
Kompozyty średnionapelnione (15% mas. < i < 50% mas.)		
duża wytrzymałość na rozciąganie	0,3 – 3,0	12 – 40
mała wytrzymałość na rozciąganie	2,6 – 3,0	35 – 40
duże wydłużenie względne przy zerwaniu	0,3 – 3,0	12 – 40
małe wydłużenie względne przy zerwaniu	2,6 – 3,0	35 – 40
duży moduł Younga	0,3 – 0,7 2,6 – 3,0	35 – 40 12 – 16
mały moduł Younga	0,9 – 2,6	16 – 35
duża udarność	2,0 – 3,0	12 – 18
mała udarność	0,3 – 2,6	26 – 40
duża absorpcja wody	2,6 – 3,0	12 – 16
mała absorpcja wody	0,3 – 0,7	12 – 40
dobra dyspersja napelniacza	1,0 – 3,0	26 – 40
słaba dyspersja napelniacza	0,3 – 0,9	26 – 40
Kompozyty wysokonapelnione (i > 50% mas.)		
duża wytrzymałość na rozciąganie	0,3 – 0,7 1,7 – 3,0	26 – 40 12 – 26
mała wytrzymałość na rozciąganie	2,6 – 3,0	35 – 40
duże wydłużenie względne przy zerwaniu	0,3 – 3,0	12 – 40
małe wydłużenie względne przy zerwaniu	2,6 – 3,0	35 – 40
duży moduł Younga	0,3 – 0,8	12 – 16
mały moduł Younga	0,9 – 2,6	16 – 35
duża udarność	0,3 – 0,7	35 – 40
mała udarność	1,0 – 3,0	12 – 35
duża absorpcja wody	2,6 – 3,0	12 – 16
mała absorpcja wody	0,3 – 0,7	12 – 40
dobra dyspersja napelniacza	1,0 – 3,0	26 – 40
słaba dyspersja napelniacza	0,3 – 0,9	26 – 40

Tabela 5. Zakresy nastaw parametrów wytłaczania, dla kompozytów PE-LD/włókna szklane

Właściwości kompozytu	Szybkość ścinania [s^{-1}]	
	mała $\sim 90 s^{-1}$	duża $\sim 900 s^{-1}$
wytrzymałość na rozciąganie	wyższe wartości	niższe wartości
wydłużenie względne przy zerwaniu		
moduł Younga		
rozprowadzenie i ułożenie włókien	dobrze rozprowadzenie, ułożenie włókien w kierunku przepływu, nieznaczące skracanie długości włókien	słabe rozprowadzenie, chaotyczne ułożenie włókien, skracanie długości włókien poniżej l_{kr}

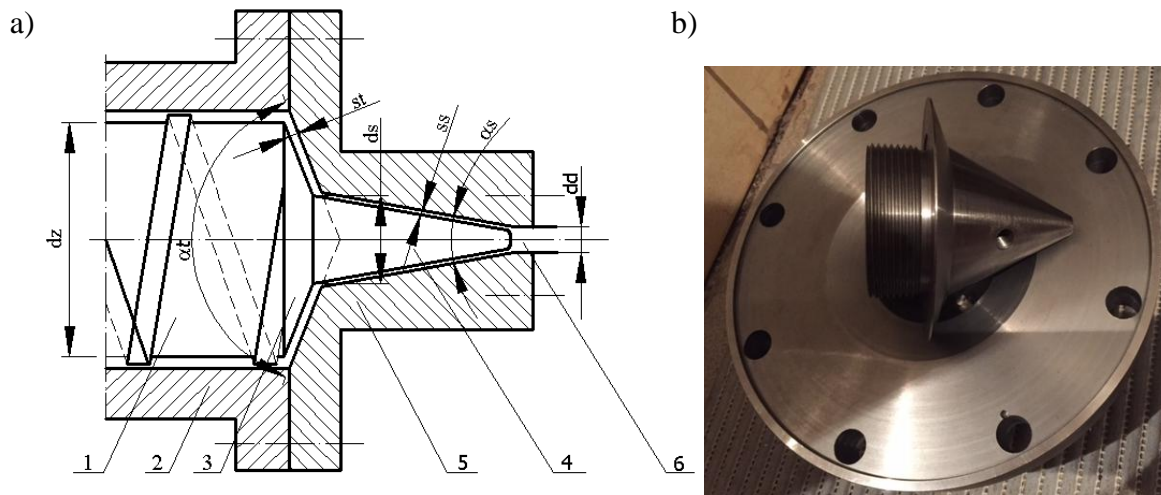
Publikacje

Michalska-Požoga I. 2017. Studium efektywnego wytłaczania kompozytów polimerowych z wykorzystaniem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego. **Monografia nr 319**, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 2017, str. 143-145. ISSN 0239-7129, ISBN 978-83-7365-440-2.

Michalska-Požoga I., Rydzkowski T. 2016. The effect of extrusion conditions for a screw-disk plasticizing system on the mechanical properties of polypropylene/wood composites (WPC). **Polimery** 61, 3, 202-210.

6. Opracowano i opatentowano nowa konstrukcję strefy tarczowej wytłaczarki ślimakowo-tarczowej

Przeanalizowanie wyników badań, a także poznanie warunków panujących w szczelinie tarczowej wytłaczarki ślimakowo-tarczowej i określenie jej wpływu na właściwości wytwarzanych kompozytów pozwoliło na opracowanie i opatentowanie nowej konstrukcji strefy tarczowej wytłaczarki ślimakowo-tarczowej. W miejsce jednostopniowej konstrukcji strefy tarczowej zaproponowano, jej oryginalną wielostopniową konstrukcję (rys. 27). W konstrukcji tej strefę tarczową tworzą: strefa stożka rozwartego o średnicy podstawy równej średnicy ślimaka oraz strefa stożka smukłego - przechodzącego w kanał dyszy wypływu. Taki układ konstrukcyjny dzieli strefę tarczową na dwie podstrefy o różnych kątach rozwarcia stożka. Według przeprowadzonych analiz nowa konstrukcja strefy tarczowej może mieć korzystny wpływ na przebieg procesu wytłaczania tworzywa polimerowego, a także kompozytów.



Rys. 27. Dwustożkowa strefa tarczowa wylączarki ślimakowo-tarczowej: a) schemat: 1 – obrotowy ślimak, 2 – nieruchomy cylinder, 3 – jedna powierzchnia stożkowa o rozwartym kącie stożka α_t , 4 – druga powierzchnia stożkowa o ostrym kącie stożka α_s , 5 – korpus zakończenia cylindra, 6 – dysza, d_s – średnica stożka smukłego, d_z – średnica zewnętrzna ślimaka, b) widok ogólny

Wylączarka wyposażona w taką konstrukcję strefy tarczowej miałaby szersze zastosowanie w przetwórstwie tworzyw niż poprzednia konstrukcja, w szczególności do tworzenia mieszanin tworzyw polimerowych, kompozycji polimerowych z wypełniaczami, a także do wytwarzania kompozytów polimerowych. Zaproponowana konstrukcja uzyskała ochronę patent pod numerem **PL 210138 w dniu 30.12.2011 roku.**

Publikacje

Diakun J., Michalska-Požoga I. 2011. Strefa tarczowa wylączarki do tworzyw polimerowych, patent PL 210138, Urząd Patentowy RP.

Michalska-Požoga I., Jakubowski M. 2015. Analiza CFD przepływu tworzywa polimerowego w dwustożkowej strefie uplastyczniająco-homogenizującej wylączarki ślimakowo-tarczowej. Przemysł Chemiczny 94, 12, 2105-2111.

Podsumowanie i wnioski końcowe osiągnięcia naukowego

Efektem badań jest poszerzenie wiedzy z zakresu możliwości zastosowania ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego, a przede wszystkim określenia zakresów parametrów procesowych opisujących obszary korzystnego i niekorzystnego ich oddziaływania na właściwości kompozytów:

- PP+mączka drzewna,

- PP+wióry drzewne,
- PE-LD+włókno szklane.

W ramach realizacji niniejszej tematyki poszerzono wiedzę na temat:

- wpływu parametrów wytłaczania (szerokości szczeliny tarczowej i prędkości obrotowej ślimaka) na intensywność oddziaływania strefy tarczowej;
- charakteru i zakresu zjawisk zachodzących podczas wytłaczania w ślimakowo-tarczowym układzie uplastyczniającym;
- rzeczywistych możliwości wytłaczania kompozytów polimerowych, przy zmiennych nastawach wytłaczania w układzie ślimakowym;
- wpływu szerokości szczeliny tarczowej oraz prędkości obrotowej ślimaka i wynikających z ich wartości skrajnych szybkości ścinania (małych i dużych wartości), a także zawartości napełniacza, na zmianę właściwości mechanicznych i fizycznych wytłoczony kompozytowej;
- wpływu analizowanych parametrów (W_s , n) na stopień rozproszczenia napełniacza i rozmiar jego cząstek w matrycy polimerowej (na podstawie analizy powierzchni obrazów otrzymanych kompozytów);
- wpływu parametrów wytłaczania i zjawisk, jakie wywołuje ich jednoczesne oddziaływanie na adhezję niemodyfikowanego napełniacza z matrycą polimerową (na podstawie badań mikroskopowych kompozytów);

Na podstawie przeprowadzonych analiz podjęto się potwierdzenia słuszności przyjętej w pracach tezy, mówiącej o tym, że odmienna od klasycznych, unikatowa konstrukcja ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego wytłaczarki, a tym samym występujące w niej odmiennie zjawiska i warunki przetwarzania, stwarzają możliwość efektywnego wytwarzania kompozytów polimerowych o korzystnych właściwościach, w szczególności kompozytów wysokonapełnionych.

Na podstawie, przeprowadzonych badań symulacyjno-eksperymentalnych sformułowano wnioski, dotyczące ślimakowo-tarczowego wytłaczania kompozytów. Mówią one o tym, że:

1. jednoczesne oddziaływanie dwóch parametrów wytłaczania, tj. szerokości szczeliny tarczowej i prędkości obrotowej ślimaka, wpływa na stopień homogenizacji i właściwości użytkowe kompozytów polimerowych, co związane jest z wartością szybkości ścinania występującą w strefie tarczowej. Przy wysokiej prędkości obrotowej ślimaka i małej szerokości szczeliny tarczowej powstają warunki intensywnego i krótkotrwałego oddziaływania ścinająco-mieszającego,

- natomiast niska prędkość obrotowa i duża szerokość szczeliny tarczowej wywołuje łagodne, długotrwałe oddziaływanie mieszające.
2. w zależności od ilości i rodzaju (postać, wielkość cząstki, pochodzenie) zastosowanego napelniacza i przez jednoczesne sterowanie nastawami parametrów wytłaczania możliwe jest wpływanie na warunki panujące w strefie tarczowej, a zatem i na projektowanie właściwości uzyskiwanego kompozytu.
 3. analizując wyniki badań właściwości mechanicznych i fizycznych otrzymanych kompozytów PP+mączka drzewna, PP+wióry drzewne i PE-LD+GF, zaobserwowano obszary korzystnego i niekorzystnego oddziaływania parametrów wytłaczania, czyli takie, gdzie jednoczesne ich oddziaływanie pozwala otrzymać kompozyty o lepszych lub gorszych właściwościach. Dzięki znajomości zakresu obszarów oddziaływania parametrów procesowych możemy projektować właściwości uzyskiwanych materiałów w zależności od oczekiwanych rezultatów. Przy zastosowaniu napelniacza o dużych cząstkach (wióry drzewne) uzyskujemy możliwość bardziej elastycznego sterowania parametrami (w szerszym ich zakresie) procesu wytłaczania ślimakowo-tarczowego, w przeciwieństwie do napelniaczy pylistych (mączka drzewna). Natomiast wytwarzanie kompozytów polimerowych, ze wzmocnieniem w postaci włókien szklanych, przy użyciu tej konstrukcji jest bardzo ograniczone i możliwe tylko dla kompozytów niskonapelnionych.
 4. zmiana szerokości szczeliny tarczowej i wartości prędkości obrotowej ślimaka wpływa na zmianę wymiarów wzdłużnych i poprzecznych cząstek fazy drzewnej i włókien szklanych. Niezależnie od rodzaju i postaci napelniacza, łagodne i długotrwałe oddziaływanie mieszające, występujące przy niskiej prędkości obrotowej i średniej lub dużej szerokości szczeliny tarczowej, pozwala na wytworzenie kompozytu o bardziej równomiernym rozprowadzeniu napelniacza w matrycy polimerowej (duże ilości aglomeratów o małych rozmiarach).
 5. odpowiednia ilość dodatku napelniacza w postaci mączki drzewnej lub włókien szklanych może przyczynić się do wystąpienia procesu zarodkowania materiału matrycy. Potwierdzenie tego zjawiska wymaga dalszych badań strukturalnych.
 6. w układzie ślimakowo-tarczowym możliwe jest wytworzenie kompozytów polimerowych o dobrych właściwościach użytkowych, bez modyfikacji napelnienia lub osnowy w celu zwiększenia ich wzajemnej adhezji oraz z pominięciem czaso- i energochłonnych procesów przygotowawczych materiału wejściowego.

Wytłaczarka ze ślimakowo-tarczowym układem uplastyczniającym może być stosowana do efektywnego wytwarzania kompozytów polimerowych, nawet wysokonapełnionych, zwłaszcza w procesach mieszania w stanie uplastycznionym, przy przygotowywaniu kompozycji polimerowych z niemodyfikowanymi napełniaczami naturalnymi i sztucznymi w różnej postaci. Wytłaczarkę stanowiącą przedmiot badań cechuje kompaktowa, prosta konstrukcja w stosunku do klasycznych wytłaczarek jednoślakowych. Pozwala ona na otrzymywanie materiałów o dobrej jednorodności tworzywa, przy małej wartości szybkości ścinania. Ponadto, kompaktowa konstrukcja pozwala na skrócenie czasu przebywania uplastycznionego tworzywa w układzie, co wpływa na mniejsze obciążenie termiczne tworzywa.

Efekt naukowy osiągnięcia:

1. Ślimakowo-tarczowy układ uplastyczniający umożliwia uzyskanie warunków łagodnego i długotrwałego lub intensywnego i krótkotrwałego oddziaływania na przetwarzane tworzywo tylko przez zmianę nastaw wytłaczania, co nie jest możliwe w przypadku konstrukcji klasycznych;
2. Wzbogacono wiedzę dotyczącą ślimakowo-tarczowego wytłaczania kompozytów polimerowych z napełnieniem naturalnym o wymiarach cząstek poniżej 150 μm i powyżej 1500 μm ;
3. Wzbogacono wiedzę dotyczącą ślimakowo-tarczowego wytłaczania kompozytów polimerowych z napełnieniem syntetycznym (włókna szklane);
4. Określono relację między układami nastaw prędkości obrotowej ślimaka i szerokości szczeliny strefy tarczowej, które wpływają na wartość szybkości ścinania tworzywa;
5. Udowodniono wpływ wartości szybkości ścinania na właściwości wytworzonych kompozytów polimerowych, a także na stopień dyspersji i adhezji napełniacza w matrycy polimerowej;
6. Ślimakowo-tarczowy układ uplastyczniający i parametry procesu dają możliwość otrzymania kompozytów napełnionych mączką drzewną i wiórami drzewnymi o dobrych właściwościach użytkowych, bez konieczności stosowania fizycznej lub chemicznej modyfikacji polimeru i napełniacza;

Znaczenie naukowe i użyteczne osiągnięcia

1. Badania własne autorki pozwoliły na:
 - szczegółowe określenie charakteru i intensywności zjawisk zachodzących w strefie tarczowej wyciarki ślimakowo-tarczowej;
 - szczegółową analizę wpływu nastaw wyciarki tj. szerokości szczeliny tarczowej i prędkości obrotowej ślimaka na właściwości uzyskiwanych kompozytów polimerowych z napełnieniem naturalnym i syntetycznym, w szczególności kompozytów wysokonapełnionych;
 - stwierdzenie, że ślimakowo-tarczowy układ uplastyczniający i parametry procesu dają możliwość otrzymania kompozytów napełnionych mączką drzewną o dobrych właściwościach użytkowych, bez konieczności stosowania fizycznej lub chemicznej modyfikacji polimeru i napełniacza;

2. Poruszane zagadnienia mają **znaczenie poznawcze** w zakresie zbadania wpływu nastaw z przedziału zmienności procesu wyciarcia, tj. prędkości obrotowej ślimaka i szerokości szczeliny strefy tarczowej na:
 - charakter i intensywność zjawisk zachodzących w strefie tarczowej. Określono to wyznaczając wektorowe mapy prędkości, minimalne i maksymalne wartości szybkości ścinania, a także tory ruchu cząstek tworzywa wraz z ich prędkością przemieszczania w strefie tarczowej wyciarki ślimakowo-tarczowej;
 - jednorodność i właściwości kompozytów polimerowych w zależności od rodzaju, pochodzenia i ilości użytego napełniacza lub wzmocnienia;
 - obszary korzystnego i niekorzystnego oddziaływania parametrów wyciarcia na właściwości kompozytów polimerowych;
 - jednorodność, wielkość aglomeratów oraz cząstek napełniacza lub wzmocnienia;
 - stopień adhezji napełniacza z matrycą polimerową i strukturę kompozytów;

3. Poruszane zagadnienia mają również **aspekty praktyczne**:
 - opracowano wytyczne ustawienia nastaw wyciarcia, umożliwiające otrzymanie oczekiwanych właściwości (mechanicznych i fizycznych) kompozytów polimerowych w zależności od rozmiarów, rodzaju i ilości napełniacza lub wzmocnienia;
 - opracowano wytyczne ustawienia nastaw wyciarcia, umożliwiające otrzymanie kompozytów o określonej dyspersji napełniacza;

- opracowano wytyczne ustawienia nastaw wytłaczania umożliwiających otrzymanie kompozytów o określonych właściwościach w zależności od szybkości ścinania;
- zweryfikowano możliwość zastosowania ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego do wytłaczania kompozytów polimerowych, w szczególności kompozytów wysokonapełnionych;

Bibliografia

Askeland D.R., Fulay, Pradeep P., Wright, Wendelin J., *The Science and Engineering of Materials*, Stamford, USA: Cengage Learning, 2011.

Błądzki A.K., Sperber E.V., *Wood and Natural Fibre Composites*, Institut für Wekstofftechnik Kunststoff und Recyclingtechnik, Kassel 2005.

Błądzki A.K., Letman M., Viksne A., Rence L., *Effect of Compatibilizers in WPC Composites*, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2005, 36, 789-797.

Butylina S., Martikka O., Kärki T., *Properties of wood fibre-polypropylene composites: Effect of wood fibre source*, *Applied Composite Materials* 2011, 18(2), 101-111. Doi: 10.1007/s10443-010-9134-2.

Braun J., Duretek I., Müller U., Friesenbichler W., Endesfelder A., *Investigations of the Rheology and Reactivity of Extrudable Wood-Resin Compounds*, *Monatshefte für Chemie – Chemical Monthly* 2007, 138, 337-341.

Chawla K.K. *Composite Materials: Science and Engineering*, New York, Springer-Verlag, Inc., 2012.

Diakun J., *Podstawy uaktywnienia strefy zasilania w konstrukcji strefy ślimakowej*, Monografia, Wydział Mechaniczny nr 30. Wydawnictwo Uczelniane WSI w Koszalinie, Koszalin 1991.

Diakun J., Bil T., Kiczkowiak T., *Simulationsberechnungen für Erwärmungsverlauf*, *Kunststoffberater* 1995, 7-8, 45-47.

Diakun J., Michalska-Požoga I., *Symulacja przemieszczania się cząstek PE w strefie tarczowej wytłaczarki*, *Polimery* 2004, 49, 42-48.

Jayamol G., Sreekala M.S., Thomas S., *A review of interface modification and characterization of natural fiber reinforced plastics composites*, *Polymer Engineering and Science* 2001, 41(9), 1471-1485.

Kocherov V.L., *Formowanie polimerów przez wytłaczanie ślimakowo- tarczowe i perspektywy rozwoju tego procesu*, w: *materiałach V Seminarium Naukowo Technicznego nt. Postępy w technologii tworzyw sztucznych*, Warszawa 2002, s. 19-30.

- Kocherov V.L., Lukach J.E., Sporyagin E.A., Vinogradov G.V., Flow of polymer melts in a disk – type extruder and in rotation devices of the “cone – plate” and “plate – plate” type, *Polymer Engineering Science* 1973, 13, p. 194-201.
- Lebedev E.D., Melyaneikov I.A., Akutin M.S., Muravev E.V., Kocherov V.L., Olukhovskii V. S., Plenka na osnove PEND s povyshennymi prochnostnymi kharakteristikami, *Plastmassy* 1989, 9, p. 26-30.
- Leonov A.I., Lipkina E.Kh., Paskhin E.D., Prokunin A.N., Theoretical and experimental investigation of the flow of a viscoelastic fluid in the gap between two rotating disks, *Fluid Dynamics* 1976, 11(2), p. 196-201.
- Łukacz J.E., Petuchow A.D., Senatos W.A, Oborudowanie dla proizvodstva polimernych plenok, *Maszinstrojenije*, Moskwa 1981.
- Maxwell B.B., Scalora A.J., The elastic melt extruder – works without screw, *Modern Plastics* 1959, 37(2), p. 107-114.
- Michalska-Požoga I., Wpływ tarczowego mechanizmu uplastyczniania w wytłaczarce ślimakowo – tarczowej na właściwości mechaniczne wytłoczyny, *Praca doktorska*, Politechnika Koszalińska, Koszalin 2006.
- Michalska-Požoga I., Diakun J., The influence of the disc zone of a screw-disc extruder on the structure and properties of low-density polyethylene (PE-LD) extrudate, *Polimery* 2014, 59(11-12), 845 – 850. Doi: [dx.doi.org/10.14314/polimer.2014.845](https://doi.org/10.14314/polimer.2014.845).
- Prokunin A.N., The theory of the disc extrusion of polymers, *Fluid Dynamics* 1972, 7, 1, p. 153-159.
- Rabek J.F., *Polimery. Otrzymanie, metody badawcze, zastosowanie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
- Rydzkowski T., Identyfikacja zakresu parametrów procesu wytłaczania autotermicznego wytłaczarką ślimakowo-tarczową, *Praca doktorska*, Politechnika Koszalińska, Koszalin 2001.
- Rydzkowski T., Kapłonek W., Macko M., Problematyka analizy wymiarów wiórów drzewnych w kompozytach polimerowo-drzewnych, *Przetwórstwo Tworzyw* 2011, 3(141)/17, s. 203-307.
- Rydzkowski T., Właściwości mieszanin recyklatów otrzymywanych w procesie wytłaczania ślimakowo-tarczowego, *Polimery* 2011, 56(2), 135-139.
- Rydzkowski T., Michalska-Požoga I., Wytłaczarka ślimakowo-tarczowa. Wpływ szczeliny tarczowej na stopień ujednorodnienia i wybrane właściwości mechaniczne mieszaniny LDPE, *Inżynieria i Aparatura Chemiczna* 2010, 5, 99-100.
- Sikora R., *Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych*, Wydawnictwo Edukacyjne ŻAK, Warszawa 1993.
- Tomita Y., Kato H., A study on to elastodynamic pump, 1st Report: Normal stress effect, *Bulletin JSME*, 1967, 10, 39.

Wilczyński K., Przetwórstwo tworzyw sztucznych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2000.

Zajchowski S., Gozdecki C., Kociszewski M., Badania właściwości fizycznych i mechanicznych kompozytów polimerowo-drzewnych (WPC), Kompozyty 2005, 5(3), 45-50.

3. POZOSTAŁE OSIĄGNIĘCIA NAUKOWO-BADAWCZE

Moje zainteresowania naukowe dotyczą zagadnień przetwórstwa tworzyw z zastosowaniem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego wytłaczarki. Moją specjalnością są analizy symulacyjne dotyczące analizy kinetyki przemieszczania cząstek polimerowych w układach uplastyczniających wytłaczarek i badania eksperymentalne obejmujące badania właściwości i budowę strukturalną tworzyw polimerowych oraz ich przetwórstwo, w szczególności procesy wytłaczania termoplastów. Ponadto prowadzę prace w zakresie badań dotyczących rozproszania wypełniaczy w matrycy polimerowej. Oprócz tego do obszaru moich zainteresowań badawczych zaliczyć można także prace dotyczące recyklingu opakowaniowych tworzyw polimerowych, opakowalnictwa żywności i wpływu opakowań na produkty żywnościowe. Poniżej przedstawiłam syntetyczny opis zakresu tematycznego dla poszczególnych obszarów działań badawczych.

- **Określenie właściwości mechanicznych, fizycznych, a także starzenie się i określenia stopnia degradacji termicznej i mechanicznej elementów z tworzyw polimerowych pierwotnych i pochodzących z recyklingu, po procesie wytłaczania z użyciem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego**

Kompleksowe badania wytworów z tworzyw termoplastycznych pierwotnych i pochodzących z recyklingu, a także elementów z różnym udziałem recyklatów, wytworzone w procesie wytłaczania ślimakowo-tarczowego. Przeprowadzono badania mechaniczne, fizyczne i starzeniowe PP, rPP i rPE-LD. Badania prowadzone w tak szerokim zakresie pozwoliły na dokładne poznanie oddziaływania parametrów wytłaczania ślimakowo-tarczowego i geometrii układu uplastyczniającego na właściwości uzyskanych wytworów.

Opracowania dotyczące tej tematyki zostały przedstawione w recenzowanym czasopiśmie wyróżnionym w Journal Citation Reports® (2.1.2. – 2) oraz w czasopiśmie recenzowanym o zasięgu ogólnopolskim (2.2.2 – 1, 2, 3*; 2.3.2 – 2, 5, 8, 12, 13, 14, 21, 27*).*

▪ **Wstępne próby ustalenia warunków polimeryzowania oligomeru poliwęglanowego**

Badania dotyczyły opracowania metody ciągłego dopolimeryzowania oligomeru poliwęglanowego, będącego etapem pośrednim w wytwarzaniu PC, w wylączarkach dwuślimakowych współbieżnych produkcji krajowej jako reaktorów ciągłych. Przedstawiono wyniki wstępnego ustalania parametrów wpływających na proces dopolimeryzowania oligomeru poliwęglanowego przy zastosowaniu laboratoryjnego gniotownika walcowego (ślimakowego) bez użycia substancji wspomagających. Pod uwagę wzięto: czas dopolimeryzowania (czas przebywania oligomeru w przestrzeni gniotownika), prędkość obrotową wałów urządzenia oraz temperaturę procesu. Ustalenie najkorzystniejszych wartości parametrów w zaproponowanej modelowej metodzie procesu periodycznego dopolimeryzowania docelowo przełoży się na warunki produkcji ciągłej i da odpowiedź na pytanie, czy użycie wylączarek dwuślimakowych współbieżnych produkcji krajowej proponowanych do tego celu będzie efektywne i uzasadnione oraz czy metodę ciągłą dopolimeryzowania będzie można realizować za pomocą jednej wylączarki, czy też konieczne będzie zastosowanie układu kaskadowego.

Badania były przeprowadzone we współpracy z Instytutem Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników z Torunia.

Opracowanie dotyczące tej tematyki zostało przedstawione w recenzowanym czasopiśmie wyróżnionym w Journal Citation Reports® (2.1.2. – 1)*

▪ **Badania w celu wyznaczenia histerezy nasiąkania i suszenia wiórów drzewnych (materiału stosowanego na wzmocnienie kompozytów WPC), a także określenie czystości mikrobiologicznej kompozytów po procesie wylączania**

Badania dotyczyły wyznaczenia histerezy suszenia i rehydratacji wiórów drewna przeznaczonego do kompozytów polimerowo-drewnych. Badanie tych procesów jest bardzo istotna z punktu widzenia prowadzenia procesu wylączania, a także jakości i czystości mikrobiologicznej wytworzonych wyrobów.

Opracowania dotyczące tej tematyki zostały przedstawione w recenzowanych czasopiśmie wyróżnionych w Journal Citation Reports® (2.1.2. – 3, 4)*

▪ **Analiza numeryczna i weryfikacja doświadczalna odkształceń opakowań z tworzyw polimerowych**

Przeprowadzono badania opakowań typu wiaderka z pokrywkami o wybranych pojemnościach, symulujące obciążenie wiaderek w stosach na palecie w trakcie magazynowania i podczas transportu. Badania polegały na obciążaniu opakowania siłą odpowiadającą naciskowi masy opakowań w stosie. Symulacja warunków magazynowania realizowana była przez długotrwałe obciążanie do 21 dni. Symulacja warunków transportowych przeprowadzona została na maszynie wibracyjnej. Zaobserwowano zjawisko płynącego odkształcenia pokrywek w długim czasie obciążania i uszkodzenia pokrywek pod obciążeniami wibracyjnymi.

Celem badań była eksperymentalna symulacja warunków obciążania opakowań typu wiaderka w trakcie magazynowania i transportu. Przeprowadzono obserwację zachowania się badanych opakowań w wyniku długotrwałego obciążania oraz poddawanego obciążeniu oscylacyjnemu na wstrząsarce.

Opracowania dotyczące tej tematyki zostały przedstawione w recenzowanych czasopismach o zasięgu krajowym (2.3.2 – 25, 30)*

▪ **Przeprowadzenie badań wpływu różnych technik pakowania na produkty o niskiej trwałości mikrobiologicznej**

Badania dotyczyły określenia wpływu wybranych technik pakowania na jakość produktów spożywczych w trakcie ich przechowywania. Ponadto dobrania techniki pakowania do określonego produktu spożywczego, w celu wydłużenia okresu przydatności do spożycia.

Celem badań było sprawdzenie wpływu składu mieszaniny gazowej oraz rodzaju folii opakowaniowej na zmiany jakości produktów o niskiej trwałości mikrobiologicznej, w trakcie przechowywania.

Opracowania dotyczące tej tematyki zostały przedstawione w recenzowanych czasopismach o zasięgu krajowym (2.3.2 – 9, 10, 15, 17, 18, 22, 23, 24)*

▪ **Zagadnienia normalizacyjne dotyczące bezpieczeństwa i znakowania produktów spożywczych**

Badania dotyczyły analizy prawidłowości oraz rzetelności informacji przekazywanej konsumentom dla grupy przedstawicieli żywności wygodnej i funkcjonalnej w oparciu o wytyczne prawne, w tym głównie, Rozporządzenie 1169 w sprawie przekazywania

konsumentom informacji na temat żywności z dnia 25 listopada 2011 roku. Ocenie podlegało sześć środków spożywczych wyprodukowanych przez trzech producentów żywności o różnych stopniach znajomości i dostępności dla konsumentów.

Ponadto, zaprezentowano i przeanalizowano europejski system szybkiego ostrzegania o niebezpiecznej żywności i pasz - RASFF (Rapid Alert System for Food and Feed). Przedstawiono jego strukturę wraz z procedurami i mechanizmami jego działania. A także przeanalizowano jego skuteczność w okresie 6 lat.

Opracowania dotyczące tej tematyki zostały przedstawione w recenzowanych czasopismach o zasięgu krajowym (2.3.2 – 19, 32).*

** numeracja czasopism dotyczy zestawiania w załączniku nr 3 do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego*

4. OPIS OSIĄGNIĘĆ NAUKOWO-BADAWCZYCH, DYDAKTYCZNYCH, POPULARYZATORSKICH I ORGANIZACYJNYCH

Syntetyczny ilościowy wykaz najważniejszych osiągnięć naukowych			
Wykaz osiągnięć	Przed doktoratem	Po doktoracie	Łącznie
Publikacje recenzowanych ogółem	7	53	60
Publikacje w czasopismach wyróżnionych w <i>Journal Citation Reports</i> [®] indeksowanych przez <i>Thomson Reuters</i> [®] <i>Web of Knowledge</i> [®]	1 (IF = 0,686)	9 (IF = 7,415)	10 (IF = 8,101)
Punktacja za publikacje wg listy MNiSW* wraz z punktacją za udzielony patent	37	382	412
Cytowania według Thomson Reuters Web of Knowledge na dzień 03. stycznia 2017 / indeks Hirscha		18 (indeks Hirscha: 3)	
Autorstwo / Komitet Naukowy monografii	-	1/1	1/1
Patenty krajowe	-	1	1
Udział w konferencjach międzynarodowych/wygłoszone	1/1	6/5	7/6

referaty			
Udział w konferencjach krajowych /wygłoszone referaty	6/4	17/13	23/17
Zlecone prace badawcze	1	30	31
Projekty badawcze KBN, MNiSW	1	1	2
Krajowe staże naukowe	-	1	1
Zagraniczne staże naukowe	-	1	1
Nagrody i wyróżnienia	0	6	6
Recenzje publikacji naukowych krajowych w języku polskim/angielskim	0	4/2	4/2
Recenzje publikacji naukowych zagranicznych	0	3	3

Punktacja wg oceny param. jedn. za lata 2013 - 2016

Tytuł monografii	Liczba publikacji	Punkty	Suma punktów	IF
Studium efektywnego wytlaczania kompozytów polimerowych z wykorzystaniem ślimakowo-tarczowego układu uplastyczniającego	1	25 (2017)	25	-

Punktacja osiągnięć wg list MNiSW i danych do oceny parametrycznej jednostek

Publikacje w recenzowanych czasopismach naukowych wyróżnionych w Journal Citation Reports® indeksowanych przez Thomson Reuters® Web of Science®

Tytuł czasopisma	Liczba publikacji	Punkty wg listy MNiSW	Suma punktów	IF
Industrial Crops and Products	1	40 (2016)	40	3,449
Przemysł Chemiczny	3	20 (2011)	50	0,414
		15 (2012)		0,344
		15 (2015)		0,367
Polimery	3	15 (2004,	45	0,686
		2014,		0,633
		2016)		0,718
Chemical and Process Engineering	1	15 (2014)	15	0,653
Drewno (Wood)	1	15 (2015)	15	0,438
Wood Research	1	20 (2016)	20	0,399

Publikacje w recenzowanych czasopismach wyszczególnionych na liście B MNiSW*				
Tytuł czasopisma	Liczba publikacji	Punkty wg listy MNiSW	Suma punktów	IF
Przetwórstwo Tworzyw	8	6 (2010x2, 2011) 4 (2012x3) 5 (2014) 7 (2015)	42	-
Pomiar Automatyka i Kontrola	1	9 (2010)	9	-
Inżynieria i Aparatura Chemiczna	4	6 (2005, 2010) 5 (2013) 7 (2016)	24	-
Czasopismo Techniczne: Mechanika	1	4 (2009)	4	-
Opakowanie	6	4 (2008) 6 (2011) 5 (2014-2017)	30	-
Przegląd spawalnictwa	1	9 (2015)	9	-
Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego	3	5 (2012, 2014) 4 (2013)	14	-
Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego	3	0 (2013, 2014) 3 (2015)	3	-
Inżynieria Rolnicza	1	4 (2002)	4	-
Przemysł Spożywczy	1	3 (2008)	3	-
Teka Kom. Bud. Ekspl. Maszyn, Elektrotechniki, Budownictwa Polskiej Akademii Nauk	1	0 (2008)	-	-

Rozdziały w monografiach w języku polskim i angielskim				
Tytuł monografii	Liczba publikacji	Punkty	Suma punktów	IF
Recycled Polymers: Chemistry and Processing, Volume 1 (j. angielski)	1	5 (2015)	5	-
Nowe Kierunki Modyfikacji i Zastosowań Tworzyw Sztucznych	1	4 (2004)	4	-
Materiały polimerowe i ich przetwórstwo	3	4 (2004x2, 2008)	12	-
Zeszyty Naukowe Politechniki	1	2 (2007)	2	-

Poznańskiej pt.: „Budowa Maszyn i Zarządzenie produkcją				
Nowoczesne materiały polimerowe i ich przetwórstwo cz. II	1	4 (2015)	4	-
Gospodarka oparta na wiedzy, w rozwoju lokalnym i regionalnym województwa zachodniopomorskiego	1	4 (2014)	4	-
Prace naukowe Instytutu Inżynierii Ochrony środowiska Politechniki Wrocławskiej 2006	1	4 (2006)	4	-
Patenty udzielone przez Urząd Patentowy RP				
Numer patentu/rok udzielenia	Liczba	Punkty wg listy MNiSW	Suma punktów	IF
PL210138 / 2011	1	25 (2011)	25	-
Suma			412	8,101

UDZIAŁ W PROJEKTACH BADAWCZYCH FINANSOWANYCH PRZEZ KBN i MNiSW

Numer projektu Okres realizacji	Temat	Instytucja realizująca	Charakter udziału
4 T08E 06223 2002 - 2004	Badanie możliwości przetwórczych autotermicznej wycłaczarki ślimakowo – tarczowej	Politechnika Koszalińska	wykonawca
3 T08E 02029 2005 - 2007	Badanie możliwości zastosowania autotermicznej wycłaczarki ślimakowo – tarczowej do tworzyw z recyklingu	Politechnika Koszalińska	wykonawca

PEŁNIONE FUNKCJE EKSPERCKIE ORAZ NADZÓR NA REALIZACJĄ PROJEKTÓW WSPÓLFINANSOWANYCH PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ

LP.	FUNKCJA	PROGRAM
1.	Członek Komisji Oceniającej Projekty - ekspert do oceny merytoryczno-technicznej projektów (Edycja I, II, III)	Program Operacyjny Kapitał Ludzki, działanie 8.2.2. Grant Plus Województwo Dolnośląskie na lata 2007-2013

WYJAZDY NAUKOWE KRAJOWE I ZAGRANICZNE

LP.	ROK	KRAJ/MIASTO	JEDNOSTKA
1.	2009	Polska/Toruń	Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników
2.	2014	Rumunia/Baia Mare	Technical University of Cluj-Napoca North University of Baia Mare

Recenzent artykułów w międzynarodowych czasopiśmie wyróżnionych w *Journal Citation Reports*[®] i indeksowanych w *Thomson Reuters Web of Knowledge*[®]:

- Polymer Engineering & Science Journal, wydawca Wiley IF = 1,719;
- Metrology and Measurement Systems, wydawca Polish Academy of Sciences, Committee on Metrology and Scientific Instrumentation IF = 1,140)

Recenzent międzynarodowych konferencji wyróżnionych w *Journal Citation Reports*[®] i indeksowanych w *Thomson Reuters Web of Science*[®] i innych:

- Global Conference on Polymer and Composite Materials, 2015;
- 3rd Global Conference on Materials Science and Engineering (CMSE 2014);

Recenzent artykułów w czasopiśmie krajowych w języku polskim lub angielskim:

- Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego 2015;
- ACTA Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria, 2015;
- Zeszytów Naukowych Politechniki Koszalińskiej, 2015;
- Monografia pt.: Modele inżynierii teleinformatyki, Wybrane zastosowania 8/2013;

WSPÓLPRACA Z PRZEMYSŁEM

Wykonanie 31 opracowań dla przemysłu i badań z zakresu przetwórstwa tworzyw, w tym 2 opracowania z zakresu inżynierii przetwórstwa spożywczego. Wykonanie projektu linii technologicznej do wytwarzania wyrobów cukierniczych dla piekarni.

Współpraca z dwiema koszalińskimi firmami, tj. od 2009 roku z Zakładem Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych J.E. Sobczak Spółka Komandytowa z Koszalina, a od 2011 roku z Zakładem Usługowym „Recyklon” Piotr Radosz Spółka Jawna z Koszalina, na podstawie umów o współpracy w zakresie badania właściwości

tworzyw sztucznych pochodzących z recyklingu, właściwości produktów z tworzyw polimerowych i opinii o innowacyjności.

WSPÓŁPRACA Z OŚRODKAMI NAUKOWO-BADAWCZYMI KRAJOWYMI I ZAGRANICZNYMI

LP.	KRAJ/MIASTO	JEDNOSTKA
1.	Polska/Toruń	Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników
2.	Czechy/Praga	Institute of Physics, Czech Academy of Sciences

UZYSKANE NAGRODY I WYRÓŻNIENIA (za wyróżniający dorobek publikacyjny i naukowy)

LP.	NAZWA	ROK NADANIA
1.	Laureat konkursu "Wiedza z pasją. Promujemy młodych naukowców" w ramach projektu "PITWIN- Portal Innowacyjnego Transferu Wiedzy w Nauce", realizowanego przez Wyższą Szkołę Handlową im. Bolesława Markowskiego w Kielcach	2011
2.	Nagroda indywidualna Rektora Politechniki Koszalińskiej III-go stopnia za osiągnięcia naukowe za lata 2010 – 2011	2012
3.	Nagroda indywidualna Rektora Politechniki Koszalińskiej II-go stopnia za osiągnięcia naukowe za lata 2014 – 2015	2016

SYNTETYCZNA CHARAKTERYSTYKA DOROBKU DYDAKTYCZNEGO, POPULARYZATORSKIEGO ORAZ WSPÓŁPRACY MIĘDZYNARODOWEJ OBEJMUJE (ZAŁĄCZNIK 4)

Rodzaj osiągnięcia	Liczba osiągnięć	Łącznie
Udział w komitetach organizacyjnych krajowych konferencji naukowych	4	4
Udział w konsorcjach i sieciach badawczych	2	2
Udział w projektach realizowanych we współpracy z naukowcami z innych ośrodków	2	2

polskich i zagranicznych lub przedsiębiorcami		
Udział w zespołach eksperckich	1	1
Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach i towarzystwach naukowych	3	3
Opieka naukowa nad doktorantami	3	3
Staże w krajowych ośrodkach naukowych lub akademickich	1	1
Staże w zagranicznych ośrodkach naukowych lub akademickich	1	1
Wykonanie ekspertyz lub innych opracowań na zamówienie przedsiębiorców	31	31
Recenzowanie projektów krajowych	1	1
Publikacje dydaktyczne (skrypt)	1	1
Prowadzone kursy na studiach stacjonarnych i niestacjonarnych I i II stopnia	22	22
Prowadzony kurs na studiach III stopnia (doktoranckich)	1	1
Opracowania dla potrzeb dydaktyki	14	14
Promotor prac dyplomowych inżynierskich/magisterskich	34/43	77
Recenzent prac dyplomowych inżynierskich/magisterskich	13/16	29
Zagraniczne staże dydaktyczne	3	3
Dokształcanie dla potrzeb dydaktyki (studia podyplomowe, szkolenia, kursy, seminaria)	12	12
Nagroda indywidualna Rektora Politechniki Koszalińskiej III stopnia za działalność dydaktyczną	1	1
Nagroda zespołowa Rektora Politechniki Koszalińskiej III stopnia za osiągnięcia organizacyjne	2	2
Działalność popularyzatorska (Festiwal Nauki, Dni otwarte, Dni techniki, Piknik Naukowy, Wykłady dla szkół ponadgimnazjalnych)	7	7

CHARAKTERYSTYKA DOROBKU ORGANIZACYJNEGO

1. **Udział w Komisji Rekrutacyjnej** w latach od 2008 – 2015 (coroczne powołanie Uchwałą Rady Wydziału) jako:
 - Członek komisji – 2008 – 2011,
 - Sekretarz komisji – 2012 – 2015.
2. W latach 2012 – 2016 – **koordynator promocji kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka** (Uchwała Rady Wydziału);
3. W latach 2015 – 2016 – **Pełnomocnik Dziekana ds. Promocji Wydziału Mechanicznego** (Powołanie przez Dziekana Wydziału Mechanicznego z dnia 12.02.2016);
4. Od listopada 2015 r. – powołanie uchwałą Rady Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej na **członka Rady programowej kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka**;
5. Od listopada 2015 r. – powołanie uchwałą Rady Wydziału na Członka zespołu do ewaluacji Wewnętrznego Systemu zapewnienia Jakości Kształcenia na Wydziale Mechanicznym;
6. Od września 2015 r. – powołanie uchwałą Rady Wydziału na Członka zespołu do opracowania wniosku do utworzenia nowego kierunku studiów na Wydziale Mechanicznym PK;
7. Od 2017 r. - powołanie uchwałą Rady Wydziału Przemysłu Drzewnego Politechniki Koszalińskiej na **członka Rady programowej kierunku Inżynieria i Automatyzacja Przemysłu Drzewnego**;
8. W kadencji 2016 – 2020 – **Prodziekan ds. Kształcenia Wydziału Mechanicznego**;
9. W kadencji 2016 – 2020 – **członek Senatu Politechniki Koszalińskiej**;
10. Od października 2016 r. – powołanie uchwałą Senatu Politechniki Koszalińskiej nr 49/2017 na funkcję **Przewodniczącego Komisji ds. Kształcenia i Wychowania** na kadencję 2016 – 2020;
11. Od listopada 2016 r. – powołanie Zarządzeniem Rektora Politechniki Koszalińskiej nr 65/2016 na członka **Uczelnianej Rady ds. Jakości Kształcenia**;
12. Praca w organizacjach naukowych:
 - Od 2011 roku – członek założyciel Klubu Technologa Tworzyw (Plastics Technology Club);

- Od 2013 roku – członek Stowarzyszenia Naukowo-Technicznego Inżynierów i Techników Przemysłu spożywczego. Pełniona funkcja - członek Komisji Rewizyjnej;
- Od 2014 roku – członek Polskiego Towarzystwa Inżynierii Rolniczej, Oddział Koszalin;

13. Organizacja konferencji i kongresów naukowych:

- VIII Profesorskie Warsztaty Naukowe pt.: „Przetwórstwo Tworzyw Polimerowych”, Darłówko 2003;
- XV Konferencja Naukowo-Techniczna „Budowa i Eksploatacja Maszyn Przemysłu Spożywczego” BEMS 2012, Kołobrzeg, 05-08 września 2012;
- VII Ogólnopolska Konferencja Kół Naukowych Uczelni Technicznych;
- II Ogólnopolskiej konferencji „INNOWACJE W PRAKTYCE” oraz IV Wystawy Innowacyjnych Rozwiązań Urządzeń Badawczo-Pomiarowych i Nowych Technologii, Lublin 22-23.10.2015;

UZYSKANE NAGRODY (za wyróżniającą się działalność organizacyjną)

LP.	NAZWA	ROK NADANIA
1.	Nagroda zespołowa Rektora Politechniki Koszalińskiej III-go stopnia	2014
2.	Nagroda zespołowa Rektora Politechniki Koszalińskiej III-go stopnia	2016

Data: 10.05.2017 r.

Podpis *Iwona Michalska-Požoga*