

STRESZCZENIE

Niniejsza rozprawa doktorska opisuje zagadnienia z zakresu technologii wytwarzania kalandrowanych wielowarstwowych folii APET z wykorzystaniem do jej produkcji recyklatów poliestrowych oraz doboru odpowiednich modyfikatorów celem poprawy ich właściwości użytkowych. Praca podzielona została na dwie podstawowe części: badawczą i wdrożeniową. Pierwsza z nich obejmuje 5 rozdziałów: W rozdziale pierwszym - wprowadzeniu, uzasadniono podjęcie tematyki doktoratu oraz przedstawiono firmę Eurocast, następnie w rozdziałach 2 i 3 przedstawiono część teoretyczną rozprawy. Omówiono w nich podstawowe technologie recyklingu PET oraz analizę procesów technologicznych produkcji folii PET i ich modyfikacji. W rozdziale 4 zawarto opis celu, tez i zakresu pracy. Rozdział 5 rozprawy to opis prac badawczych, z przedstawionym na wstępie rozdziału planie badań. Obejmowały one trzy główne obszary: (1) Ocenę wydajności procesu reaktywnego wytłaczania politereftalanu etylenu (PET) wraz z monitorowaniem procesu produkcji folii przemysłowej poprzez pomiary lepkości „In-Line”, (2) Analizę wpływu rodzaju i ilości recyklatów oraz dodatku modyfikatora – „chain extendera” na właściwości folii APET oraz (3) Analizę wpływu temperatury przetwórstwa sporządzonych kompozycji poliestrowych na właściwości wytrzymałościowe i funkcjonalne folii APET. Kolejny 6 rozdział rozprawy doktorskiej obejmuje część wdrożeniową doktoratu i przedstawia on przeprowadzone prace wdrożeniowe zrealizowane w przedsiębiorstwie Eurocast Sp. z o.o.. Zawiera on opis stosowanych materiałów i linii technologicznej wraz z opisem technologii wytworzenia prototypu kalandrowanej folii PET ze zdefiniowaną zawartością modyfikatora i napelniaczy. Prezentuje sporządzoną dokumentację techniczną i technologiczną oraz uzyskane atesty i certyfikaty. Rozdział ten opisuje również przebieg wdrożenia produktu i prezentuje opinie klientów. Ostatni 7 rozdział pracy przedstawia wnioski końcowe (poznawcze i użytkowe) oraz kierunki dalszych badań. Ponadto rozprawa doktorska zawiera: spis treści, wykaz oznaczeń i akronimów oraz bibliografię, streszczenie w języku polskim i angielskim a także 7 załączników.

Celem niniejszej rozprawy doktorskiej było opracowanie technologii produkcji kalandrowanej folii poliestrowej typu APET o bardzo dobrych właściwościach mechanicznych z wykorzystaniem maksymalnej ilości surowców wtórnych PET (do 100% w warstwie rdzeniowej). Postawiona hipoteza badawcza zakładała, że istnieje możliwość wytworzenia z

surowców wtórnych PET wielowarstwowej folii poliestrowej APET technologią wytłaczania z kalandrowaniem umożliwiającą uzyskanie bardzo dobrych właściwości mechanicznych. W wyniku przeprowadzonych prac i opracowaniu receptury wraz z technologią wytwarzania trójwarstwowej folii APET z zawartością 75% recyklatów PET (100% w warstwie rdzeniowej) oraz wdrożeniu jej do produkcji można stwierdzić, że powyższa hipoteza została potwierdzona. Przeprowadzone badania pozwoliły na ocenę wpływu: zawartości wilgoci i stopnia zanieczyszczenia na lepkość, strukturę i właściwości PET oraz wpływu modyfikatorów lepkości na właściwości mechaniczne i przeźroczystość folii APET. Badania wykonane w ramach realizacji pracy doktorskiej pozwoliły ponadto na wyznaczenie kompleksowych charakterystyk procesów przetwórstwa trójwarstwowych folii APET i opracowanie korelacji właściwości mechanicznych wytwarzanych folii w zależności od parametrów procesu jej wytłaczania.

W ramach prac wdrożeniowych przygotowano natomiast prototyp folii APET wraz z jej dokumentacją technologiczną i jakościową. Uzyskano wymagane atesty i certyfikaty oraz wykonano z wynikiem pozytywnym testy u wybranych klientów. Opracowane w ramach doktoratu rozwiązania umożliwiają wytwarzanie znacząco ulepszonych wielowarstwowych folii APET, głównie dla przemysłu opakowaniowego.

Przeprowadzone prace pozwoliły także na stworzenie unikalnej w skali świata wiedzy technicznej, którą firma będzie mogła implementować w zastosowaniach praktycznych zarówno na polskim, jak i europejskim rynku produkcji wielowarstwowych folii APET. Na dzisiaj najbardziej pożądane opakowania to takie, które wykonane są z jednego polimeru (nawet wielowarstwowe) i są w pełni recyklowalne. Podążając za tym trendem w wyniku realizacji niniejszego doktoratu wdrożeniowego opracowano i wdrożono do produkcji monofolie APET produkowane na bazie recyklatów zgodnie z ideą gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ), jako alternatywę dla folii sztywnej APET nie zawierającej w swojej strukturze recyklatu.

ABSTRACT

This doctoral dissertation describes issues related to the technology of manufacturing calendered multilayer APET films using polyester recyclates for their production and the selection of appropriate modifiers to improve their functional properties. The work has been divided into two basic parts: research and implementation. The first of them includes 5 chapters: The first chapter - introduction, justifies the undertaking of the subject of the doctoral dissertation and presents the Eurocast company, then in chapters 2 and 3 the theoretical part of the dissertation is presented. They discuss basic PET recycling technologies and the analysis of technological processes of PET film production and their modification. Chapter 4 contains a description of the purpose, theses and scope of the work. Chapter 5 of the dissertation is a description of the research work, with the research plan presented at the beginning of the chapter. They covered three main areas: (1) Evaluation of the efficiency of the reactive extrusion process of polyethylene terephthalate (PET) together with monitoring of the industrial film production process through "In-Line" viscosity measurements, (2) Analysis of the effect of the type and amount of recyclates and the addition of a modifier - "chain extender" on the properties of APET film and (3) Analysis of the effect of the processing temperature of the prepared polyester compositions on the strength and functional properties of APET film. The next 6th chapter of the doctoral dissertation covers the implementation part of the doctoral dissertation and presents the implementation work carried out at the Eurocast Sp. z o.o. company. It contains a description of the materials used and the technological line together with a description of the technology for producing a prototype of calendered PET film with a defined content of modifier and fillers. It presents the prepared technical and technological documentation and the obtained approvals and certificates. This chapter also describes the course of product implementation and presents customer opinions. The last 7th chapter of the work presents the final conclusions (cognitive and utilitarian) and directions of further research. In addition, the doctoral dissertation includes: a table of contents, a list of designations and acronyms and a bibliography, a summary in Polish and English, and 7 appendices.

The aim of this doctoral dissertation was to develop a technology for the production of calendered APET polyester film with very good mechanical properties using the maximum amount of PET secondary raw materials (up to 100% in the core layer). The research hypothesis assumed that it is possible to produce a multilayer APET polyester film from PET secondary

raw materials using extrusion with calendering technology, which allows for obtaining very good mechanical properties. As a result of the work carried out and the development of a recipe together with the technology for the production of a three-layer APET film with a content of 75% PET recyclates (100% in the core layer) and its implementation into production, it can be stated that the above hypothesis has been confirmed. The conducted research allowed for the assessment of the influence of: moisture content and degree of contamination on the viscosity, structure and properties of PET and the influence of viscosity modifiers on the mechanical properties and transparency of APET films. The research conducted as part of the doctoral thesis also allowed for the determination of comprehensive characteristics of the processing processes of three-layer APET films and the development of correlations of mechanical properties of the produced films depending on the parameters of the extrusion process.

As part of the implementation work, a prototype of the APET film was prepared together with its technological and quality documentation. The required approvals and certificates were obtained and tests were performed with positive results at selected customers. The solutions developed as part of the doctoral thesis enable the production of significantly improved multilayer APET films, mainly for the packaging industry.

The work carried out also allowed for the creation of unique technical knowledge on a global scale, which the company will be able to implement in practical applications both on the Polish and European market for the production of multilayer APET films. Today, the most desirable packaging is one made of a single polymer (even multi-layer) and is fully recyclable. Following this trend, as a result of this implementation doctorate, APET monofilms produced on the basis of recyclates were developed and implemented in production in accordance with the idea of a circular economy (CE), as an alternative to rigid APET film that does not contain recyclate in its structure.