

Polish technology for processing LDPE-Al laminates recycled from Tetra Pak multi-material liquid food cardboard packaging

Polska technologia przetwarzania laminatów LDPE-Al pochodzących z recyklingu wielomateriałowych opakowań kartonowych po płynnej żywności typu Tetra Pak

DOI: 10.15199/62.2024.2.1

R&D cooperation of the Silesian University of Technology and the Altempo company resulted in the implementation of the technol. for processing LDPE-Al laminate, obtained after the fiberization process of multi-material cardboard packaging. Altempo continued research to further develop the technology under the name Solvtempo™ process. The result of the work was the construction and launch of a pilot installation at the Altempo plant with a processing capacity of over 300 kg/h.

Keywords: multi-material cardboard packaging, Tetra Pak, recycling, LDPE-Al laminate

Kartonowe opakowania wielomateriałowe (KOW), znane powszechnie jako opakowania Tetra Pak, stanowią fundamentalny element dzisiejszego przemysłu spożywczego. Choć mają one wiele zalet i zastosowań jako opakowania do żywności, to istotnym problemem jest ich późniejszy proces recyklingu, w którym udałoby się odzyskać wyjściowe surowce, w szczególności polietylen i folię aluminiową. Przedstawiono proces technologiczny przetwarzania laminatu LDPE-Al otrzymanego po procesie rozwłókniania opakowań KOW, opracowany przez naukowców na Politechnice Śląskiej, a następnie rozwinięty przez firmę Altempo Sp. z o.o. jako proces Solvtempo™. Efektem prac było wybudowanie i uruchomienie instalacji pilotażowej na terenie zakładu o mocy przetwórczej powyżej 300 kg/h.

Słowa kluczowe: kartonowe opakowania wielomateriałowe, Tetra Pak, recykling, laminat LDPE-Al

Kartonowe opakowania wielomateriałowe na żywność płynną (KOW) są powszechnie stosowane w przemyśle spożywczym do przechowywania nietrwałych produktów, głównie płynnych, takich jak soki, mleko, sosy i napoje. Tego typu opakowania po raz pierwszy pojawiły się na rynku w 1952 r. za sprawą firmy Rubena Rausinga. Jedną z charakterystycznych cech tego opakowania był kształt tetraedru, czemu firma Tetra Pak zawdzięcza dzisiaj swoją nazwę, a i samo opakowanie zwyczajowo jest tak nazywane. Produkt był wykonany z papieru impregnowanego woskiem i znalazł zastosowanie do przechowywania mleka. W 1969 r. wdrożono opakowania o kształcie prostopadłościanu pozwa-

lające na lepsze wykorzystanie przestrzeni magazynowych i wydajny transport¹). Nieco później, wraz z zastosowaniem materiałów, takich jak aluminium i polietylen, możliwe było uzyskiwanie aseptyczności procesu pakowania, co znacznie zwiększyło spektrum zastosowań KOW²).

Obecnie opakowania KOW produkowane są na świecie przede wszystkim przez trzech producentów: SIG Combibloc, Elopak oraz Tetra Pak, który jest liderem z blisko 90-proc. udziałem na rynku polskim. Opakowania tworzą laminowane ze sobą warstwy kartonu, polietylenu niskiej gęstości (LDPE) i aluminium. Papier, który stanowi największy udział w masie opakowania (70–75%



Dr inż. Adam A. MAREK (ORCID: 0000-0002-1238-4123) w roku 2007 ukończył studia na kierunku technologia chemiczna, a w 2012 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Obecnie pracuje jako adiunkt w Katedrze Technologii Chemicznej Organicznej i Petrochemii na tej samej uczelni. Specjalność – technologia chemiczna organiczna.



Dr inż. Szymon WOJCIECHOWSKI uzyskał stopień doktora na Wydziale Chemicznym Politechniki Śląskiej. Od 8 lat prowadzi badania nad technologiami recyklingu surowców wielomateriałowych, których skutkiem są komercjalizacje innowacyjnych procesów produkcyjnych oraz 7 zgłoszeń patentowych. Posiada doświadczenie w dziedzinie nadzoru nad procesem inwestycyjnym, realizacją nowych instalacji chemicznych oraz zarządzaniem projektami badawczo-rozwojowymi.

*** Adres do korespondencji:**

Katedra Technologii Chemicznej Organicznej i Petrochemii, Politechnika Śląska, ul. Krzywoustego 4, 44-100 Gliwice, tel.: (32) 237-26-71, fax: (32) 237-10-31, e-mail: adam.a.marek@polsl.pl



Fig. 1. Photos of LDPE-Al laminate prepared for the process

Rys. 1. Zdjęcia laminatu LDPE-Al przygotowanego do procesu

mas.), nadaje mu kształt, sztywność i wytrzymałość. Na drugiej pozycji pod względem udziału występuje LDPE (20% mas.), który spełnia wiele funkcji, w tym m.in. chroni karton przed zawilgoceniem, spaja warstwę kartonu i Al, chroni Al przed bezpośrednim kontaktem z produktem oraz umożliwia szczelne zamknięcie opakowania przez zgrzewanie. Warstwa folii aluminiowej (ok. 5% mas.) zabezpiecza zawartość opakowania przed działaniem światła, a także stanowi barierę dla tlenu i pary wodnej, które mogą negatywnie oddziaływać z zawartością. Folia aluminiowa to także bariera przed wnikaniem drobnoustrojów.

Opakowania wielomateriałowe, choć mają wiele zalet i zastosowań, po spełnieniu swojej funkcji nie mogą być ponownie wykorzystane ze względów sanitarnych i trafiają do strumienia odpadów komunalnych. Zastosowanie kilku odmiennych surowców w postaci laminatu pozwala w optymalny sposób wykorzystać zalety każdego z nich. Jednakże ze względu na wielomateriałowy charakter KOW recykling tego typu odpadów jest znacznie trudniejszy niż w przypadku opakowań wykonanych z jednego materiału, takich jak butelki szklane, puszki stalowe/aluminiowe, butelki PET lub kubeczki/tacki PP.

Poużytkowe opakowania KOW mogą być odzyskiwane na liniach sortowniczych i w zdecydowanej większości przetwarzane w zakładach papierniczych, gdzie następuje rozwłóknianie materiału celulozowego w zmodyfikowanych liniach do przetwarzania makulatury (za pomocą hydropulpera), co pozwala na odzyskanie włókien celulozowych i wydzielenie laminatów LDPE-Al. Odzyskany surowiec papierniczy wykorzystywany jest głównie do produkcji ręczników higienicznych i tektury. Pozostałości natomiast, będące laminatem folii polietylenowej i aluminiowej, są trudne do rozdzielania i głównym sposobem ich przetwarzania jest recykling energetyczny³⁾.

Rozdzielenie laminatu LDPE-Al na surowce, takie jak czysty polietylen i frakcja o wysokiej zawartości składnika metalicznego (Al) jest zadaniem trudnym, ale nie niemożliwym. W celu rozwiązania tego problemu na Politechnice Śląskiej opracowany został proces rozpuszczalnikowego rozdziału LDPE-Al, na który uzyskano ochronę patentową w Urzędzie Patentowym Rzeczypospolitej Polskiej pt.

„Sposób przetwarzania odpadowych folii i folii laminowanych wydzielonych w procesie rozwłókniania z opakowań wielomateriałowych na żywność płynną typu Tetra PakTM”.

Firma Altempo Sp. z o.o. wykupiła prawa do tego wynalazku i postanowiła kontynuować badania mające na celu dalszy rozwój tej technologii pod nazwą proces SolvtempoTM. Firma ta uzyskała w 2018 r. wsparcie finansowe z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Małopolskiego na lata 2014–2020, poddziałanie 1.2.1 „Projekty badawczo-rozwojowe przedsiębiorstw” na realizację projektu RPMP.01.02.01-12-0453/17 „Nowatorska technologia odzysku materiałowego z laminatów PE-Al pochodzących z recyklingu opakowań wielomateriałowych po płynnej żywności typu Tetra PakTM”. Całkowita wartość projektu wyniosła 8 229 024,48 zł, a dofinansowanie projektu z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego 5 862 425,55 zł.

Przedmiotem projektu była realizacja badań przemysłowych i prac rozwojowych (w tym budowa instalacji pilotowej) prowadzących do stworzenia i wdrożenia energooszczędnego, kompleksowego rozwiązania w zakresie zagospodarowania odpadów powstałych w procesach recyklingu celulozy z opakowań wielomateriałowych po płynnej

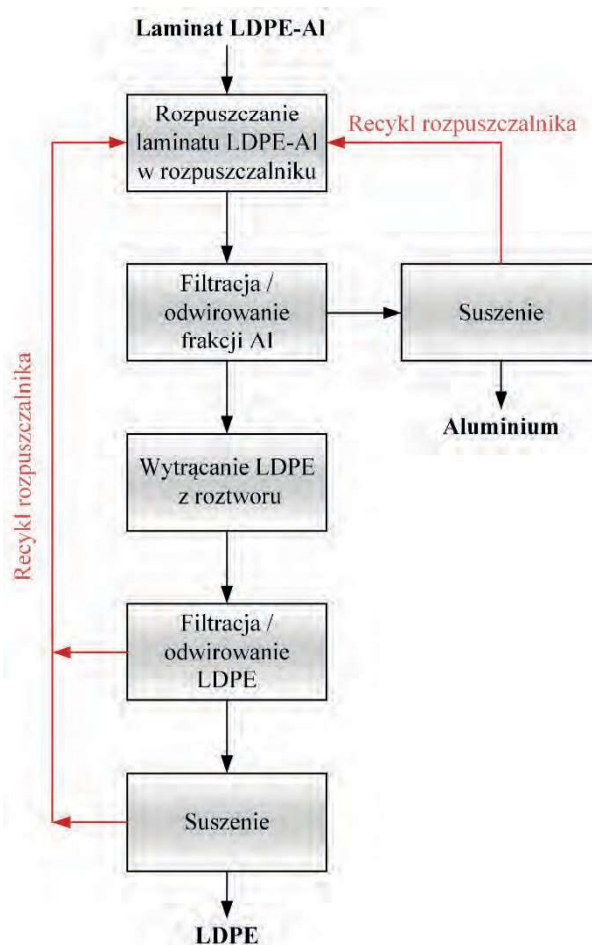


Fig. 2. Schematic diagram of the processing of waste LDPE-Al laminated foils separated from multi-material cardboard packaging in the fiberization process

Rys. 2. Schemat ideowy procesu przetwarzania odpadowych folii laminowanych LDPE-Al wydzielonych w procesie rozwłókniania z opakowań KOW

Table 1. Goals (mile stones) established as part of the project and achieved in tests on the pilot plant

Tabela 1. Cele (kamienie milowe) założone w ramach projektu i osiągnięte w testach prowadzonych w instalacji pilotowej

Zdefiniowane celu	Założona wartość w projekcie	Uzyskana wartość (test 1)	Uzyskana wartość (test 2)
Moc przetwórcza PE-Al, kg/h	powyżej 300	300	320
Stężenie PE-Al w roztworze, %	równe lub powyżej 15	15	15
Zawartość rozpuszczalnika we frakcji Al, %	mniej niż 0,5	0,16	0,21
Produkcja koncentratu Al, kg/h	powyżej 100	116	124
Zawartość rozpuszczalnika w proszku LDPE, %	poniżej 2	0,71	0,85
Produkcja oczyszczonego LDPE, kg/h	powyżej 200	186	202



Fig. 3. Photo of the pilot plant constructed on the premises of Altempo with a processing capacity of over 300 kg/h of LDPE-Al laminate

Rys. 3. Zdjęcie instalacji pilotowej wybudowanej na terenie firmy Altempo Sp. z o.o., o zdolności przetwórczej powyżej 300 kg/h laminatu LDPE-Al

żywności (m.in. takich jak mleko i soki), szerzej znanych pod nazwą handlową Tetra Pak. Realizacja projektu pozwoliła na opracowanie innowacyjnej technologii zagospodarowania odpadowych laminatów LDPE-Al z opakowań po płynnej żywności i osiągnięcie możliwości prawie całkowitego (blisko 100%) odzysku polietylenu i aluminium.

Altempo Sp. z o.o. od 15 lat specjalizuje się w rozwoju zaawansowanych rozwiązań technologicznych oraz świadczeniu specjalistycznych usług w zakresie optymalizacji



Fig. 4. Photos of the received products; a) polyethylene powder, b) aluminum fraction

Rys. 4. Zdjęcia otrzymanych produktów; a) proszek polietylenu, b) frakcja aluminium

procesów produkcyjnych dla przedsiębiorstw branży celulozowo-papierniczej i poligraficznej. Kluczowym celem firmy jest budowanie innowacyjności oraz poszukiwanie efektywnych kosztowo i praktycznych rozwiązań, które są bezpośrednią odpowiedzią na zidentyfikowane potrzeby rynkowe. Altempo Sp. z o.o. zajmuje się kompleksowym prowadzeniem projektów od fazy koncepcyjnej do wdrożenia i integracji z istniejącymi w firmie procesami. Podstawą funkcjonowania firmy jest wykwalifikowana i zaangażowana kadra z wieloletnim doświadczeniem, szerokie zaplecze techniczne, współpraca z ośrodkami naukowymi oraz realizacja ambitnych projektów badawczo-rozwojowych.

Opis stosowanej technologii i osiągnięte rezultaty

Surowcem stosowanym w opracowanej technologii rozdziału jest laminat LDPE-Al otrzymywany w procesie przetwarzania KOW przez fabrykę papieru. Laminat ten cechuje się dużą czystością, zawiera poniżej 5% resztkowych włókien celulozowych i został oczyszczony za pomocą separatora pneumatycznego z większości tzw. frakcji ciężkiej zawierającej nakrętki i zamknięcia HDPE, zanieczyszczenia mineralne i metaliczne oraz inne polimery. Zdjęcia laminatu LDPE-Al poddawanego procesowi przetwarzania przedstawiono na rys. 1.

Na rys. 2 przedstawiono uproszczony schemat ideowy procesu przetwarzania odpadowych folii laminowanych LDPE-Al wydzielonych w procesie rozwłókniania z opakowań wielomateriałowych na żywność płynną. Obejmuje on pięć etapów: (i) rozpuszczanie laminatu LDPE-Al, (ii) separację aluminium, (iii) wytrącanie polietylenu z roztworu, (iv) separację polietylenu i (v) suszenie polietylenu.

W etapie (i) LDPE zawarty w laminacie jest rozpuszczany w mieszalniku z płaszczem grzewczym z pomocą rozpuszczalnika organicznego. W celu jego wyboru zostały przeprowadzone obszerne badania rozpoznawcze, obejmujące niemal 100 rozpuszczalników organicznych i ich mieszanin. Jednym z kryteriów doboru rozpuszczalnika poza względami ekonomicznymi i ekologicznymi był tzw. parametr rozpuszczalności Hansena, który powinien wynosić 5–7 względem LDPE. Rozpuszczanie prowadzone jest w temp. 100–120°C pod ciśnieniem atmosferycznym lub podwyższonym. Tak otrzymany roztwór LDPE o stężeniu 8–15% mas. jest lepłą cieczą zawierającą fragmenty folii aluminiowej w postaci zawiesiny.

Table 2. Physicochemical properties of polyethylene obtained in the separation process of LDPE-Al laminate

Tabela 2. Właściwości fizykochemiczne polietylenu otrzymanego w procesie separacji laminatu LDPE-Al

Badany parametr	Metoda badania	Wynik badania	
		średnia	odchylenie standardowe
Moduł sztywności przy rozciąganiu, MPa	PN-EN ISO 527-1:2012	244,0	±29,0
Wytrzymałość na rozciąganie, MPa		11,4	±0,6
Wydłużenie względne na granicy plastyczności, %		65,2	±3,2
Naprężenie przy zerwaniu, MPa	PN-EN ISO 527-2:2012	10,7	±0,7
Wydłużenie względne przy zerwaniu, %		97,9	±8,8
Gęstość, g/cm ³	PN-EN ISO 1183-1:2019-05	0,927	±0,003
Zawartość popiołu, %	PN-EN ISO 3451-1:2010	0,71	±0,01
Masowy wskaźnik szybkości płynięcia, g/10 min	PN-EN ISO 1133-1:2011	23,0	±1,3
Objętościowy wskaźnik szybkości płynięcia, cm ³ /10 min		30,6	±0,2
Temperatura topnienia, °C	PN-EN ISO 11357-1:2016-11	105,2 i 124,5	-
Temperatura krystalizacji, °C	PN-EN ISO 11357-3:2018-06	110,7 i 93,2	-

W etapie (ii) otrzymany roztwór LDPE jest przetłaczany do wirówki dekantacyjnej, gdzie z roztworu usuwane jest aluminium i zanieczyszczenia stałe (pozostałości papieru, piasku, folii PET i PCV) oraz inne zanieczyszczenia towarzyszące rozwłóknianiu opakowań KOW. Otrzymana frakcja Al zawiera znaczne ilości rozpuszczalnika (do 50% mas.), dlatego trafia do suszarni próżniowej, gdzie otrzymuje się gotową frakcję Al oraz rozpuszczalnik zwracany do pierwszego etapu.

Oczyszczony z nierozpuszczalnych zanieczyszczeń roztwór kierowany jest w etapie (iii) do krystalizatora zaopatrzonego w mieszałko oraz płaszczy chłodzący, gdzie po obniżeniu temperatury roztworu do ok. 75°C polimer wytrąca się w postaci proszku.

Otrzymany proszek LDPE odwirowuje się w wirówce dekantacyjnej (etap iv), a odzyskany w tym etapie rozpuszczalnik zwracany jest do procesu rozpuszczania. Proszek LDPE zawierający do 50% mas. rozpuszczalnika kierowany jest, podobnie jak frakcja Al, do suszarni próżniowej (etap v), gdzie odzyskuje się rozpuszczalnik i zwraca go do pierwszego procesu rozpuszczania laminatów.

Zdjęcie instalacji pilotowej wybudowanej na terenie firmy Altempo Sp. z o.o. przedstawiono na rys. 3. W tabeli 1 przedstawiono założone w ramach projektu i uzyskane w testach w instalacji pilotowej cele (kamienie milowe). Wszystkie założone w projekcie cele zostały osiągnięte. Na podstawie wykonanych testów ruchowych stwierdzono, że praca ciągła instalacji jest możliwa z wydajnością nie mniejszą niż 300 kg/h w przeliczeniu na wsad surowca. Istotny wpływ na udział otrzymanych frakcji LDPE i Al ma natomiast jakość surowca poddawanego przetworzeniu, w tym występujące w nim wszystkie losowe zanieczyszczenia, takie jak resztkowy papier, kamienie, piasek i inne niż LDPE polimery.

Na rys. 4 przedstawiono zdjęcia otrzymanych produktów: proszku polietylenu oraz frakcji aluminium. W tej ostatniej

widoczne są pozostałości wspomnianych wcześniej zanieczyszczeń.

W tabeli 2 zebrano informacje na temat polietylenu otrzymanego w instalacji pilotowej do przetwarzania laminatu LDPE-Al w firmie Altempo Sp. z o.o. Uzyskane parametry mieszczą się w zakresach przewidzianych dla tego typu handlowego polietylenu.

Badania prowadzone na Politechnice Śląskiej bardzo często są nastawione na zastosowania aplikacyjne. Jednym z wielu przykładów jest opisana w artykule technologia przetwarzania laminatów LDPE-Al, pochodzących z recyklingu kartonowych opakowań wielomateriałowych. Niezbędnym elementem, który decyduje o sukcesie jest jednak współpraca z partnerem przemysłowym.

Firma Altempo Sp. z o.o., pozyskawszy środki finansowe, które umożliwiły dalszy rozwój tej technologii, opracowała założenia i wybudowała instalację pilotową o zdolności przetwórczej ponad 300 kg/h, jednocześnie wypełniając wszystkie cele postawione w założeniach projektu.

Artykuł powstał w wyniku realizacji projektu nr RPMP.01.02.01-12-0453/17, który otrzymał dofinansowanie z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, Regionalnego Programu Operacyjnego Województwa Małopolskiego na lata 2014–2020, poddziałanie 1.2.1 „Projekty badawczo-rozwojowe przedsiębiorstw”.

LITERATURA

- [1] Pat. USA 3466841 (1969).
- [2] Ullmann's Encycl. Ind. Chem., 2007 Electronic Release.
- [3] J. Zawadiak, B. Orlińska, T. Piotrowski, S. Wojciechowski, M. Data, P. Rukuszewicz, *Przem. Chem.* 2015, **94**, nr 5, 818.
- [4] Pat. pol. 238179 (2021).



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz
Rozwoju Regionalnego

