

Ekspertyza w ramach projektu „Sieć Regionalnych Obserwatoriów Specjalistycznych w Procesie Przedsiębiorczego Odkrywania (SO RIS w PPO)” nr WND-RPSL.01.03.00-24-06A2/16-005 (Obserwatorium Produkcja i Przetwarzanie Materiałów)

**Studia prospektywne dla obszarów technologicznych,
identyfikacja technologii węzłowych i technologii przyszłości**

Ekspertyza 4.3.

Technologie węzłowe i przyszłości w obszarze wyrobów polimerowych

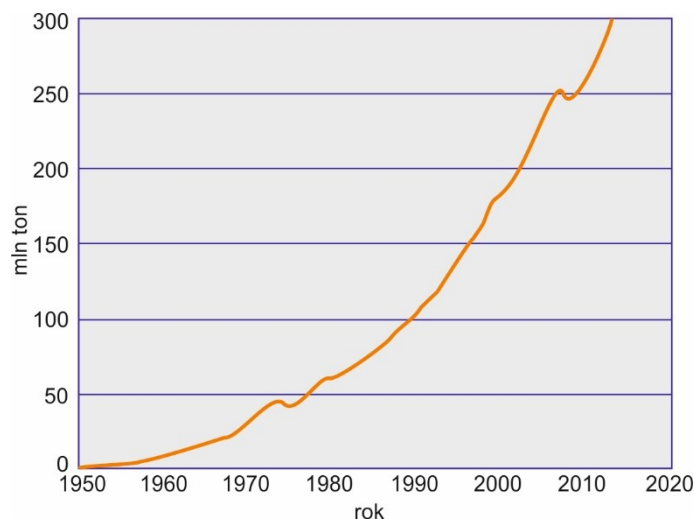
Opracował: dr hab. inż. Klaudiusz Gołombek, prof. PŚ

Katowice, marzec 2019

1. Aktualny stan rozwoju technologii produkcji i przetwarzania materiałów polimerowych

Materiały polimerowe i przemysł przetwórstwa tworzyw sztucznych od ponad stu lat stanowią siłę napędową wzrostu gospodarczego i rozwoju różnych dziedzin technologii i gospodarki. Materiały polimerowe, jako komplementarne w stosunku do pozostałych grup materiałów, głównie metalowych, są ciągle rozwijane, m.in. przez modyfikację ich składu w wyniku stosowania dodatków na różnych etapach procesu wytwarzania oraz poprzez tworzenie nowych lub udoskonalanie powszechnie stosowanych technologii ich przetwórstwa.

Obserwuje się stały wzrost produkcji tworzyw sztucznych na rynkach światowych, w także w krajach unijnych (rys.1) [1]. Europejska branża tworzyw sztucznych, obejmująca zarówno producentów jak i przetwórców tworzyw sztucznych oraz producentów maszyn wykorzystywanych w ich przetwórstwie, zatrudnia ponad 1,5 mln osób, w blisko 60 tys. przedsiębiorstwach, a jej obroty szacuje się na ponad 350 mld Euro [2].



Rys. 1 Wzrost produkcji tworzyw sztucznych na świecie [1]

Pod względem zapotrzebowania na tworzywa sztuczne Polska jest szóstym rynkiem w Unii Europejskiej po Niemczech, Włoszech, Francji, Hiszpanii i Wielkiej Brytanii. Wśród głównych materiałów polimerowych produkowanych w kraju można wyróżnić poliolefiny, polichlorek winylu, poliamid, polistyren, PET, poliester i poliuretan. Obecnie powszechnie stosowanych, w gałęziach krajowej gospodarki, jest ponad sto różnorodnych materiałów polimerowych. Tak duże zainteresowanie materiałami polimerowymi spowodowane jest ich wyjątkowymi własnościami, do których zaliczyć można wysoką odporność na korozję, niską przewodność elektryczną i cieplną, odpowiednią wytrzymałość, niską gęstość, a także stosunkowo niską cenę oraz łatwość formowania. Bardzo istotnym czynnikiem jest również możliwość recyklingu. Zgodnie z danymi podawanymi przez GUS w Roczniku Statystycznym 2017

skala produkcji tworzyw sztucznych w naszym kraju w roku 1980 wynosiła 549 tys. ton i wzrosła do 1,8 mln ton w roku 2000, a w 2016 roku wyniosła już prawie 3,3 mln ton, z kolei zużycie tworzyw sztucznych w 2017 roku było wyższe o 10,8% w stosunku do roku poprzedniego [3]. Analizując dane krajowe dotyczące zużycia tworzyw sztucznych, w tym obejmujących polimery etylenu, polipropylen i jego kopolimery, polichlorek winylu i kopolimery, polimery styrenu, a także włókna chemiczne i kauczuk syntetyczny, największe zużycie notuje się w województwie mazowieckim i stanowi ono 24,1% zużycia ogółem, natomiast dla województwa śląskiego nie przekroczyło 10%. Z kolei największe zużycie włókien chemicznych odnotowano w województwie wielkopolskim i stanowi ono 22,5% zużycia ogółem, natomiast w województwie śląskim wyniosło 14,1%. W zużyciu kauczuku syntetycznego dominowały województwa podkarpackie i wielkopolskie, których udział w zużyciu wyniósł odpowiednio 24,7% i 20,8%, a w województwie śląskim nie przekroczyło 10% [4]. W gospodarce materiałowej coraz większego znaczenia nabierają surowce i materiały pochodzące z recyklingu. Duże rezerwy tkwią w możliwościach wykorzystania i przetwarzania tworzyw sztucznych. Zaobserwowano w ostatnich kilku latach (2014-2017) ciągły wzrost pozyskiwania przez jednostki zarówno produkcyjne, jak i handlowe, większości odpadów. Krajowy wzrost zużycia tworzyw sztucznych w latach 2006-2016 wyniósł 40%. Pomimo tak dużego wzrostu zużycia tworzyw sztucznych, a co się z tym wiąże generowania znacznej ilości odpadów, udało się w kraju wyraźnie zwiększyć o 2,7 razy ich recykling, natomiast odzysk energii aż 100-krotnie [2]. W kraju w 2016 roku po raz pierwszy więcej tworzyw sztucznych odzyskano (55,9%) niż składowano (44,1%), z czego spośród 960 tys. ton opakowaniowych odpadów tworzyw sztucznych, 370 tys. ton poddano recyklingowi, a odzyskowi energii 316 tys. ton [2]. W przypadku tworzyw sztucznych przychód w jednostkach produkcyjnych wzrósł o 61,3%, a w jednostkach handlowych wzrósł o 86,1% [4].

Opakowania i produkty wprowadzone na rynek oraz osiągnięte poziomy odzysku i recyklingu odpadów opakowaniowych i użytkowych z tworzyw sztucznych w 2016 r. wyniosły w kraju ponad 473109 tys. ton, a w województwie śląskim 8066 tys. ton. Z kolei odpady komunalne z tworzyw sztucznych zebrane selektywnie w kraju w roku 2016 wyniosły 304,2 tys. ton., a w województwie śląskim 46,4 tys. ton [5].

W ostatnich latach środowisko naukowe i przemysłowe, a także dyrektywy unijne, kładą szczególny nacisk na badania nad syntezą nowych materiałów polimerowych oraz na technologie umożliwiające przyspieszenie projektowania i wytwarzania nowych produktów z materiałów polimerowych oraz na recykling odpadów z tworzyw. Ze względu na swoje własności, szerokie spektrum zastosowań oraz możliwości recyklingu, tworzywa sztuczne mogą odegrać dużą rolę w zmianie podejścia do gospodarki – z liniowej na gospodarkę o obiegu zamkniętym (GOZ). Taki kierunek działań zorientowany na GOZ, zgodny z dokumentem „Dobrowolne Zobowiązanie Branży Tworzyw „Plastics 2030” ogłoszonym przez PlasticsEurope”, zadeklarowanym w 2018r., poprzez zapobieganie zanieczyszczeniu środowiska odpadami tworzyw, zwiększenie powtórnego ich wykorzystania, a przede

wszystkim zakrojony na szeroką skalę recykling odpadów, umożliwi osiągnięcie celów, jakimi są poprawa efektywności wykorzystania zasobów oraz przyspieszenie wprowadzenia innowacji. Tworzywa sztuczne doskonale wpisują się w ten kierunek działań poprzez ich wysoce efektywne wykorzystanie w całym cyklu życia produktu (m.in. różnicowanie doboru surowców i optymalizację procesów produkcyjnych), zapewniając odpowiednie wykorzystanie surowców na każdym etapie ich przetwórstwa.

2. Prognozy rozwoju technologii produkcji i przetwarzania materiałów polimerowych

Główne obszary zastosowań tworzyw sztucznych w Polsce to m.in. produkcja opakowań (32,5%), przemysł budowlany (25,9%), przemysł motoryzacyjny (10,3%), produkcja urządzeń elektrycznych

i elektronicznych (6,4%) [2]. Analiza danych przemysłowych wskazuje, że największy wzrost w branżach powiązanych zaobserwowano w przemyśle opakowaniowym i motoryzacyjnym oraz w przemyśle budowlanym. Ze względu na rodzaj polimeru największe udziały w produkcji tworzyw sztucznych w kraju mają:

- polietyleny: LDPE, LLDPE, HDPE (30%),
- polipropylen (19%),
- polichlorek winylu (13%),
- polistyren – łącznie PS i EPS (12%),
- poliuretany (6%),
- PET (5%) [2].

W województwie śląskim od ponad 25 lat podejmowane są prace związane z wyznaczeniem nowych kierunków rozwoju regionu oraz strategii w obszarze kluczowych technologii materiałowych

i inteligentnych specjalizacji. Wśród najważniejszych dokumentów [6-9] należy przywołać Regionalną Strategię Innowacji Województwa Śląskiego na lata 2003-2013, w której, uwzględniając specyfikę

i potencjał regionu województwa śląskiego, oceniono wybrane obszary technologiczne w perspektywie 2020 roku. Szczególnie istotnym dokumentem jest Strategia Rozwoju Województwa Śląskiego „ŚLĄSKIE 2020+”. Celem strategii „ŚLĄSKIE 2020+”, realizowanej zgodnie z dokumentami programowymi Unii Europejskiej – „Europa 2020” oraz w spójności z Regionalnym Programem Operacyjnym Województwa Śląskiego na lata 2014-2020, jest „ocena zgodności polityki regionu ze światowymi trendami związanymi z rozwojem gospodarki opartej na wiedzy, dyfuzją rozwoju poprzez ośrodki metropolitalne, podnoszeniem jakości życia przy uwzględnieniu wymogów wynikających z zasad zrównoważonego rozwoju” [9]. W dokumencie tym wskazano na tzw. portfolio technologiczne regionu, przedstawione po raz pierwszy w Regionalnej Strategii Innowacji Województwa Śląskiego na lata 2013-2020 (rys. 2), określając w nim technologie egzogeniczne i endogeniczne, oraz technologie węzłowe i technologie wyspowe.

Szczególnie interesujące są intensywnie rozwijające się technologie z grupy A – technologii węzłowych o strategicznym znaczeniu dla regionu, oparte na potencjale regionu i wykorzystaniu jego własnych zasobów i umiejętności, które mogą zaoferować szerokie możliwości ich praktycznej implementacji na rynku europejskim czy światowym, stając się kluczowym czynnikiem rozwoju gospodarczego w województwie śląskim. Z kolei technologie węzłowe z grupy C, tzw. technologie wspierające w odniesieniu do rozwoju innowacyjnego, z powodzeniem można implementować z rynku europejskiego i światowego, a tym samym mogą stać się czynnikiem zwiększającym potencjał innowacyjny firm i jednostek badawczo rozwojowych regionu.

		Oddziaływanie na rozwój regionu	
		Technologie endogeniczne	Technologie egzogeniczne
		Grupa A	Grupa C
Współzależność kluczowych grup technologii	Technologie węzłowe	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Biotechnologie medyczne i farmaceutyczne w tym biomateriały ▪ Technologie ochrony środowiska związane z inżynierią materiałową ▪ Technologie zgazowania węgla ▪ Pozostałe technologie energetyczne ▪ Tworzywa polimerowe – wtryskiwanie, wytłaczanie, formowanie nad i podciśnieniem ▪ Inżynieria materiałowa dla medycyny ▪ Nowe rozwiązania techniczne i informatyczne w transporcie 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Biotechnologia w ochronie środowiska ▪ Technologie usuwania substancji problemowych ze środowiska gruntowego, wodnego i ścieków ▪ Technologie pyłowe ▪ Technologie fluidalne ▪ Technologie infrastruktury informatycznej ▪ Technologie inteligentnych systemów zarządzania transportem ▪ Technologie inteligentnych systemów wiedzy ▪ Technologie informatyczne ▪ Technologie transportu osób
	Technologie wyspowe	<p style="text-align: center;">Grupa B</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sztuczne narządy ▪ Telemedycyna ▪ Zaawansowane narzędzia diagnostyczne i terapeutyczne ▪ Technologie i urządzenia infrastruktury medycznej 	<p style="text-align: center;">Grupa D</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Technologie zarządzania informacją przestrzenną ▪ Wytwarzanie metali nieżelaznych ▪ Tworzywa polimerowe – odlewanie ▪ Edukacja medyczna

Rys. 2 Portfolio technologiczne województwa śląskiego [8, 9]

Największe znaczenie dla wzmocnienia pozycji konkurencyjnej województwa śląskiego w zakresie strategicznych technologii węzłowych silnie zależnych od rozwoju innych technologii w regionie lub warunkujących rozwój innych technologii w województwie śląskimi oraz technologii przyszłości w obszarze materiałów polimerowych i produktów wytwarzanych z tworzyw sztucznych będą miały technologie dla:

- przemysłu motoryzacyjnego,
- lotniczego,
- technologie dla energetyki,
- technologie w obszarze zastosowań biomedycznych,
- przemysłu opakowaniowego,
- ochrony środowiska.

Szczególnie istotne dla rozwoju regionu będą technologie związane z recyklingiem materiałowym i odzyskiwaniem z tworzyw sztucznych energii oraz w mniejszym stopniu odzyskiwaniem z nich surowców. Celem recyklingu materiałowego jest takie uzdatnianie odpadów, aby możliwe było pozyskanie ich do powtórnego przetwórstwa. Takie działanie jest obecnie i będzie również w przyszłości najbardziej racjonalnym sposobem utylizacji odpadów polimerowych zapewniając tym samym ograniczenie produkcji polimerów „oryginalnych” dzięki wykorzystaniu odzyskanych recyklatów w technologiach przetwórstwa – wyłaczaniu i wtryskiwaniu. Przewiduje się, że rozpowszechnienie recyklingu materiałowego pozwoli wyraźnie zmniejszyć wielkość emisji szkodliwych związków do środowiska oraz ograniczyć zużycie energii niezbędnej w przetwórstwie polimerów. Drugi kierunek działań powinien być związany z pozyskiwaniem odpadów tworzyw sztucznych do celów energetycznych, szczególnie tych odpadów, które wykazują silne zmieszanie i zanieczyszczenie. Ze względu na wysoką wartość kaloryczną, wynoszącą około 35-40 MJ/kg, odpady tworzyw sztucznych są znakomitym zasobem energii elektrycznej i cieplnej i mogą stać się w niedalekiej przyszłości istotnym paliwem w nowoczesnych spalarniach odpadów komunalnych wyposażonych w odpowiednio zaawansowane technicznie instalacje oczyszczania spalin, przyczyniając się do zmniejszenia zapotrzebowania na paliwa pochodzące ze źródeł nieodnawialnych (np. z węgla kamiennego). W kontekście programu „Zero plastics to landfill”, promującego całkowite odejście do 2025r. od składowania odpadów tworzyw sztucznych na rzecz pełnego ich zagospodarowania, konieczne jest wprowadzenie w krajach Unii Europejskiej całkowitego zakazu składowania recyklowalnych i palnych odpadów polimerowych.

Kolejnym działaniem UE na rzecz ochrony środowiska naturalnego jest tegoroczny wniosek ustawodawczy Komisji Europejskiej dotyczący zmniejszenia ilości odpadów morskich poprzez ograniczenie lub nawet wyeliminowanie z obrotu przedmiotów jednorazowego użytku z tworzyw sztucznych, „które najczęściej zaśmiecają europejskie plaże i morza, jak również zagubionych i porzuconych narzędzi połowowych” [10]. Przewiduje się, że do 2030 roku wszystkie opakowania z tworzyw sztucznych na rynku unijnym będą nadawać się do recyklingu, co wyraźnie zmniejszy zużycie tworzyw sztucznych jednorazowego użytku. Wiceprzewodniczący KE Jyrki Katainen, odpowiedzialny za miejsca pracy, wzrost, inwestycje i konkurencyjność, stwierdził: *„Plastik daje ogromne możliwości, ale musimy z niego korzystać w sposób odpowiedzialny. Plastikowe produkty jednorazowego użytku to nie jest inteligentny wybór, ani pod względem ekonomicznym, ani z uwagi na środowisko. Przedstawione dzisiaj (tj. 28 maja 2018r.) wnioski ustawodawcze pomogą przedsiębiorstwom i konsumentom rozejrzeć się za bardziej zrównoważonymi rozwiązaniami. To dla Europy okazja, aby zając w tej dziedzinie pozycję lidera – stworzyć produkty, których w nadchodzących dziesięcioleciach będzie potrzebować cały świat, oraz zapewnić większą wartość rynkową naszym cennym i ograniczonym zasobom. Nasz cel dotyczący odsetka zbieranych plastikowych butelek pomoże nam również zapewnić branży recyklingu tworzyw sztucznych skalę działalności, która jest niezbędna do tego, aby branża ta dobrze prosperowała”* [10].

Zgodnie z proponowanymi nowymi przepisami prawdopodobnie wprowadzony zostanie

w tym roku w kraju i innych państwach unijnych m.in. zakaz wprowadzania do obrotu jednorazowych produktów z tworzyw sztucznych, do których zaliczono: plastikowe patyczki kosmetyczne, sztucce, talerze, słomki, mieszadła do napojów czy patyczki do balonów, dla których istnieją łatwo dostępne i zarazem przystępne cenowo zamienniki. Wymienione produkty będą musiały zostać wyprodukowane z bardziej zrównoważonych materiałów, np. z materiałów biodegradowalnych. Natomiast do 2025r. państwa członkowskie będą zobowiązane do tego, aby 90% jednorazowych butelek na napoje z tworzyw sztucznych było zbierane, na przykład poprzez systemy kaucji.

Niezaprzeczalną szansą dla województwa śląskiego jest podjęcie działań zgodnych z przyjętą w 2018 roku ogólouropejską strategią w dziedzinie tworzyw sztucznych i tegoroczną propozycją wniosku ustawodawczego dotyczącego zmniejszenia ilości odpadów morskich poprzez ograniczenie przedmiotów jednorazowego użytku z tworzyw sztucznych, które ułatwią i przyspieszą proces przechodzenia na gospodarkę o bardziej zamkniętym obiegu. Województwo śląskie inwestując w przemysł przetwórczy polimerów może stać się pierwszym i jednocześnie wiodącym regionem w kraju wytwarzającym masowo z biodegradowalnych polimerów (np. polimery syntetyzowane chemicznie z monomerów otrzymywanych w procesie fermentacji biomasy, np. polilaktyd – PLA, PLLA, PDLLA; polimery izolowane z biomasy pochodzenia roślinnego i zwierzęcego, do których zaliczyć należy polisacharydy; polimery otrzymywane z surowców petrochemicznych, np. polikaprolaktony (PCL), poliesteroamidy (PEA) i alifatyczne kopoliestry) takie produkty jak: opakowania, folie do produktów spożywczych, torby na odpady, tacki, kubki, butelki, sztucce i produkty jednorazowego użytku.

Wdrażana obecnie w kraju nowa polityka zagospodarowania odpadów, zgodna z wytycznymi Unii Europejskiej, daje nadzieję, że nastąpi odchodzenie od składowania odpadów z tworzyw polimerowych na rzecz recyklingu oraz pozyskania z nich energii. Dlatego też również w województwie śląskim pożądanym jest wzrost udziału firm zajmujących się przetwarzaniem i utylizacją odpadów oraz odzyskiwaniem materiałów i surowców z tworzyw sztucznych. Czynnikiem ułatwiającym podjęcie działań, dotyczących wzrostu recyklingu materiałowego i opakowań z tworzyw sztucznych, opartych na idei GOZ, powinna być większa aktywność i konkurencyjność firm i instytucji, które umożliwiają odzysk tworzyw recyklowalnych, a także stworzenie możliwości transferu innowacyjnych technologii oraz wykorzystywania doświadczeń w tym obszarze innych krajów (głównie niemieckiego przemysłu tworzyw sztucznych) oraz opracowanie strategicznych regionalnych programów gospodarki odpadami i polityki państwa w tym zakresie.

Do najistotniejszych technologii węzłowych i technologii przyszłości o strategicznym znaczeniu dla województwa śląskiego w obszarze materiałów polimerowych można zaliczyć: **zmodyfikowane technologie formowania poprzez wytłaczanie i wtryskiwanie**, w tym **wtryskiwanie i wytłaczanie porujące, specjalne techniki wytłaczania i wtryskiwania z rodmuchiowaniem, technologie wtryskiwania z dynamicznymi zmianami temperatury**

formy oraz technologie z obszaru inżynierii powierzchni materiałów polimerowych, a także przyrostowe metody wytwarzania produktów (technologie druku 3D) i **nanotechnologię**, zapewniającą wytwarzanie nowoczesnych funkcjonalnych materiałów polimerowych i kompozytów z osnową polimerową, zawierających dodatki, modyfikatory w postaci nanomateriałów, np. nanoglinokrzemianów, nanokrzemionki.

Odpady tworzyw sztucznych stanowią obecnie co najmniej kilkanaście procent masy wszystkich odpadów komunalnych, jednak ze względu na małą gęstość stanowią niemal 30% objętości wszystkich odpadów. Obecnie poszukuje się bardziej uniwersalnych procesów surowcowego i energetycznego ich wykorzystania, które umożliwią dalsze przetwarzanie odpadów. Obecnie stosuje się wiele metod zagospodarowania odpadów, w tym również odpadów tworzyw sztucznych, spośród których na szczególną uwagę zasługują recykling materiałowy – ponowne przetworzenie, recykling surowcowy, spalanie z odzyskiem energii oraz kompostowanie lub biodegradacja. Podstawowym źródłem odpadów pochodzących z tworzyw sztucznych są opakowania, które w ogólnym bilansie stanowią ponad 30% produkowanych odpadów. Oczywiście nie tylko przemysł opakowaniowy przyczynia się do wzrostu odpadów, ale także wzrost liczby produktów jednorazowego użytku oraz wyraźnie obserwowany krótszy cykl życia produktów. Ponadto wzrastający udział tworzyw sztucznych w zaawansowanych technologicznie produktach, jak przemysł motoryzacyjny, lotniczy i maszynowy, czy też przemysł elektroniczny, budowlany i odzieżowy oraz coraz powszechniejsze zastępowanie metali tworzywami przyczyniają się do gwałtownego wzrostu odpadów tworzyw sztucznych.

Do najistotniejszych technologii węglowych o strategicznym znaczeniu dla województwa śląskiego można zaliczyć technologie wtryskiwania i wytłaczania oparte na możliwości przetwarzania produktów poliolefinowych pochodzących z selektywnej zbiórki oraz kompozytów na podstawie polimerów termoplastycznych modyfikowanych ubocznymi produktami spalania (UPS), pochodzącymi ze spalania paliw kopalnych, biomasy oraz paliw z odpadów (RDF), aby zgodnie z zasadami GOZ – gospodarki o obiegu zamkniętym umożliwić ich ponowne wykorzystanie. Idea Circular Economy jest jedną z kluczowych strategii polityki unijnej, której wdrażanie ma na celu ograniczenie zużycia surowców naturalnych, a w związku z tym ich wydobycia, i w rezultacie poprawy stanu środowiska naturalnego. Uboczne produkty spalania, pochodzące ze spalania paliw np. paliw kopalnych, biomasy, a także paliw pochodzących z odpadów, stanowią bazę surowcową, która może być alternatywą dla klasycznych dodatków i napelniaczy materiałów polimerowych. Z uwagi na powszechność stosowania poliolefin w przemyśle, a tym samym zwiększającej się globalnej ich masie na rynku, szczególnie atrakcyjnym kierunkiem działań jest wykorzystanie produktów odpadowych w postaci popiołów z instalacji energetycznych w celu modyfikacji tworzywa poliolefinowego i uzyskania stabilnych, powtarzalnych własności tych materiałów polimerowych. Szczególnie atrakcyjną technologią, zapewniającą możliwość wykorzystania odpadów pochodzących zarówno z tworzywa poliolefinowych, jak i popiołów z przemysłu energetycznego, jest technologia formowania poprzez wytłaczanie i wtryskiwanie porujące, w tym również wtryskiwanie mikroporujące [11, 12].

Wytłaczanie i wtryskiwanie porujące tworzyw sztucznych polega na wprowadzeniu do polimeru wejściowego, w trakcie wytwarzania, poroforu, czyli środka porującego, którym może być gaz obojętny, ciecz o niskiej temperaturze wrzenia lub ciała stałego (np. granulki i mikrosfery), który, jeżeli jest w stanie ciekłym lub stałym, przechodzi w gaz w określonych warunkach procesu wytłaczania lub wtryskiwania. Metody otrzymywania tworzyw porowatych można klasyfikować ze względu na rodzaj poroforu stosowanego w procesie wytłaczania lub wtryskiwania. Wyróżnia się porofory chemiczne oraz porofory fizyczne. Dzięki środkom porującym następuje modyfikacja struktury polimeru z litej na porowatą. Obecnie znanych jest kilka metod wytłaczania porującego, do których zaliczyć można porowanie swobodne, porowanie do wewnątrz, współwytłaczanie porujące, metodę "Optifoam" oraz porowanie tandemowe firmy Berstorff [11]. Na szczególną uwagę zasługuje metoda "Optifoam", pozwalająca wytwarzać porowate produkty z tworzyw sztucznych przy użyciu konwencjonalnych wytłaczarek bez konieczności ich modyfikacji. W metodzie tej wykorzystuje się fizyczne środki porujące w postaci gazu. Uplastycznianie tworzywa następuje w układzie uplastyczniającym, tak jak w konwencjonalnym wytłaczaniu, natomiast specjalna głowica "Optifoam", umieszczona między układem uplastyczniającym wytłaczarki a dyszą wytłaczarską, odpowiedzialna jest za wprowadzanie do tworzywa odpowiedniego gazu porującego. Produkty otrzymywane tą metodą wykazują, w porównaniu do litych produktów z tworzyw, mniejszą masę i gęstość i tym samym oszczędność materiałów, większą sztywność przy podobnej lub mniejszej masie, wyższe własności mechaniczne, np. wyższą wytrzymałość na zginanie, dobre mechaniczne i akustyczne właściwości tłumiące oraz mniejszą przenikliwość dielektryczną i mniejsze przewodnictwo cieplne. Wytłaczanie porujące wykorzystywane jest głównie do produkcji elementów izolujących, filtrów, opakowań, miękkich porowatych profili PVC, produktów o bardzo wysokiej jakości powierzchni zewnętrznej, wytwarzania kształtowników wielowarstwowych, jako powłoki w kablach elektrycznych czy też porowatego polistyrenu.

Technologia rozdmuchiwania w przetwórstwie tworzyw stosowana jest zarówno w wytłaczaniu, jak i wtryskiwaniu. Wykorzystanie tej technologii w najpowszechniejszych metodach przetwórstwa tworzyw sztucznych pozwala na np. wielkoseryjne, masowe wytwarzanie pojemników o zróżnicowanym kształcie i zmiennej grubości ścianki oraz folii w postaci rękawów rurowych, produktów m.in dla przemysłu opakowaniowego, farmaceutycznego, medycznego, spożywczego, elektrotechnicznego, budownictwa i kosmetycznego bez zbędnych odpadów. Odmianami tej technologii są metody rozdmuchiwania swobodnego przeznaczone do formowania z rękawa folii oraz rozdmuchiwania z rozciąganiem przeznaczone do formowania opakowań z preform (w formie) wykonanych metodą wtrysku, następnie w drugim etapie rozdmuchiwanym z opcją rozciągania mechanicznego. Powszechne wykorzystanie tej technologii w wielu dziedzinach przemysłu związane jest z korzyściami ekonomicznymi, wysoką jakością i pożądanymi własnościami użytkowymi otrzymywanych produktów, np. zbiorników paliwa, beczek, układów rozprowadzenia powietrza, różnorodnych opakowań, pojemników do napojów, środków spożywczych, kosmetyków, chemikaliów, leków, i wynikają z charakterystycznych cech tego procesu, do których zaliczyć należy m.in. cykliczność i automatyzację procesu,

dużą wydajność, zmniejszenie masy produktów, możliwość wykorzystania recyklatów w produkcji oraz szerokie spektrum przetwarzanych tworzyw: poliolefin (głównie PE-LD, PE-LLD, PE-HD, PE-UHMW), polistyrenu(PS), polipropylenu (PP), poli(chlorku winylu) (PVC), poli(tereftalanu etylenu) (PET) poliamidu (PA), kopolimeru etylen/octan winylu (EVAC), kopolimeru etylen/alkohol winylowy (EVOH), poli(alkoholu winylowego) (PVOH) i poli(chlorku winylidenu) (PVDC) [13].

Oczekiwania dzisiejszego rynku, dotyczące pożądaných własności wytrzymałościowych i użytkowych, wysokiej jakości powierzchni produktów i dokładności ich wykonania, oszczędzania surowców, a co najważniejsze, zachowania ekonomiki produkcji, stwarzają konieczność ciągłego poszukiwania innowacyjnych optymalnych rozwiązań technologicznych w obszarze przetwórstwa polimerów. Spełnienie wysokich wymagań przemysłu motoryzacyjnego, maszynowego, elektronicznego czy optycznego, oczekujących lepszych i tańszych produktów możliwe jest dzięki wykorzystaniu technologii wtryskiwania z dynamicznymi zmianami temperatury formy. W przypadku technologii dynamicznych zmian temperatury formy dla gniazda formującego nie stosuje się stałej temperatury, ale w momencie wtrysku powierzchnie formujące są nagrzane do temperatury przekraczającej temperaturę zeszklenia lub krystalizacji wtryskiwanego tworzywa. Po wtrysku rozpoczyna się proces intensywnego schładzania formy, co jest korzystne dla przebiegu procesu przetwórstwa. Do najważniejszych korzyści stosowania technologii wtryskiwania z dynamicznymi zmianami temperatury formy zaliczyć można oprócz wyraźnej poprawy jakości powierzchni (wysoki połysk) produktów, wzrost własności produkowanych elementów, np. odporności na zarysowania, pozbawionych deformacji i widocznych linii płynięcia, perfekcyjne odwzorowanie kształtu i wymiarów gniazda formującego (nawet skali nanometrycznej) z jednoczesnym brakiem występowania wciągów, jam i zapadnięć, możliwość stosowania obniżonego ciśnienia i ograniczenie liczby punktów wtrysku [14]. Wytwarzanie wtryskowe detali z termoplastów z wykorzystaniem technologii wtryskiwania z dynamicznymi zmianami temperatury formy zastosowane jest m.in. w produkcji obudów telefonów komórkowych i sprzętu RTV, a także do soczewek grubościennych. Na szczególną uwagę zasługuje jedna z najbardziej rozwojowych metod wtryskiwania, opatentowana przez firmę Trexel Inc. (USA), technologia MuCell® wykorzystana do produkcji elementów w przemyśle samochodowym (np. konsola centralna samochodu Audi Q5) [14].

Techniki wytwarzania przyrostowego stają się obecnie najszybciej rozwijającą się metodą wytwarzania różnego rodzaju produktów oraz modeli. W odróżnieniu od tradycyjnych metod opartych np. na obróbce skrawaniem, formowaniu wtryskowym lub wytłaczaniu dzięki wykorzystaniu metod przyrostowych możliwe jest tworzenie elementów o skomplikowanej geometrii, których często nie można wytworzyć stosując klasyczne metody wytwarzania. Wykorzystując technologie przyrostowe, będące często nazywane drukiem 3D, możliwe jest wytwarzanie przestrzennych produktów na podstawie modeli geometrycznych CAD. Przedmiot jest wytwarzany warstwa po warstwie i, w zależności od zastosowanej metody, warstwy mogą narastać od dołu do góry lub od góry do dołu, wzdłuż osi Z. Najczęściej stosowanymi materiałami do wytwarzania metodami przyrostowymi są tworzywa polimerowe.

W tym przypadku często stosuje się także dodatkowe składniki, np. dodatki mineralne (talk, kreda), naturalne (drewno), a także coraz częściej proszki metali oraz proszki ceramiczne. Zaletą metod wytwarzania przyrostowego jest brak konieczności projektowania, konstruowania, wytwarzania i używania narzędzi stosowanych do produkcji konkretnych elementów oraz wykonywanie modułu

w jednej operacji, co znacznie ogranicza planowanie procesu. W efekcie umożliwia to redukcję kosztów produkcji oraz czasu wytwarzania gotowych produktów. Oczywiście zaletą metod druku 3D jest możliwość produkowania modeli o złożonej geometrii, co w przypadku metod tradycyjnych jest możliwe do zrealizowania jedynie przy wytworzeniu i połączeniu ze sobą kilku elementów. Metody przyrostowe pozwalają również na wytwarzanie modułów ruchomych, takich jak łożyska, koła zębate. Niezależnie od tego, czy w produkcji używane są jedynie polimery, czy polimery z dodatkami, materiały budulcowe mogą mieć postać litego tworzywa, ciekłej żywicy polimerowej lub folii polimerowej. Największą wadą technologii przyrostowych jest znacznie mniejsza wydajność produkcyjna w porównaniu z klasycznymi technologiami w obszarze materiałów polimerowych – wtryskiwaniem lub wytłaczaniem. Dlatego też metody te wykorzystywane są jedynie do produkcji małoseryjnej w wytwarzaniu modeli i prototypów (Rapid Prototyping), do produkcji jednostkowej gotowych elementów (Rapid Manufacturing) oraz szybkiego wytwarzania narzędzi (Rapid Tooling). Najczęściej stosowanymi metodami przyrostowymi są metody oparte na wytwarzaniu produktów w wyniku osadzania stopionego materiału termoplastycznego przy pomocy dyszy (FFF, FDM, 3DP, BPM, SDM), nanoszeniu warstw fotopolimeru, a następnie jego fotoutwardzania (POLYJET, SLA, FTI, SGC), selektywnego spiekania proszków tworzywa laserem (SLS, CAM-LEM, EOSNIT, FPM) lub za pomocą cieczy zespalającej (CJP, 3DP) [14-18].

Metody przyrostowe znajdują coraz większe zastosowanie w wielu dziedzinach przemysłu, np. do wytwarzania części dla przemysłu maszynowego, motoryzacyjnego i lotniczego cieszą się coraz większym zainteresowaniem w medycynie, gdzie przy wykorzystaniu metod druku 3D możliwe jest wykonywanie zamienników tkanek, naczyń krwionośnych oraz komórek macierzystych, protez czy endoprotez, a także w sztuce, gdzie wytwarza się nietypowe wzory użytkowe, przedmioty codziennego użytku, mebli, wazonów, lamp. Obecnie możliwe jest również wykorzystanie mobilnych drukarek oraz szybkoschnących cementów do przyrostowego wytwarzania ścian nośnych budynków. Obecnie jedną z najszybciej rozwijających się i najbardziej popularnych technologii wytwarzania przyrostowego jest technologia druku 3D metodą FFF (ang. *Fused Filament Fabrication*), głównie ze względu na prostotę oraz relatywnie niskie koszty urządzeń, gdzie materiał wsadowy zwany filamentem ma postać żyłki o kilkumilimetrowej średnicy. Metoda FFF umożliwia produkcję różnych komponentów polimerowych, spośród najczęściej stosowanych obecnie filamentów wykonanych z tworzywa termoplastycznego wykorzystuje się PLA, ABS, PC lub PVA. Obecnie właściwości produktów wytwarzanych technologią druku 3D są coraz lepsze, dlatego cieszą się one coraz większym zainteresowaniem. Do głównych zalet technologii FFF możemy zaliczyć wysoką udarność drukowanych elementów, szybkie

tempo ich budowania, małe straty materiału, wysoką dokładność wymiarową, a także możliwość pracy urządzenia w warunkach biurowych, czy też domowych.

Szczególnie interesujące i obiecujące jest zastosowanie technologii przyrostowych w zastosowaniach biomedycznych. Przewiduje się, że powszechniejsze wykorzystanie tych metod przyczyni się do zwiększenia poziomu efektywności spersonalizowanych, celowych terapii (lepsze

i tańsze produkty medyczne, np. w ortopedii, implantologii) przy jednoczesnym zmniejszeniu kosztów wdrożenia i stosowania nowych metod terapeutycznych i przede wszystkim skróceniu czasu oczekiwania na terapię. Implementacja metod przyrostowych ma zapewnić lepszą opiekę zdrowotną

w przyszłości dzięki efektywniejszym szkoleniom specjalistów medycznych, usprawnieniu diagnostyki i planowaniu leczenia oraz dedykowanej rehabilitacji. Spodziewany postęp w leczeniu i wzrost jakości świadczeń medycznych związany będzie m.in. z drukowaniem tkanek i organów z komórek biologicznych, drukowaniem opatrunków o pożądanym kształcie i optymalnych właściwościach oraz przedmiotów zaopatrzenia ortopedycznego, a także drukowanie fizjologicznych i patologicznych modeli anatomicznych i fantomów oraz komponentów do badań naukowych (w tym do testowania właściwości kości i tkanek miękkich) [17, 18].

Literatura

- [1] Borkowski K., Przemysł tworzyw sztucznych – materiałów XXI wieku, MECHANIK NR 4/2015, s. 278-282
- [2] Materiały PlasticsEurope, Tworzywa sztuczne – Fakty 2017, Analiza produkcji, zapotrzebowania, 2017 oraz odzysku tworzyw sztucznych w Europie, 2017
- [3] GUS Rocznik Statystyczny Przemysłu 2017, Warszawa 2017
- [4] GUS Gospodarka materiałowa w 2017r., Warszawa, Rzeszów 2018
- [5] GUS Ochrona środowiska 2017, Warszawa 2017
- [6] Regionalna Strategia Innowacji Województwa Śląskiego na lata 2003-2013, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, Katowice 2003.
- [7] Program Rozwoju Technologii Województwa Śląskiego na lata 2010–2020, Zarządu Województwa Śląskiego, Katowice 2011.
- [8] Regionalna Strategii Innowacji Województwa Śląskiego na lata 2013-2020, Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, Katowice 2012.
- [9] Strategia rozwoju województwa śląskiego „Śląskie 2020+”. Wydział Planowania Strategicznego i Przestrzennego. Urząd Marszałkowski Województwa Śląskiego, Katowice 2013.
- [10] Komisja Europejska - Komunikat prasowy, Przedmioty jednorazowego użytku z tworzyw sztucznych: nowe przepisy unijne doprowadzą do zmniejszenia ilości odpadów morskich, Bruksela, 2018

- [11] Nowoczesne materiały polimerowe i ich przetwórstwo. Część 1, praca zbiorowa pod redakcją Tomasza Klepki, Politechnika Lubelska, Lublin 2014.
- [12] Bociąga E., Palutkiewicz P., Wtryskiwanie mikroporujące, Przetwórstwo Tworzyw 4 (lipiec – sierpień), 2013, s. 309-317
- [13] Jachowicz T., Rozdmuchiwanie w przetwórstwie tworzyw polimerowych, MM Magazyn Przemysłowy, 2017 (<https://www.magazynprzemyslowy.pl/produkcja/Rozdmuchiwanie-w-przetworstwie-tworzyw-polimerowych,10020,1>) (dostęp 25.03.2019)
- [14] Szostak M., Krzywdzińska P., Barczewski M., Technologie MuCell® i InduMold w produkcji wysokiej jakości detali samochodowych z tworzyw polimerowych, POLIMERY 2018, 63, nr 2, s. 145-152
- [15] Brown A.S., A big forecast for 3-D printers, Mechanical Engineering 2014, 2, 26-28.
- [16] Sasimowski E., Przyrostowe metody wytwarzania elementów z tworzyw polimerowych, Przetwórstwo Tworzyw 4 (lipiec – sierpień), 2015, s. 349-354.
- [17] Nowoczesne materiały polimerowe i ich przetwórstwo. Część 2, praca zbiorowa pod redakcją Tomasza Klepki, Politechnika Lubelska, Lublin 2015.
- [18] Nowoczesne materiały polimerowe i ich przetwórstwo. Część 3, praca zbiorowa pod redakcją Tomasza Klepki, Politechnika Lubelska, Lublin W obecnych warunkach