

Zrównoważone projektowanie opakowań z tworzyw sztucznych w gospodarce cyrkularnej

Dorota Czarnecka-Komorowska^{1), *)}, Karolina Wiszumirska²⁾

DOI: dx.doi.org/10.14314/polimery.2020.1.2

Streszczenie: Przedstawiono współczesne problemy rynku opakowań z tworzyw sztucznych, wynikające ze zmian w ustawodawstwie Unii Europejskiej, wprowadzającym nowe podejście do gospodarki materiałami polimerowymi na każdym etapie ich cyklu życia. Opisano ideę Gospodarki o Obiegu Zamkniętym (GOZ, ang. *Circular Economy*) oraz rolę opakowań zrównoważonych w tym systemie. Przedstawiono najważniejsze zasady ekoprojektowania opakowań polimerowych w aspekcie ograniczenia powstawania odpadów i przydatności opakowań do odzysku na drodze recyklingu materiałowego. Ekoprojektowanie opakowań z tworzyw sztucznych ujęte w koncepcji Gospodarki o Obiegu Zamkniętym może wkrótce stać się istotnym czynnikiem przewagi konkurencyjnej w branży opakowaniowej.

Słowa kluczowe: *eco-design*, opakowania, tworzywa sztuczne, zagospodarowanie, recykling, gospodarka cyrkularna.

Sustainability design of plastic packaging for the Circular Economy

Abstract: The article presents contemporary problems on the plastic packaging market, resulting from changes in the legislation of the European Union, introducing a new approach to the management of polymer materials at every stage of the life cycle. The idea of a Circular Economy (CE) has been described and issues related to packaging materials. Presented are the most important principles of eco-design of polymer packaging, in the aspect of reducing the formation of packaging waste and the suitability of packaging for recovery through material recycling. The eco-design of plastic packaging included in the Circular Economy concept may soon become a significant competitive advantage in the packaging industry.

Keywords: *eco-design*, packaging, plastics, recycling, recyclability of packaging, Circular Economy.

Rozwój technologiczny wiąże się z postępującą transformacją gospodarki i społeczeństwa. Kluczem do zaspokajania potrzeb konsumentów bez nadmiernego eksploatowania środowiska jest idea zrównoważonego rozwoju. Zrównoważony rozwój to sposób realizowania potrzeb współczesnego pokolenia konsumentów bez ograniczania potencjału do zaspokajania potrzeb pokoleń następnych [1]. Model Gospodarki o Obiegu Zamkniętym (ang. *Circular Economy*) – GOZ wprowadza zasady i dobre praktyki w zakresie zarządzania zasobami naturalnymi, zapobiegania powstawaniu odpadów, zwiększania poziomu odzysku surowców pochodzących z odpadów, w tym recyklingu materiałowego i chemicznego. Gospodarka cyrkularna ma za zadanie

traktowanie odpadów jako wartościowych surowców krążących w gospodarce przemysłowej i włączanie ich w cykl życia następnych produktów, a więc przepływ surowców nieodnawialnych w obiegach zamkniętych.

Rysunek 1 [2] przedstawia porównanie dwóch modeli funkcjonowania gospodarki: liniowego „weź – użyj – wyrzuć” i cyrkularnego (GOZ).

Model cyrkularny jest szansą na generowanie oszczędności w obszarach środowiskowym i ekonomicznym oraz motorem napędowym do tworzenia innowacji technologicznych.

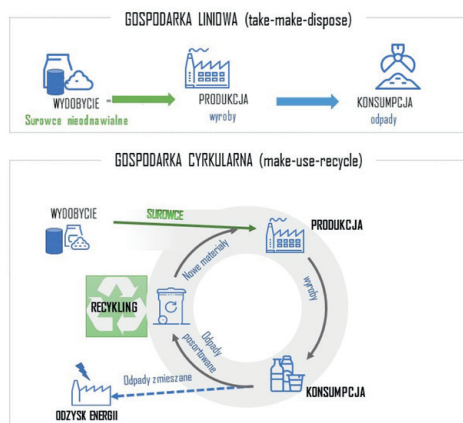
Efekty niezrównoważonej gospodarki zasobami naturalnymi i odpadami prowadzą do skutków, których skala jest niekiedy trudna do oszacowania, ale już widoczna. W krajach Unii Europejskiej każdego roku powstaje ok. 26 mln ton odpadów z tworzyw sztucznych, z czego jedynie 30% jest poddawane recyklingowi, (zaledwie 6% odpadów wprowadzonych do obrotu pochodzi z recyklingu), 31% jest składowanych, a 39% – spalanych [3]. W wyniku stosowania nieefektywnych metod zagospodarowania odpadów surowce wtórne są tracone.

¹⁾ Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Materiałów, Zakład Tworzyw Sztucznych, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań.

²⁾ Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Instytut Nauk o Jakości, Katedra Jakości Produktów Przemysłowych i Opakowań, al. Niepodległości 10, 61-875 Poznań.

*) Autor do korespondencji; e-mail:

Dorota.Czarnecka-Komorowska@put.poznan.pl



Rys. 1. Porównanie modelu gospodarki liniowej i cyrkularnej opakowań z tworzyw polimerowych [2], opracowanie graficzne: Enesa Agovich

Fig. 1. Comparison of linear and circular model for plastic packaging [2], graphic design Enesa Agovich

ZASADY GOSPODARKI O OBIEGU ZAMKNIĘTYM

Założeniem Gospodarki o Obiegu Zamkniętym jest dążenie do postępowania zgodnie z pewną hierarchią, w której pierwszeństwo ma zapobieganie powstawaniu odpadów na etapie projektowania wyrobów, minimalizacja zużycia materiałów i energii w procesie produkcji i użytkowania, unikanie stosowania substancji potencjalnie niebezpiecznych dla konsumenta i środowiska; w dalszej kolejności zmiana sposobu wytwarzania produktów, a po zużyciu ich wykorzystania w wyniku naprawy i ponownego użycia [4].

W odniesieniu do produktów o krótkim czasie użytkowania, takich jak: opakowania z tworzyw sztucznych, w tym folie z polietylenu (PE), tacki z polistyrenu (PS), butelki z poli(tereftalanu etylenu) – PET, itd. niezbędne jest prowadzenie odzysku na drodze recyklingu materiałowego w celu pozyskiwania surowców wtórnych (regranulatu).

Recykling pozwala również na zmniejszenie zapotrzebowania na materiały pierwotne produkowane z ropy naftowej, np. polietylen, polipropylen, oraz ograniczenie zużycia energii i emisji szkodliwych związków do atmosfery, w tym ditlenku węgla (CO_2), generowanych na etapie produkcji surowców pierwotnych. Wdrożenie wymienionych działań daje szansę na transformację dotychczasowego podejścia w wyniku zbudowania gospodarki opakowaniowej funkcjonującej w zamkniętym cyklu materiałowym.

Projektowanie pełnowartościowych opakowań powinno stanowić impuls, zarówno dla producenta, konsumenta, jak i recyklera, do rozwoju nowych, inteligentnych, zrównoważonych i opartych na obiegu zamkniętym modeli działalności gospodarczej, produkcji i konsumpcji [3].

W Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej z dnia 14 czerwca 2018 r. opublikowano dyrektywy dotyczące od-

padów, przybliżające przejście z gospodarczego modelu liniowego (ang. *linear economy*) do modelu cyrkularnego (ang. *circular economy*), dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/851 z dnia 30 maja 2018 r., zmieniającą dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów, i dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/850 z dnia 30 maja 2018 roku, zmieniającą dyrektywę 1999/31/WE w sprawie składowania odpadów. Przepisy, które weszły w życie 4 lipca 2018 roku zobowiązują kraje członkowskie UE do dostosowania przepisów krajowych do 5 lipca 2020 roku. Ponadto dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/852 z dnia 30 maja 2018 roku, zmieniającą dyrektywę 94/62/WE w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych i dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/849 z dnia 30 maja 2018 roku, zmieniającą dyrektywę 2000/53/WE w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji, 2006/66/WE w sprawie baterii i akumulatorów oraz użytych baterii i akumulatorów, a także 2012/19/UE w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego [5–8].

Nowe dyrektywy UE narzuciły konieczne do osiągnięcia limity, m.in. minimalne poziomy ponownego użycia i recyklingu odpadów w perspektywie najbliższych lat.

5 czerwca 2019 r. Parlament Europejski wraz z Radą Unii Europejskiej przyjął nową dyrektywę w sprawie zmniejszania wpływu na środowisko (tzw. *single-use plastics directive*) niektórych produktów z tworzyw sztucznych [9]. Wytyczne dyrektywy dotyczą ograniczenia stosowania wyrobów jednorazowego użytku z tworzyw sztucznych, w tym kubków na napoje wykonane ze spienionego polistyrenu (EPS), sztuców (widelce, noże, łyżki, pałeczki), talerzy, pojemników na żywność z EPS, patyczków mocujących balony i patyczków higienicznych, mieszaidełek do napojów, niektórych słomek, itp. W przypadku produktów jednorazowego użytku, trafiających bezpośrednio do systemu kanalizacji, takich jak: artykuły higieniczne (podpaski higieniczne, tampony i aplikatory, chusteczki nawilżane), wyroby tytoniowe z filtrami, filtry, kubki na napoje, oczekuje się odpowiedniego ich oznakowania, informującego konsumentów o sposobie zagospodarowania i negatywnym wpływie tych produktów na środowisko. Zakłada się, że informacje powinny być umieszczone bezpośrednio na produkcie lub jego opakowaniu handlowym lub zbiorczym. Oznakowanie nie jest wymagane w przypadku opakowań, których powierzchnia jest mniejsza niż 10 cm^2 [9].

Wspomniane wyroby, o których mowa w dyrektywie [9] mogą być zastąpione przez produkty wytwarzane z alternatywnych surowców biodegradowalnych, np. słomki i patyczki higieniczne z poli(kwasu mlekowego) (PLA), naczynia (tacki, talerze, kubki) z trzciny cukrowej lub liści palmowych, sztucze ze skrobi kukurydzianej. Należy podkreślić, że te wszystkie surowce są przyjazne dla środowiska, ale kilkukrotnie droższe. Także użyteczność niektórych produktów bywa ograniczona [10].

Zmniejszenie zużycia zasobów naturalnych i tworzenie zamkniętego obiegu materiałowego, tj. surowiec-wy-

rób-recykling-surowiec, w odniesieniu do opakowań z tworzyw sztucznych, mają być osiągnięte dzięki wprowadzaniu wielu pomocniczych mechanizmów, m.in. rozszerzonej odpowiedzialności producentów (ROP), opracowaniu norm jakościowych dotyczących również oceny przydatności opakowania do recyklingu, wprowadzaniu dobrych praktyk projektowych, prowadzeniu oceny cyklu życia produktów, rozszerzaniu zakresu zasad legislacyjnych dotyczących ekoprojektowania na wszystkie główne grupy produktów z tworzyw sztucznych, przyjęciu przepisów określających znakowanie ekologiczne oraz wdrażaniu metody odnoszącej się do śladu środowiskowego produktu (ang. *Environmental Footprint*) [3]. Zasobooszczędność dotyczy także działalności operacyjnej przedsiębiorstw, które mogą wprowadzać koncepcje zarządzania i strategię ochrony środowiska, m.in. Kaizen, Lean, Six Sigma, Green Lean, Czystsza Produkcja, Green Productivity, system ek zarządzenia i audytu (EMAS) oraz normy ISO 14001, ISO 50001 [4].

EKOPROJEKTOWANIE OPAKOWAŃ W SYSTEMIE GOZ

Dostępne na rynku opakowania różnią się pod względem zaawansowania konstrukcyjnego i materiałowego oraz poziomu pakowania. Przeciętny konsument wybiera produkt, sugerując się jego jakością, marką lub ceną, natomiast decyzja o zakupie rzadko, o ile w ogóle, jest podjęta również analizą materiału opakowaniowego i możliwością jego ponownego wykorzystania lub recyklingu (ang. *reuse or recycling*) przeprowadzonego w danym regionie.

Producenci muszą więc oferować rozwiązania, które wspierają szeroko pojęte proekologiczne podejście do pakowania, a jednocześnie spełniają szereg wymagań dotyczących jakości, bezpieczeństwa, użyteczności i ergonomii, atrakcyjności wizualnej itp. W praktyce mowa tu o szerokiej koncepcji „ekoprojektowania opakowań”, ang. *eco-design*, pozwalającej tworzyć przemyślane projekty opakowaniowe, atrakcyjne dla konsumenta (użyteczność, atrakcyjność wizualna, ergonomiczność, ochrona produktu, bezpieczeństwo użytkownika) oraz wartościowe dla recyklera. Optymalizacja opakowań pod względem przydatności do recyklingu (ang. *recyclability*) zapewnia pożądane (środowiskowe) efekty zwłaszcza wówczas, gdy opakowanie jest przekazywane do odpowiednich procesów recyklingu funkcjonujących w regionie. Możliwość recyklingu nie jest więc tylko statyczną cechą techniczną opakowań, ale także ściśle wiąże się z istniejącą i dostępną technologią zbiórki, sortowania i recyklingu.

Koncepcja *eco-design* bazuje na wypracowaniu szeregu dobrych praktyk, w których zaleca się stosowanie lub unikanie pewnych rozwiązań.

Nadrzędną zasadę ekoprojektowania opakowań powinno stanowić unikanie opakowań (ang. *refuse*), a więc dążenie do wytwarzania tylko rzeczywiście niezbędnych

opakowań, o wydłużonym cyklu życia [np. w wyniku ponownego lub wielokrotnego stosowania (ang. *reuse*), możliwości naprawiania] i/lub zdolnych do recyklingu materiałowego lub organicznego [11].

Należy unikać produkowania nadmiernej ilości opakowań, ale także bardzo małych form (mniejszych niż 2 cm) zazwyczaj trudnych do identyfikacji, a w konsekwencji w mniejszej ilości poddawanych recyklingowi.

Nie należy też łączyć materiałów zdolnych do recyklingu materiałowego z materiałami biodegradowalnymi/kompostowalnymi, ponieważ ich zbiórka i segregacja przebiega różnymi ścieżkami, a ich jednocześnie występowanie w opakowaniu stanowi kolejną trudność technologiczną. O recyklingu organicznym, zwanym biologicznym, można mówić wyłącznie w odniesieniu do materiałów ulegających procesowi biodegradacji [12–15].

Materiały biodegradowalne i/lub kompostowalne [16] pojawiają się coraz częściej na rynku. Najczęściej wykorzystuje się materiały, takie jak: PLA [poli(kwas mlekowy)], TPS (skrobia termoplastyczna), PCL (polikaprolakton), w postaci folii do owinięć, reklamówek, jednorazowych naczyń (kubki, talerzyki) oraz opakowań jednorazowego użytku (butelki do wody). Wykorzystywanie polimerów zdolnych do biodegradacji, nie tylko w branży opakowaniowej, potwierdza stały rozwój materiałowy i zapotrzebowanie na materiałowe innowacje, nie zmienia jednak faktu, że w Polsce nadal nie istnieje dostateczna liczba kompostowni, które mogłyby przerabiać rosnącą ilość kompostowalnych odpadów. Należy w tym miejscu zdecydowanie zaakcentować, że składowanie na wysypiskach nie jest formą kompostowania.

Zasady wprowadzane wraz z systemem GOZ wspierają konsumentów w kwestii nowych, promowanych zachowań. Reguły *refuse – reduce – reuse* (odmów – zredukuj – użyj ponownie) powinny budować świadomość konsumentów i refleksję w chwili wyboru opakowań i wyrobów jednorazowego użytku, takich jak: reklamówki jednorazowe, kubki do napojów, mieszadła oraz butelki do wody i napojów o małej pojemności. Ciągłe jeszcze można obserwować niekonsekwencję w działaniu przedsiębiorców, którzy oferują biodegradowalne reklamówki do owoców i warzyw, mimo że owoce i warzywa (również bio) zapakowano pojedynczo lub grupowo w worki, siatki lub opakowania kombinowane. Inicjatywa tworzenia alejek sklepowych bez tworzyw sztucznych daje możliwość ograniczenia nadmiernego i często nieuzasadnionego stosowania opakowań foliowych lub, alternatywnie, wprowadzenia opakowań kompostowalnych, które klient będzie mógł wykorzystać do wyrzucania organicznych odpadów kuchennych. Przeciętny konsument nie posiada wiedzy z zakresu metod recyklingu materiałów opakowaniowych. Zadaniem projektantów opakowań i producentów jest więc skuteczne informowanie odbiorcy produktu poprzez system ekologicznego, jasnego i powszechnie zrozumiałego znakowania (ang. *eco-labelling*).

STOSOWANIE TWORZYW SZTUCZNYCH Z RECYKLINGU

Na niski poziom wykorzystywania tworzyw sztucznych z recyklingu składa się wiele czynników, takich jak:

- niska cena najpowszechniej stosowanych w opakowaniach tworzyw pierwotnych, np. polietylenu (PE), polipropylenu (PP), polistyrenu (PS), poli(tereftalanu etylenu) (PET);

- brak stabilnej sieci dostawców oferujących wysokiej jakości, oczyszczony i jednorodny pod względem materiałowym regranulat o zdefiniowanych cechach, uzyskany na drodze recyklingu mechanicznego surowca wtórnego [17, 18];

- rynek oferujący znacznie tańsze, niskiej jakości regranulaty (często zanieczyszczone);

- potencjalne trudności technologiczne związane z prowadzeniem procesu przetwarzania odpadów;

- brak zaufania konsumentów do wyrobów wytworzonych z tworzyw z recyklingu.

W komunikatach reklamowych niektórych firm, szczególnie produkujących cienkie folie opakowaniowe, pojawiają się niekiedy sformułowania sugerujące, że materiały wytwarzane z surowców wtórnych stanowią zagrożenie dla konsumenta i środowiska, ponieważ mogą zawierać znaczne ilości zanieczyszczeń, takich jak: metale ciężkie, ftalany, oleje mineralne. Takie informacje utrwalają się w świadomości producentów i konsumentów, brakuje bowiem norm jakości i bezpieczeństwa stosowania dostępnych na rynku regranulatów niskiej jakości w innych aplikacjach niż opakowania do bezpośredniego kontaktu z żywnością. Określenie bezpiecznych poziomów migracji i zawartości zanieczyszczeń oraz wprowadzenie systemu akredytowanych badań i certyfikacji jest narzędziem budującym zaufanie do celowości i bezpieczeństwa wykorzystania materiałów pochodzących z recyklingu. Rozwój rynku recyklatów może stymulować wprowadzenie wymogu minimalnej zawartości surowców pochodzących z recyklingu w określonych grupach wyrobów, co oczywiście nie może stać w sprzeczności z bezpieczeństwem pakowanych produktów. Współczesne ekoprojektowanie opakowań polimerowych wprowadza nowe pojęcie, jakim jest zdolność (podatność) opakowania do recyklingu (ang. *recyclability*). Przydatność opakowań do recyklingu powinna być definiowana w fazie projektowania na podstawie dwóch kryteriów; pierwszy z nich dotyczy cech materiałowych (rodzaj, ilość warstw i metody ich łączenia, zawartość procentowa poszczególnych składników i dodatków), drugi – systemów recyklingu, w tym możliwości technologicznych funkcjonujących na danym terenie. Projektowanie dla recyklingu powinno także uwzględniać informacje zwrotne dotyczące optymalizacji opakowań i towarów (zmniejszenie masy i objętości opakowania, ograniczenie substancji szkodliwych, itd.), determinujące zmiany materiałowo-konstrukcyjne ukie-
runkowane na recykling oraz na potrzeby konsumenta.

Projektowanie zorientowane na recykling nie jest już tylko opcją dającą teoretyczne możliwości wyboru konstrukcji, materiałów, etykiet i zamknięć przyjaznych dla środowiska, jest także faktyczną potrzebą rynku, której zaspokojenie wymaga specyficznej wiedzy z zakresu technologii recyklingu [19] oraz pokonania ograniczeń wynikających z dostępnych metod sortowania i oczyszczania. Projektowanie wyrobu dla recyklingu określa jego przydatność do obiegu materiałowego w określonym systemie zbiórki, sortowania, mycia, separacji i recyklingu, zgodnie z normą ISO 15270:2008 [20]. Idealny proces recyklingu materiałowego (ang. *materials recycling*) zakłada wytworzenie regranulatu o jakości zbliżonej do jakości surowca pierwotnego.

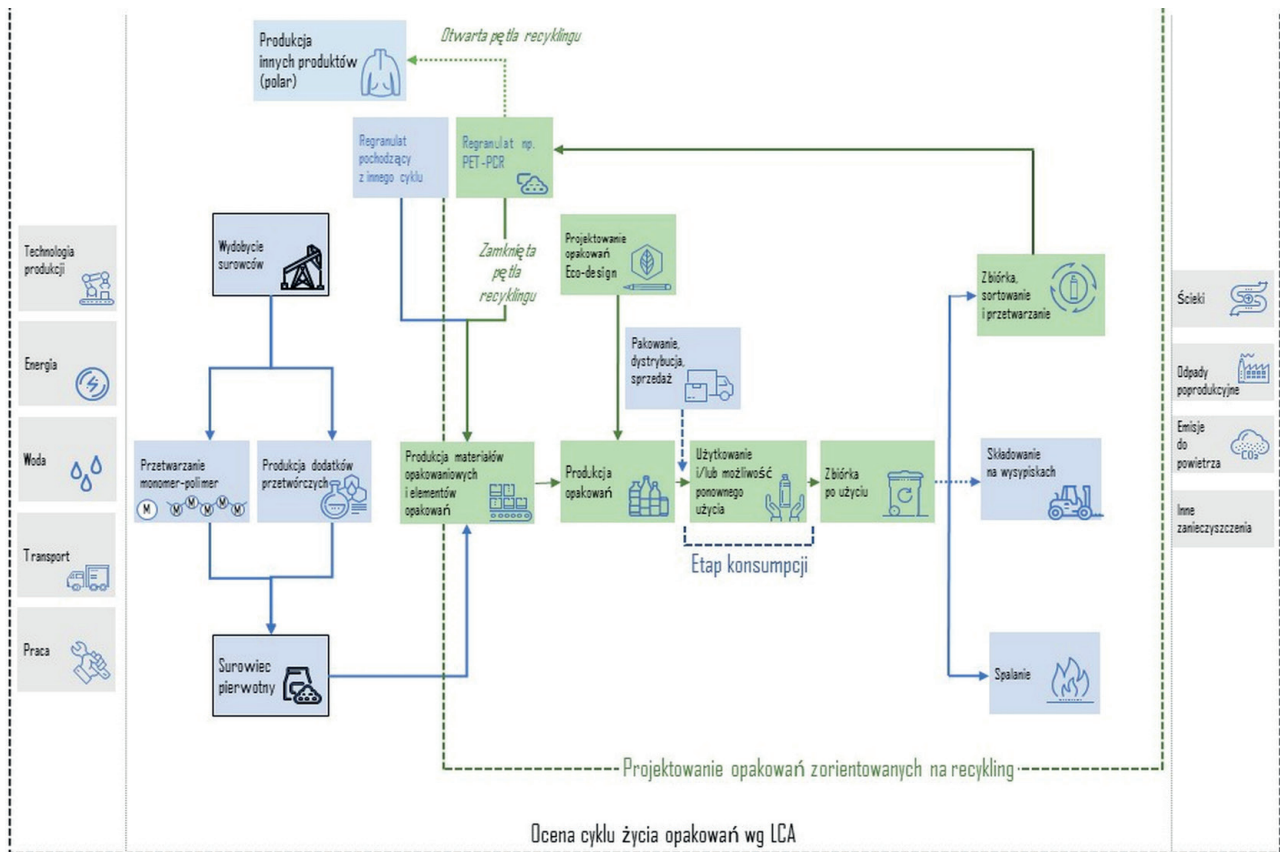
Modelowe procesy recyklingu powinny stanowić punkt wyjścia do projektowania i rozwijania linii do recyklingu, dostępnych na skalę przemysłową, ale także współgrać z całym łańcuchem odzyskiwania: od zbierania, sortowania, poprzez mycie, rozdrabnianie, separację i/lub kompatybilizację, prowadzącego do zmniejszenia zanieczyszczeń w surowcu wtórnym [21, 22].

Zdolność do recyklingu jest istotną cechą wyrobu, parametrem oceny jakości surowca, odnoszącą się m.in. do technicznej możliwości wyseparowania frakcji polimerowej ze strumienia odpadów zmieszanych, w celu przekształcenia jej w nowy produkt. Stosuje się różne sposoby i metody oceny recyklingowej opakowań, uwzględniające np. tylko proces recyklingu lub, w ujęciu szerszym, wykorzystujące analizę cyklu życia produktu (LCA) lub ślad węglowy. Ocena ekologiczna wyrobów, w tym opakowań z tworzyw sztucznych, uwzględnia fazę pozyskiwania surowca, produkcji i zagospodarowania. Przykładowy scenariusz ścieżki projektowania opakowania przeznaczonego do recyklingu w całym cyklu życia przedstawia rys. 2 [23, 24].

Określenie możliwości recyklingu stanowi tylko część oceny ekologicznej składającej się z kilku etapów, na których ocenia się różne aspekty opakowania jako produktu i potencjalnego odpadu.

Pierwszy z etapów dotyczy rodzaju stosowanego materiału opakowaniowego, sposobu połączeń z innymi materiałami (m.in. klejenie, laminowanie), wielkości, kształtu i formy konstrukcyjnej, rodzaju etykietowania i wielkości etykiety (w tym etykiet termokurczliwych, tzw. *shrink sleeve*) lub zadruku oraz rodzaju zamknięcia opakowania (korek, zakrętka, *easy open, peel & reseal, child resistant closures* i inne). Na kolejnym etapie dokonuje się optymalizacji cech ograniczających przydatność do recyklingu, np.: zastąpienie etykiet o gęstości > 1 g/cm³, np. PVC, PS, metalizowanych, o wysokim stopniu zadrukowania etykietami o gęstości < 1 g/cm³, np. PE, PP, OPP; unikanie stosowania prodegradantów; ograniczenie użycia środków barierowych, np. EVOH o zawartości > 5% mas.; organicznie nadmiernego zadruku opakowań i etykiet na rzecz etykiet transparentnych [25].

Kolejnym etapem jest, dokonywana na podstawie dokładnej identyfikacji konstrukcyjno-materiałowej, ana-



Rys. 2. Schemat projektowania opakowań dla recyklingu w perspektywie cyklu życia produktu [23, 24], opracowanie graficzne: Enesa Agovich

Fig. 2. Scheme of packaging design for recycling in the perspective of the product life cycle [23, 24], graphic design: Enesa Agovich

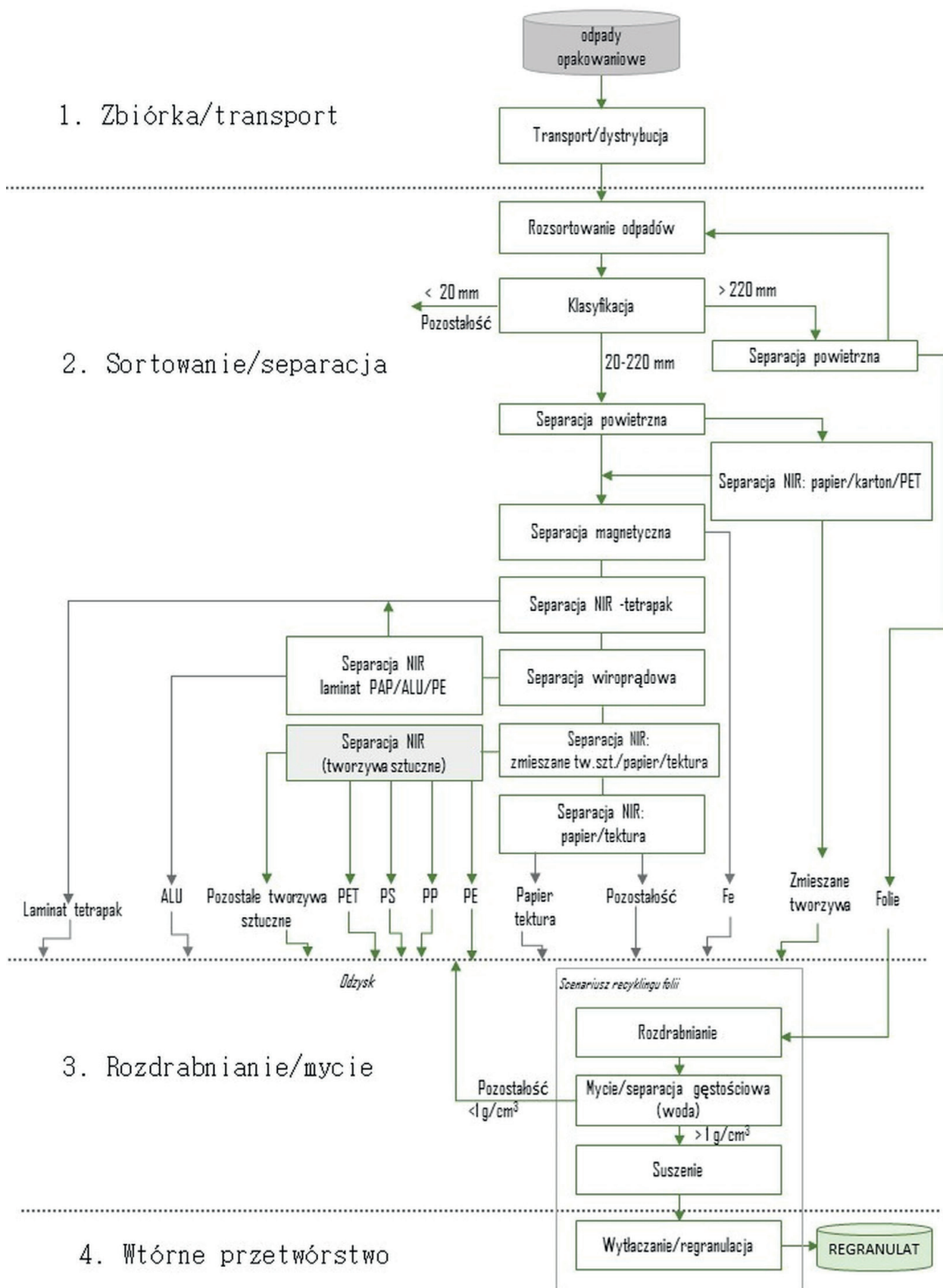
liza obciążeń środowiskowych opakowania (ang. *environmental impact of packaging*), skupiająca się na analizie procesów jednostkowych związanych z przepływami elementarnymi i produktowymi. Metoda oceny cyklu życia oraz narzędzia powiązane służą do oceny potencjalnego wpływu na środowisko w odniesieniu do konkretnego sposobu realizacji danej funkcji [26], w wypadku opakowań funkcji ochronnej zapakowanego produktu.

Projektowanie uwzględniające możliwość recyklingu ma na celu zmniejszanie obciążeń środowiskowych opakowania w całym cyklu życia w wyniku ograniczenia zużycia materiałów i energii oraz wytwarzania odpadów, ograniczenia stosowania substancji niebezpiecznych oraz zmian w produkcji opakowań. Recykling opakowań z tworzyw sztucznych realizowany w zamkniętej pętli materiałowej oznacza cyrkulację, w której tworzywo z recyklingu nie tylko zastępuje tworzywo pierwotne (ang. *virgin polymer*), ale również jest wielokrotnie wykorzystywane w identycznych zastosowaniach pierwotnych. Ocena podatności recyklingowej opakowań z tworzyw sztucznych zapewnia również włączenie do obiegu materiałowego recyklatów o niższej jakości, co dowodzi elastyczności działania systemu recyklingu, w tym optymalnego wykorzystania surowców wtórnych, zanim zostaną przeznaczone do utylizacji na drodze spalania (odzysku energetycznego).

Przykładem takiego cyklu jest produkcja regranulatów na bazie poliolefin pochodzących z odpadów opakowaniowych, i następną ich zastosowanie do otrzymywania kolejnych wyrobów, np.: doniczek, mebli ogrodowych, zabezpieczających i amortyzujących elementów opakowaniowych z tworzyw sztucznych musi uwzględniać ich recykling i zapewniać łatwość wielokrotnego przetworstwa (recykulacji), gwarantującego przepływ surowców w obiegu zamkniętym.

PRZYDATNOŚĆ OPAKOWANIA DO RECYKLINGU

Przydatność do recyklingu opakowania danego materiału polimerowego lub grupy materiałów polimerowych, można określić za pomocą oceny procesów odniesienia, na końcu których powstaje surowiec wtórny np. regranulat. Metodę oceny materiału w aspekcie jego przydatności do recyklingu, popartą certyfikatem (*Certificate Recyclability of Packaging*), opracowano w Instytucie cyclo-HTP w Aachen, Niemcy [27]. W metodzie tej na podstawie określonych kryteriów dokonuje się klasyfikacji opakowania pod względem stopnia przetwarzalności (ang. *degree of recyclability*). Całkowity wynik analizy wskazuje rzeczywistą przydatność opakowania do recyklingu, ocenianą w skali od 50–100%. Przykładowo opakowanie kla-



Rys. 3. Scenariusz procesu recyklingu materiałowego folii, na podstawie [27], opracowanie graficzne: Enesa Agovich
 Fig. 3. The scenario of the foils recycling path, based on [27], graphic design: Enesa Agovich

sy A gwarantuje stopień przetwarzalności na poziomie 70–90%, a klasy AAA na poziomie >95% [27].

Przykładowy scenariusz procesu recyklingu folii przedstawia rys. 3 [27].

Trzeba zauważyć, że analiza pod względem przydatności do recyklingu powinna się odnosić do opakowania w stanie, w którym zostanie ono przekazane do przetworzenia. Jeśli więc opakowanie poużytkowe zawiera ślady pakowanego produktu (np. żywności, detergentu), zadruk i zdobienia, wymaga demontażu (oddzielenia elementów), mycia lub innych dodatkowych czynności, materiał opakowania zawiera dodatkowe składniki, to należy to uwzględnić w analizie tak, aby obejmowała ona faktyczne operacje i umożliwiała pełną ocenę zasadności technologicznej i ekonomicznej planowanego procesu. Proces recyklingu nie może prowadzić do pogorszenia jakości surowca do nieakceptowalnego poziomu ani generować nieproporcjonalnie wysokich kosztów.

W liniach do sortowania opakowań możliwości urządzeń do identyfikacji tworzyw sztucznych często są ograniczone, dlatego tak ważne jest stosowanie rozwiązań technologicznych i surowcowych umożliwiających produkcję opakowań „rozpoznawalnych” przez systemy identyfikacji w sortowniach. Błędy w identyfikacji odpadów opakowaniowych na etapie sortowania mogą wynikać m.in. z:

- powlekania opakowań „innym” materiałem, np. PAP/Al (bariera dla separatorów prądów wirowych),
- stosowania zbyt ciemnych kolorów (czarnych) opakowań, np. czarne/brązowe tacki PP lub czarne/brązowe tacki PET (brak detekcji),
- wykorzystywania wielomateriałowych laminatów, w których zewnętrzne i wewnętrzne powierzchnie składają się z różnych materiałów, np. łącznie poliolefin z niekompatybilnymi polimerami (PVC, PET, PS) (błędna detekcja, sortowanie NIR),
- stosowania kopolimerów np. EVOH i napełniaczy [28].

Wiele przykładów błędów sortowania w liniach automatycznych (tzw. błędów systematycznych) dotyczy laminatu wielomateriałowego do pakowania produktów płynnych, np. mleka i soków, składającego się z połączonych w wyniku klejenia, wielu powtarzających się warstw polietyleny, aluminium i papieru (PE/ALU/PAP). Na przykład papier pokryty folią LDPE znajduje się w zakresie referencyjnym sortowania laminatu PE/ALU/PAP. Natomiast laminaty PE/ALU/PAP, z powodu obecności wewnętrznej powłoki aluminiowej są błędnie rozpoznawane przez separator prądów wirowych jako metale nieżelazne [28].

Pomimo dostępnych systemów automatycznej identyfikacji materiałów nie jest możliwe całkowite zrezygnowanie z ręcznego sortowania, które nadal jest uważane za konieczne, wydajne, elastyczne i tanie. Sortowanie z wykorzystaniem linii automatycznych wymaga znacznych nakładów finansowych oraz „uczącej się” technologii, która może być modyfikowana w zależności od zmian materiałów pochodzących z rynku. Nowoczesne

linie recyklingu pozwalają na zaawansowaną segregację surowców, w której są stosowane techniki detektorowe: detekcji optycznej, identyfikacji spektroskopowej (NIR), przewodnictwa elektrycznego, separacji metali ferromagnetycznych, separacji na podstawie różnic gęstości i inne.

W ekoprojektowaniu opakowań należy opracować zestaw dobrych praktyk stanowiących punkt wyjścia dla projektantów, którzy, poza przesłankami związanymi z warstwą estetyczną i użytkową, powinni dążyć do projektowania opakowań krążących w zamkniętych pętlach recyklingu. Opakowania zrównoważone [29] zgodnie z zasadami ekoprojektowania [11] nie są więc już ani ciekawostką, ani modą, ale koniecznością coraz szerzej regulowaną prawnie.

Przykładowy zestaw praktycznych rozwiązań w zakresie opakowań z tworzyw sztucznych, projektowanych z przeznaczeniem do recyklingu, powinien obejmować [11]:

- zapobieganie na etapie projektowania produktów konsumpcyjnych konieczności stosowania nadmiernej ilości opakowań,
- projektowanie i produkowanie rozwiązań opakowaniowych (w tym: opakowanie bezpośrednio, etykieta, zamknięcie, opakowania zbiorcze) zawierających monomateriały,
- projektowanie opakowań o zmniejszonej masie i objętości,
- stosowanie standardowych materiałów polimerowych, w odniesieniu do których są powszechnie dostępne systemy zagospodarowania i recyklingu,
- stosowanie materiałów transparentnych (łatwych do automatycznego sortowania), ograniczanie barwienia tworzyw, w szczególności użycia koloru czarnego,
- produkowanie materiałów opakowaniowych zawierających co najmniej 90% standardowych tworzyw sztucznych, takich jak: polietylen (PE), polipropylen (PP) i poli(tereftalan etylenu) (PET),
- unikanie stosowania wielomateriałowych laminatów, których nie można rozdzielić, promowanie rozwiązań jednomateriałowych (ang. *mono-material solutions*),
- wykorzystanie technologii współwytłaczania w celu zmniejszenia całkowitej grubości i masy opakowań, technologii wtryskiwania gorąco-kanalowego (brak wlewków),
- zintegrowanie surowca wtórnego z polimerem pierwotnym (PCR, ang. *Post Consumer Recycled*) i stosowanie go wszędzie tam, gdzie to możliwe,
- ograniczenie użycia polimerów trudnych do recyklingu, szczególnie spienionych (ang. *critical polymers*), tj.: PVC, PVDC, EPS [28].

ZNAKOWANIE PRODUKTU VS. ZNAKOWANIE OPAKOWAŃ

Obowiązujące wymagania prawne w zakresie znakowania żywności, kosmetyków i farmaceutyków gwarantują konsumentom dostęp do szerokiego zakresu rzetel-

nych informacji o produkcie konsumpcyjnym, natomiast niedostateczną są regulowane kwestie dotyczące sposobu znakowania opakowań. Znakowanie ekologiczne opakowań może czasem wprowadzać konsumenta w błąd, ponieważ nie odnosi się ono do wszystkich elementów opakowania, przez co konsument nie ma pewności czego dotyczy: butelki, etykiety czy zakrętki.

Znaki identyfikujące materiał opakowaniowy są opisane w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 23 kwietnia 2004 r. w sprawie określenia wzorów oznakowania opakowań (Dz. U. 2004, nr 94, poz. 927) [30]. Ustawa z 18 grudnia 2003 r. zmieniająca ustawę o opakowaniach i odpadach opakowaniowych (Dz. U. Nr 11/2004, poz. 97) wprowadziła po 1 maja 2004 r. dobrowolność znakowania [31]. Od 1 maja 2004 r. do 31 grudnia 2014 r. obowiązywało Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie określania wzorów oznakowania opakowań (Dz. U. Nr 94, poz. 927). Obecnie zarówno producent, importer, jak i dokonujący wewnątrzwspólnotowego nabycia opakowań mogą je znakować. Podmioty, które znakują opakowania są obowiązane stosować oznakowanie określające: rodzaj materiałów wykorzystanych do produkcji opakowania, możliwość wielokrotnego użytkowania opakowania i przydatność opakowania do recyklingu.

REGRANULATY NARZĘDZIEM PRZEWAGI KONKURENCYJNEJ PRODUCENTÓW OPAKOWAŃ

Jednym z czynników skłaniających konsumenta do wyboru produktów proekologicznych jest informacja, że do ich wytwarzania wykorzystano materiały pochodzące z recyklingu (regranulaty) [11]. Producenci opakowań z tworzyw sztucznych coraz częściej zapowiadają zwiększenie ilości recyklatów poużytkowych (PCR) w produkcji wyrobów opakowaniowych. Przykładowo, brytyjski koncern Coca-Cola Company zadeklarował, że do 2020 r. zawartość wtórnego PET w butelce wzrośnie do 50%. Japońska firma Suntory Group zadeklarowała produkcję butelek wytworzonych w 100% z regranulatów [23], również firma Nestle produkuje butelki do napojów gazowanych w technologii *bottle to bottle*. Dzięki systemowi dostaw wysokiej jakości rPET jest możliwe produkowanie butelek o zawartości 50% rPET, a nawet 100% rPET. Wprowadzenie butelek z udziałem rPET jest kamieniem milowym w innowacyjnym podejściu do zagospodarowania i powtórnego wykorzystania odpadów opakowaniowych i zaangażowania w Gospodarkę o Obiegu Zamkniętym [24]. Firma GTX Hanex Plastic produkuje folię wielowarstwową rPET, składającą się w 70% z recyklatów pochodzących z recyklingu pokonsumenckiego (PCR) i przemysłowego (PIR) (ang. *Post Industry Recycled*), która spełnia wymagania normy dotyczącej kontaktu opakowania z żywnością [32]. Na polskim rynku można znaleźć wiele firm opakowaniowych wykorzystujących innowacyjne rozwiązania w technologiach recyklingu, np. Grupa KGL produkująca folię z regranulatu (rPET) [33]. Koncern Procter & Gamble

poinformował o stosowaniu recyklatów do produkcji swoich opakowań w znacznie większej skali niż dotychczas. Nowe opakowania koncernu od 2016 r. zawierają do 50% materiałów powstałych z PCR. Koncern P&G zadeklarował działania na rzecz zmniejszenia o 50% do 2030 roku zużycia ropy naftowej w wyniku ograniczenia produkcji opakowań z surowców pierwotnych pochodzących z ropy naftowej. P&G Fabric Care Brands w Europie produkuje butelki do płynu Ariel zawierające 25% PCR, butelki do płynu Lenor zawierające 50% PCR, transparentne butelki do płynu do mycia naczyń Fairy zawierające 25% PCR [34]. Firma Ampacet opracowała nowy materiał opakowaniowy w kolorze czarnym REC-NIR-BLACK, rozpoznawalny przez systemy do separacji techniką NIR, który to podczas *Plastics Recycling Awards Europe 2019* w Amsterdamie został nazwany innowacją technologiczną roku [35]. Firma TOMRA opracowała system segregacji opartej na laserowej identyfikacji czarnych opakowań, które nie są wykrywalne przez konwencjonalne separatory oparte na NIR. Podczas wstępnej segregacji tworzyw dochodzi do odseparowania i utworzenia strumienia tylko czarnych materiałów, które zwykle trafiają do strumienia pozostałości [36]. Rozwijanie takich nowych technologii wspierających procesy recyklingu tworzyw sztucznych pozwala na ograniczenie ilości i rodzaju tworzyw, które dotychczas były eliminowane z obiegu jako nienadające się do powtórnego przetwarzania. Współpraca Borealis i Henkel obejmuje produkcję butelek w kolorze czarnym składających się w 100% z PCR [37]. Rozwój nowych zrównoważonych materiałów opakowaniowych z regranulatów nie byłby możliwy bez innowacyjnych rozwiązań technologicznych proponowanych np. przez firmę Erema. Przykładowo technologia INTAREMA TVEplus pozwala usunąć nieprzyjemny zapach z recyklatów powstających w procesie wytłaczania. Dzięki urządzeniu typu ReFresher jest możliwe wytwarzanie regranulatów pozbawionych nieprzyjemnego zapachu, który często towarzyszy surowcom pozyskiwanym z odpadów opakowaniowych [38]. Podobnie firma Starlinger wprowadza rozwiązania w recyklingu tworzyw sztucznych – proponuje linie do produkcji regranulatów rPET typu *recoSTARPET* (przeznaczonych do pełnego kontaktu z żywnością i spełniających wymagania FDA, EFSA) wyposażone w odpowiednie systemy odgazowania (C-VAC), filtracji i/lub odświeżania oraz granulacji. Firma prezentuje innowacyjne prośrodowiskowe (rECO) podejście, poprawa efektywności energetycznej linii do recyklingu w wyniku zmniejszenia zużycia energii o ok. 10% ma zagwarantować obniżenie kosztów produkcji i zapewnić ograniczenie emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia produktu (przedsiębiorstwa), tzw. ślad węglowy (ang. *carbon footprint*) [39].

PODSUMOWANIE

Na podstawie przeprowadzonej analizy literatury i źródeł internetowych dotyczących współczesnych problemów rynku opakowań z tworzyw sztucznych, będących skut-

kiem wprowadzonego ustawodawstwa obejmującego kraje Unii Europejskiej, stwierdzono, że: wprowadzenie założeń GOZ generuje korzyści na poziomie zarówno środowiskowym, jak i ekonomicznym. Konieczne i priorytetowe jest jednak udoskonalanie istniejących i inwestowanie w rozwój nowych technologii recyklingu. Szereg trudności technologicznych dotyczących ponownego wykorzystania opakowań użytkowych jako pełnowartościowego surowca wtórnego wymusza wypracowanie dla projektantów i producentów opakowań dobrych praktyk branżowych, przydatnych z punktu widzenia recyklingu materiałowego. W tym celu środowiska naukowe (na drodze edukacji), jak i przemysłowe (na drodze pro-środowiskowych kampanii reklamowych) podjęły wspólne działania w zakresie opracowania efektywnego systemu Gospodarki o Obiegu Zamkniętym opakowań polimerowych. Efektywność wymiany wiedzy i dobrych praktyk stosowanych przez projektantów oraz producentów materiałów opakowaniowych i opakowań w ramach tworzonych platform będą stanowić o tempie i jakości wprowadzanych zmian.

Prezentowane wyniki badań, zrealizowane w ramach zadania badawczego nr 02/25/SBAD/4630, sfinansowano z subwencji na finansowanie Badań Naukowych.

LITERATURA

- [1] <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm> (data dostępu 22.07.2019).
- [2] <https://sustainabilityguide.eu/sustainability/circular-economy/> (data dostępu 22.07.2019).
- [3] Rezolucja Parlamentu Europejskiego z dnia 13 września 2018 r. w sprawie europejskiej strategii na rzecz tworzyw sztucznych w Gospodarce o Obiegu Zamkniętym [2018/2035(INI)].
http://www.europarl.europa.eu/doceo/document/TA-8-2018-0352_PL.html?redirect (data dostępu 10.06.2019).
- [4] http://igoz.org/wp/wp-content/uploads/2017/04/Polska_droga_do_GOZ_IGOZ.pdf (data dostępu 22.07.2019).
- [5] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2918/851 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2008/98/WE w sprawie odpadów (data dostępu 10.06.2019).
- [6] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/850 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 1999/31/WE w sprawie składowania odpadów (data dostępu 10.06.2019).
- [7] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/852 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 94/62/WE w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych (data dostępu 10.06.2019).
- [8] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/849 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2000/53/WE w sprawie pojazdów wycofanych z eksploatacji, 2006/66/WE w sprawie baterii i akumulatorów oraz zużytych baterii i akumulatorów i 2012/19/UE w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (data dostępu 10.06.2019).
- [9] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2019/904 z dnia 5 czerwca 2019 r. w sprawie zmniejszenia wpływu niektórych produktów z tworzyw sztucznych na środowisko, Directive (EU) 2019/904 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on the reduction of the impact of certain plastic products on the environment (data dostępu 02.09.2019).
- [10] Sielicka M., Assman K.: *Opakowanie* 2017, 1, 64.
- [11] „Opakowania. Jak projektować żeby recyklingować?”, Rekopól Organizacja Odzysku Opakowań S.A. 2017, str. 3, 17.
- [12] Siracusaa V., Rocculi P., Romani S., Rosa M.D.: *Trends in Food Science & Technology* 2008, 19, 634.
- [13] Trinetta V.: *Reference Module in Food Science* 2016.
- [14] Wróblewska-Krepsztul J., Rydzkowski T., Borowski G. i in.: *International Journal of Polymer Analysis and Characterization* 2018, 23, 383.
- [15] Assman K.: „Nowoczesne materiały polimerowe i ich przetwórstwo. Część 3” (red. Klepka T.), Monografie – Politechnika Lubelska 2017, ISBN 9788379473007, str. 51–70.
- [16] PN-EN 13432:2002 Opakowania. Wymagania dotyczące opakowań przydatnych do odzysku przez kompostowanie i biodegradację. Program badań i kryteria oceny do ostatecznej akceptacji opakowań.
- [17] Sykutera D., Bieliński M.: *Polimery* 2014, 59, 602.
<http://dx.doi.org/10.14314/polimery.2014.602>
- [18] Czarnecka-Komorowska D., Wiszumirska K., Garbacz T.: *Advances in Science and Technology Research Journal* 2018, 12 (3), 134.
- [19] Dahlbo H., Poliakova V., Myllari V.: *Waste Management* 2018, 71, 52.
- [20] ISO 15270 Plastics. Guidelines for the recovery and recycling of plastics waste.
- [21] Maris J., Bourdon S., Brossard J.-M. i in.: *Polymer Degradation and Stability* 2018, 147, 245.
- [22] Hopewell J., Dvorak R., Kosior E.: *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 2009, 364, 2115.
- [23] <https://www.suntory.com/softdrink/company/sustainability/environment/2rb/index.html> (data dostępu 20.05.2019).
- [24] <https://www.nestle.com/media/news/valvert-launch-water-bottle-100-percent-recycled-plastic>
- [25] https://www.easyfairs.com/fileadmin/groups/6/EMPACK_BE_2018/7_-_fost_plus.pdf (data dostępu 30.06.2019).
- [26] Lewandowska A.: *Acta Innovations* 2019, 30, 76.
- [27] Raport: Verification and examination of recyclability. Requirements and assessment catalogue of the Institute cyclos-HTP for EU-wide certification, Revision 3.7, 2019 (data dostępu 20.05.2019).
- [28] Anonim, *Plastics Review* 2019, 5, 4.

- [29] Żakowska H.: „Opakowania a środowisko”, PWN 2017.
- [30] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 kwietnia 2004 r. w sprawie określenia wzorów oznakowania opakowań (Dz. U. 2004, nr 94, poz. 927).
- [31] Ustawa z dnia 18 grudnia 2003 r. o zmianie ustawy o opakowaniach i odpadach opakowaniowych (Dz. U. Nr 11/2004, poz. 97) wprowadzona po 1 maja 2004 r.
- [32] <https://www.hanex.com.pl/ekologia> (data dostępu 20.05.2019).
- [33] <http://www.kgl.pl/wp-content/uploads/2016/06/Strategia-full-wersja.pdf> (data dostępu 20.05.2019).
- [34] <https://news.pg.com> (data dostępu 27.06.2019).
- [35] <https://www.ampacet.com/henkel-introduces-recyclable-black-plastic-packaging-with-ampacet> (data dostępu 20.05.2019).
- [36] <https://www.tomra.com/en/sorting/recycling/newsletter-in-the-loop/2017/autosort-black-launches-soon> (data dostępu 02.09.2019)
- [37] <https://www.borealisgroup.com/news/cooperation-by-borealis-and-henkel-produces-plastic-bottle-and-nozzle-composed-100-of-post-consumer-recycled-material> (data dostępu 20.05.2019).
- [38] https://www.ereima.com/assets/media_center/folder/ReFresher_2017_04_EN_mon.pdf (data dostępu 20.05.2019).
- [39] <https://www.starlinger.com/en/recycling/recostar-product-line/optional-equipment> (data dostępu 20.05.2019).

Otrzymano 3 IX 2019r.

W kolejnym zeszycie ukaza się m.in. następujące artykuły:

L. Wianowski, A. Białkowska, L. Dobrowolski, I. Zarzyka – Fizyczne środki spieniające stosowane do poliuretanów (*j. ang.*)

M. Burzynski, S. Paszkiewicz, E. Piesowicz, I. Irska, K. Dydek, A. Boczkowska, S. Wysocki, J. Sieminski – Wpływu dodatku nanorurek węglowych oraz nanorurek haloizytowych na otrzymywanie oraz charakterystyki reologiczne liniowego polietylenu małej gęstości (*j. ang.*)

A. Kościuszko, P. Czyżewski, Ł. Wajer, A. Ościak, M. Bieliński – Właściwości kompozytów polipropylenowych napęcznionych odpadową mikrokrzemionką (*j. ang.*)

M. Noryani, S.M. Sapuan, M.T. Mastura, M.Y.M. Zuhri, E.S. Zainudin – Wnioskowanie statystyczne w wyborze materiału osnowy polimerowej kompozytów z włóknami naturalnymi (*j. ang.*)

N.M. Nurazzi, A. Khalina, M. Chandrasekar, H.A. Aisyah, S.A. Rafiqah, R.A. Ilyas, Z.M. Hanafee – Wpływ orientacji włókien palmy cukrowej i ich zawartości na właściwości mechaniczne i termiczne kompozytów na bazie nienasyconej żywicy poliestrowej (*j. ang.*)

J. Wojturska – Wpływ budowy chemicznej przedłużacza łańcucha na degradację enzymatyczną elastomerów poliuretanowych otrzymanych z wykorzystaniem węglowodanów (*j. ang.*)

S. Wysocki, M. Gaczol, R. Wiśniowski – Polimerowy środek strukturotwórczy do sporządzania płuczki wiertniczej (*j. ang.*)