

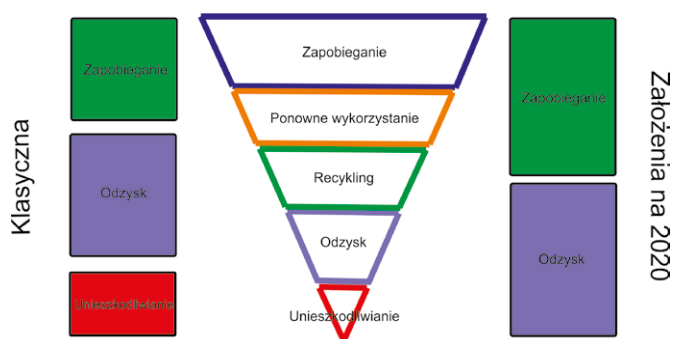
# Zintegrowany system zagospodarowania tworzyw sztucznych ze strumienia odpadów komunalnych

Monika Czop

## Wprowadzenie

Racjonalne wykorzystanie zasobów naturalnych i zapewnienie zrównoważonej gospodarki odpadami jest priorytetem europejskiego ustawodawstwa. Dyrektywa Ramowa o odpadach zakłada elastyczne stosowanie hierarchii odzysku (*Reduce, Reuse, Recycle, Recover*) [1, 2, 3].

Głównym założeniem Dyrektywy [2] jest tworzenie środków prawnych promujących ideę „społeczeństwa recyklingu”, dążącego do ograniczenia wytwarzania odpadów i do wykorzystywania ich jako zasobów surowcowych, materiałowych oraz energetycznych (rys. 1). Zrealizowanie tak sprecyzowanego założenia wymaga przede wszystkim zapewnienia segregacji „u źródła” oraz zbierania i recyklingu priorytetowych strumieni odpadów, np. tworzyw sztucznych, papieru, metali itp.



Rys. 1. Hierarchia postępowania z odpadami [2, 3, 4]

Rosnąca ilość odpadów komunalnych jest jednym z poważniejszych problemów stojących przed państwami członkowskimi Unii Europejskiej. Większość wytwarzanych odpadów komunalnych w krajach UE-28 jest degradowana termicznie lub deponowana na składowiskach [1-4].

W 2013 roku w państwach członkowskich Unii Europejskiej (EU-28) sumarycznie wytworzono 243,3 mln Mg odpadów komunalnych. Najwięcej odpadów komunalnych wytworzono w Niemczech. Szacuje się, że było to ponad 49 mln Mg. We Francji, plasującej się na drugim miejscu, wytworzono ponad 35 mln Mg odpadów komunalnych. Znaczna masa odpadów komunalnych powstała w Turcji, we Włoszech i w Wielkiej Brytanii.

Wśród państw członkowskich UE-28 najmniejszą ilość odpadów komunalnych wytworzono na Malcie (241 tys. Mg), w Luk-

**Streszczenie:** Zintegrowane i racjonalne zagospodarowanie tworzyw sztucznych odzyskiwanych ze strumienia odpadów komunalnych stanowi poważny problem. Zagadnienie to, postrzegane dotychczas jako problem lokalny, nabrało znaczenia globalnego. Polska, podobnie jak inne kraje Unii Europejskiej, boryka się z problemem kompleksowego zagospodarowania gwałtownie rosnących ilości tych odpadów, gromadzonych często na „dzikich wysypiskach”. Artykuł porusza problemy związane z systemem gospodarki odpadowymi tworzywami sztucznymi z sektora komunalnego. Jego celem jest próba przedstawienia możliwości zagospodarowania tworzyw sztucznych drogą stopniowej eliminacji metody deponowania. W artykule przedstawiono informacje dotyczące produkcji, zapotrzebowania oraz stopnia odzysku odpadowych tworzyw sztucznych w Polsce oraz Europie.

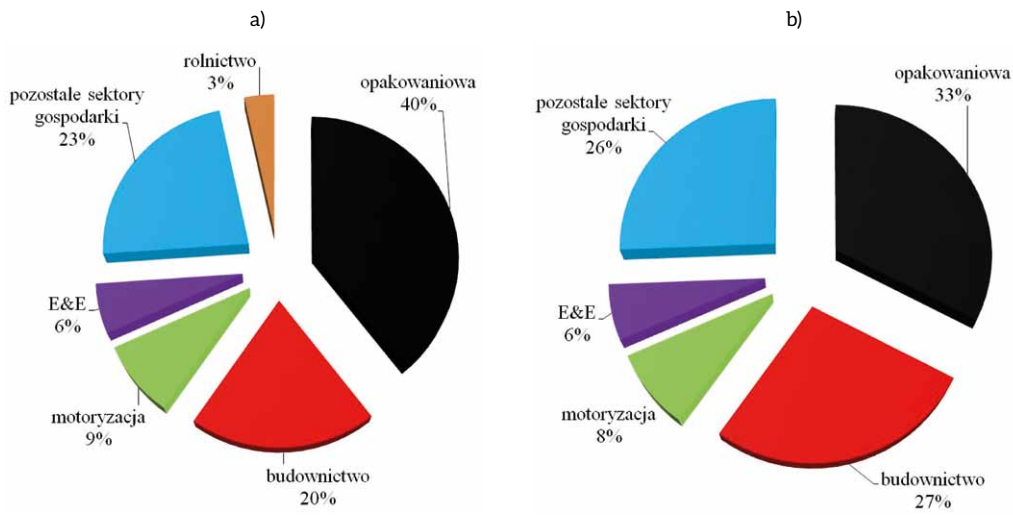
Słowa kluczowe: odpady komunalne, tworzywa sztuczne, zagospodarowanie, recykling, odzysk energii, składowanie.

## INTEGRATED SYSTEM OF MANAGEMENT OF PLASTICS FROM THE MUNICIPAL WASTES STREAM

**Abstract:** Integrated and rational management of plastics recovered from the stream of municipal wastes poses a serious problem. The issue considered so far as a local problem got a global meaning. Poland, just like other European Union countries, fights with the problem of complex management of fast growing amounts of these wastes, often deposited in illegal landfills. The article deals with the issues related to the management system of plastic wastes from the municipal sector. The purpose of the article is to try to present directions of plastic wastes management with the goal to gradually eliminate their depositing. The article presents information concerning production, demand and recovery level of plastic wastes in Poland and Europe.

Keywords: municipal waste, plastics, management, recycling, energy recovery, deposit.

semburgu (355 tys. Mg) i Estonii (ok. 386 tys. Mg) [5, 7, 8]. Polska pod względem ilości odpadów komunalnych w 2013 roku zajęła siódme miejsce w UE-28, ze strumieniem rzędu 11,2 mln Mg odpadów. Według danych GUS-u w 2013 roku



**Rys. 2.** Zapotrzebowanie przetwórców na tworzywa sztuczne w roku 2014:  
a) w Europie,  
b) w Polsce [5, 7]

w Polsce zebrano 9473,8 tys. Mg. Najwięcej odpadów komunalnych zebrano w województwach: mazowieckim (1432,3 tys. Mg), śląskim (1455,4 tys. Mg), dolnośląskim (1045,3 tys. Mg) i wielkopolskim (945,7 tys. Mg), najmniej w województwach: świętokrzyskim (199,6 tys. Mg), podlaskim (251,2 tys. Mg) i opolskim (275,8 tys. Mg) [5, 7, 8].

W 2013 roku w krajach UE-28 przypadało na jednego mieszkańca 481 kg odpadów komunalnych. W tym samym okresie w Polsce na jednego mieszkańca przypadało około 297 kg wytworzonych odpadów komunalnych, natomiast biorąc pod uwagę ilość zebranych odpadów, to w przeliczeniu na jednego mieszkańca przypada ok. 246 kg.

W 2013 roku odnotowano wzrost udziału odpadów zebranych selektywnie w ogólnej ilości zebranych odpadów komunalnych z 10,5% w 2012 roku do 13,5%. Dane GUS-u podają, że na jednego mieszkańca Polski w 2013 roku przypadało około 5,7 kg zebranych selektywnie odpadów tworzyw sztucznych. Daje to strumień o 23,9% większy w porównaniu do 2012 roku.

Jednym z ważnych zadań, które stoi przed infrastrukturą komunalną, jest racjonalne wykorzystanie zasobów odpadów tworzyw sztucznych. Szacuje się, że średnia zawartość odpadów tworzyw sztucznych w zmieszonym strumieniu komunalnym waha się w granicach od 16,7% w centrach miast, do ok. 12% w zabudowie jednorodzinnej [4,5,6].

W strumieniu zmieszanych odpadów komunalnych dominują tzw. „tworzywa miękkie” w postaci worków foliowych (średnio ok. 50%), z czego połowę stanowią odpady opakowaniowe. Pozostałe odpady opakowaniowe, tzw. „tworzywa twarde”, stanowią we frakcji grubej (>100 mm) 22%, a we frakcji 100–40 mm udział rzędu ok. 16%. Pozostałe opakowania z tworzyw sztucznych, które z uwagi na zawarte zanieczyszczenia posiadają niewielką przydatność do recyklingu, stanowią wielkość rzędu 22%.

Można zaryzykować stwierdzenie, że strumień odpadów komunalnych, zbieranych selektywnie jak i zmieszanych, jest cennym źródłem surowców wtórnych [5, 6, 7].

### 1. Strumień odpadów tworzyw sztucznych

Faktem jest, że przez ostatnie 150 lat tworzywa sztuczne umożliwiały wprowadzanie innowacji oraz przyczyniały się

do rozwoju społeczeństwa i wzrostu jego dobrobytu. Tworzywa sztuczne umożliwiły między innymi realizację budynków o zerowym zapotrzebowaniu energetycznym, przyczyniły się do wydłużenia trwałości produktów oraz wspomogły rozwój ekologicznych form transportu.

Tworzywa sztuczne znalazły szerokie zastosowanie w nowoczesnych technikach medycznych, na przykład do odblokowywania naczyń krwionośnych, wytwarzania sztucznej rogówki oka czy w produkcji nowoczesnych aparatów słuchowych [7, 8].

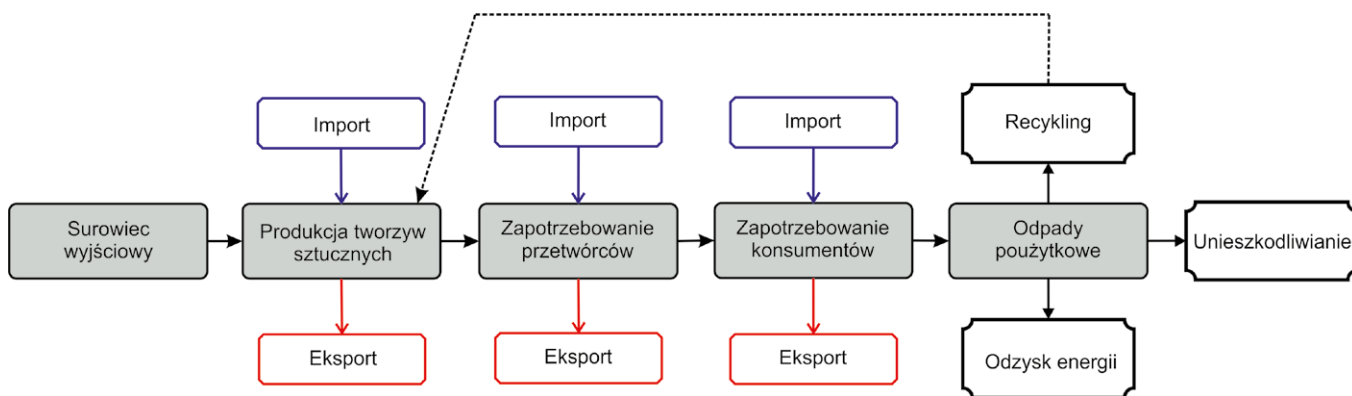
Bez tworzyw sztucznych nie powstałoby wiele sprzętów ochronnych, np. kasków, kombinezonów strażackich czy kamizelek kuloodpornych. To dzięki tworzywom można pokonywać z powodzeniem kolejne ograniczenia codzienności.

Można stwierdzić, że tworzywa sztuczne jako surowiec znalazły bardzo szerokie spektrum zastosowania we wszystkich branżach gospodarki. Taki stan jest możliwy dzięki ich różnorodnym, a zarazem unikalnym właściwościom chemicznym i fizycznym oraz możliwości dowolnego ich modyfikowania za pomocą różnych dodatków.

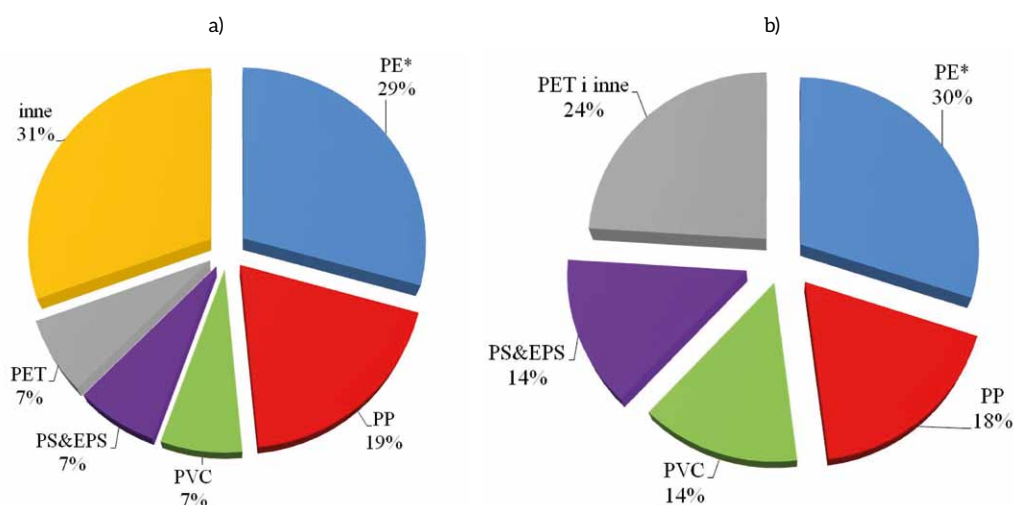
W 2014 roku, zarówno w Europie, jak i w Polsce, największym obszarem zastosowań tworzyw sztucznych był sektor opakowań, który odpowiada za ponad 30% ogólnego zapotrzebowania na tworzywa sztuczne (rys. 2). Drugim obszarem wykorzystania tworzyw sztucznych było budownictwo. Na trzecim miejscu znalazła się branża motoryzacyjna z udziałem ok. 8%. Natomiast przemysł elektryczny i elektroniczny odpowiada za 6% zużycia tworzyw sztucznych. W innych obszarach zastosowań, obejmujących m.in. urządzenia i artykuły gospodarstwa domowego, meble czy wyroby medyczne, łącznie zużywa się ponad 20% europejskiego i polskiego zapotrzebowania na tworzywa sztuczne [7, 8].

Ich główny atut w postaci różnorodności komplikuje sprawy związane z zagospodarowaniem, gdyż większość technologii przeróbki odpadów potrzebuje jednorodnego i znanego tworzywa jako surowca wejściowego [5, 7, 8].

Na rysunku 3 przedstawiono główne etapy cyklu życia tworzyw sztucznych – od produkcji, poprzez zapotrzebowanie ze strony przetwórców, konsumentów, aż po odzysk i unieszkodliwianie. W 2014 roku zapotrzebowanie przetwórców w Europie



Rys. 3. Obieg tworzyw sztucznych w gospodarce (opracowanie własne na podstawie [7])



Rys. 4. Zapotrzebowanie na tworzywa wg rodzajów w 2014 roku: a) w Europie, b) w Polsce [5, 7]

PE\* - suma PE-LD, PE-LLD, PE-HD, PE-MD.

wyniosło 47,8 milionów Mg. Z łącznej ilości tworzyw sztucznych zużytych w Europie w 2014 roku ok. 25 mln Mg zakończyło swój cykl życia w strumieniu odpadów.

W 2014 roku zapotrzebowanie na tworzywa sztuczne w Polsce osiągnęło poziom 3 mln Mg, z czego powstało 1,5 mln Mg odpadów poużytkowych.

Do tzw. „wielkiej piątki” tworzyw sztucznych, które odznaczają się największymi udziałami rynkowymi, należą: polietylen (PE-LD, PE-LLD, PE-HD), polipropylen (PP), polichlorek winylu (PVC), polistyren (stały i spieniony) oraz politereftalan etylenu (PET).

W 2014 roku sumarycznie na wymienione powyżej tworzywa sztuczne przypadało około 73% całego zapotrzebowania w Europie (rys. 4 a). Trzy główne grupy tworzyw sztucznych w rozbiciu na udziały rynkowe to: polietylen (29%), polipropylen (19%) oraz polichlorek winylu (7%) [5, 7, 8].

W Polsce spośród rodzajów tworzyw sztucznych, jakie były przetwarzane, największy udział miały poliolefiny (PE-HD, PE-LD, PE-LLD i PP) stanowiące 48% i polichlorek winylu (PVC), którego udział rynkowy stanowił 14% (rys. 4 b).

W 2014 roku w Unii Europejskiej w pokonsumenckich odpadach znalazło się 25,8 mln Mg odpadowych tworzyw sztucznych. Szacuje się, że 77% tych odpadów powstaje w siedmiu krajach członkowskich: w Niemczech, Wielkiej Brytanii, Fran-

cji, Włoszech, Hiszpanii, Polsce i Holandii, a tylko 1/4, w pozostałych krajach Unii Europejskiej.

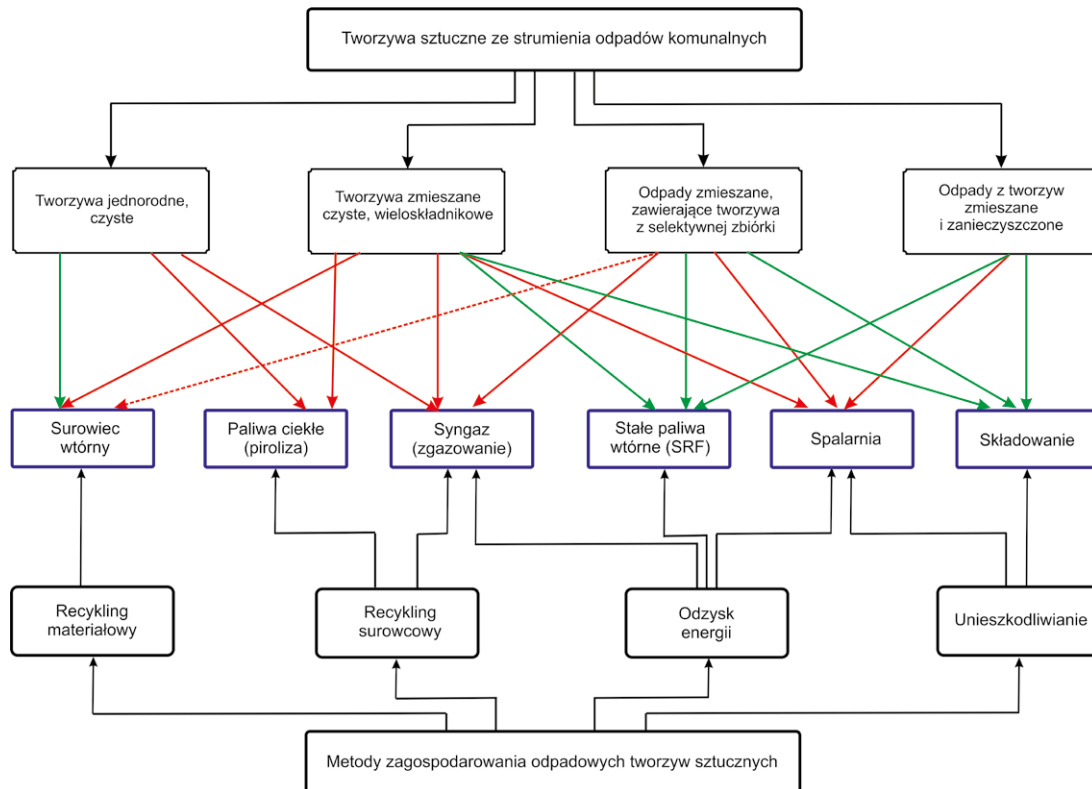
W strumieniu odpadowych tworzyw sztucznych dominują głównie opakowania, które stanowią ok. 62,2% wszystkich odpadów tego typu. Każdy z pozostałych sektorów zastosowań (budownictwo, E&E, motoryzacja, inne) stanowi od 5 do 6% [9, 10].

W 2014 roku w Polsce powstało 1,54 mln Mg pokonsumenckich odpadów z tworzyw sztucznych, z czego 68% stanowiły odpady opakowaniowe [5, 7, 8, 9, 10].

## 2. Metody zagospodarowania odpadowych tworzyw sztucznych

Zgodnie z aktualną tendencją dotyczącą kierunków zagospodarowania odpadowych tworzyw sztucznych głównie zaleca się poddawać je recyklingowi materiałowemu bądź surowcowemu. Jednakże należy pamiętać, że recykling niektórych odpadów, np. niejednorodnych, zmieszanych i zanieczyszczonych, nie zawsze jest uzasadniony pod względem ekonomicznym czy środowiskowym. Odpadowe tworzywa sztuczne, które nie spełniają wymagań technologicznych do recyklingu materiałowego, najczęściej swój cykl życia kończą na składowiskach (rys. 5) [12, 15–16].

Ze względu na cenne właściwości energetyczne tworzywa sztuczne nie powinny być unieszkodliwiane poprzez składowa-



Rys. 5. Sposoby zagospodarowania tworzyw sztucznych ze strumienia odpadów komunalnych (strzałki koloru zielonego przedstawiają realizowane obecnie metody zagospodarowania, strzałki koloru czerwonego przedstawiają możliwe metody)

nie, ponieważ deponowanie przyczynia się do postrzegania ich jako materiałów o zerowej wartości. A jest to duże uproszczenie i zwykle marnotrawstwo cennego źródła energii skumulowanej w odpadowych tworzywach, ponieważ charakteryzują się one wysoką wartością opałową (w przypadku poliolefin dominujących w strumieniu komunalnym jest ona rzędu 42 MJ/kg). Rozpatrując tylko to kryterium, można powiedzieć, że odpadowe tworzywa są bardzo dobrym nośnikiem energii, zbliżonym do ropy naftowej (42–44 MJ/kg) [4, 11, 14].

Zagospodarowanie odpadowych tworzyw sztucznych w państwach członkowskich UE jest obecnie realizowane trzema metodami: recykling, odzysk energii i składowanie.

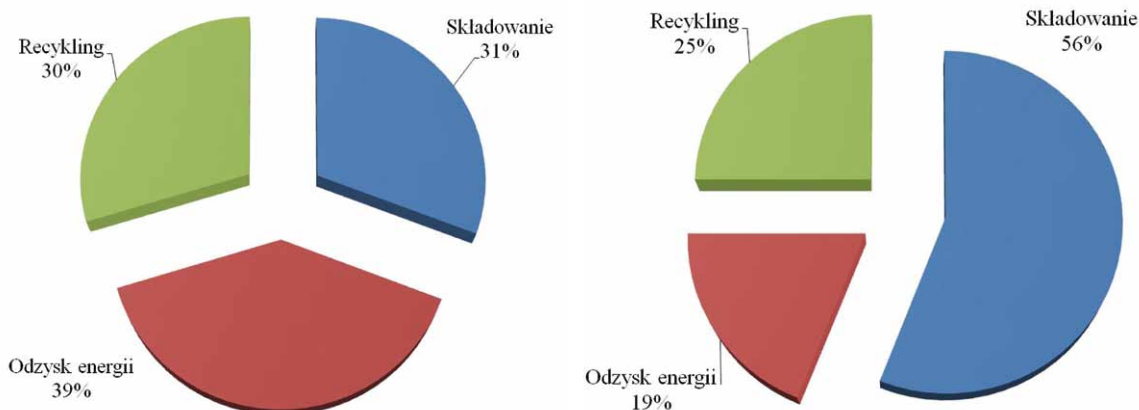
W krajach Unii Europejskiej poziom recyklingu, materiałowego i surowcowego, w roku 2014 został oszacowany na około 30% (rys. 6 a). Natomiast odzysk energii z odpadowych tworzyw sztucznych sięgał 39%, podczas gdy w Polsce jest to odzysk rzędu 19% (rys. 6 b). Blisko 60% odpadowych tworzyw sztucznych w Polsce nadal jest składowanych. W porównaniu do średniej europejskiej Polska ma jeszcze dużo do zrobienia w tej kwestii [4, 11, 14].

Recykling materiałowy polega na rozdrabnianiu zużytych tworzyw sztucznych do postaci przemiału, regranulatu lub recyklatu, nadającego się do ponownego przetworzenia. Rozdrobnione do zadanych rozmiarów tworzywo jest czyszczone i rozdzielane na różne frakcje w zależności od oczekiwań rynku zbytu. Recykling materiałowy ma duże zastosowanie w przypadku tworzyw bardzo „czystych” i jednorodnych. Otrzymany w procesie recyklingu recyklat nie może być droższy od podsta-

wowych tworzyw sztucznych, gdyż podlega prawom rynku zbytu. Recykling materiałowy tworzyw sztucznych ze strumienia zmieszanych odpadów komunalnych jest praktycznie niemożliwy, gdyż są to materiały najczęściej mocno zanieczyszczone resztkami organicznymi i bardzo trudne do rozdzielania, ponieważ są one mieszaniną, często posklejaną, różnych tworzyw. W aspekcie ekonomicznym można powiedzieć, że recykling materiałowy odpadowych tworzyw sztucznych ze zmieszanego strumienia komunalnego jest nieopłacalny z powodu wysokich nakładów energetycznych w procesach takich, jak: oczyszczenie, sortowanie, transport i przetwarzanie tego rodzaju materiału [17, 18, 19].

Recykling surowcowy to termiczny rozkład tworzywa pod wpływem temperatury lub w następstwie reakcji chemicznej na składniki podstawowe, z których powstało tworzywo. Otrzymane w ten sposób substancje to przede wszystkim ciekłe węglowodory lub gazy, z których następnie można wyprodukować nowe tworzywa lub inne surowce. Recykling surowcowy stanowi rozwiązanie nie tylko dla tworzyw „czystych”, ale także zmieszanych, wieloskładnikowych oraz dla zmieszanych odpadów komunalnych zawierających tworzywa sztuczne. W recyklingu surowcowym wykorzystuje się wiele metod i technologii opartych m.in. na pirolizie, depolimeryzacji czy wytopie redukcyjnym w piecach hutniczych lub w innych procesach przetapiania [7, 8, 10, 19, 20].

Pomimo ciągłych poszukiwań i rozwoju nowych kierunków recyklingu odpadowych tworzyw sztucznych, zawsze pojawią się kryteria, według których tego typu odpady nie będą



Rys. 6. Zagospodarowanie pokonsumenckich odpadów z tworzyw sztucznych w 2014 roku:  
a) w Europie,  
b) w Polsce [5, 8]

nadawały się do takiej formy zagospodarowania m.in. ze względu na dużą energochłonność procesów przygotowawczych (mycie, rozdzielanie itp.).

Alternatywę dla recyklingu odpadów tworzyw sztucznych stanowi odzysk energii, który obejmuje spalanie w technologii „skojarzonej produkcji ciepła i energii elektrycznej”. Odzysk energii z odpadów tworzyw sztucznych stanowi metodę odzysku uzupełniającą recykling, która jednocześnie prowadzi do zmniejszenia strumienia odpadów kierowanych do deponowania. Z energetycznego i ekonomicznego punktu widzenia tworzywa sztuczne pochodzące ze strumienia odpadów komunalnych stanowią cenny materiał energetyczny [15–16]. Dodatkową zaletą tej metody zagospodarowania jest fakt, że można nią objąć wszystkie rodzaje odpadów tworzyw sztucznych – zwłaszcza niejednorodnych i mocno zanieczyszczonych np. frakcją organiczną [13, 14, 17, 19].

Odzysk energii z odpadów tworzyw sztucznych pochodzących ze strumienia odpadów komunalnych najczęściej odbywa się w instalacjach termicznego przekształcania, ale także w piecach cementowych w formie tzw. paliwa alternatywnego (SRF – *Solid Recovered Fuels*). W państwach członkowskich UE produkcja paliw alternatywnych systematycznie wzrasta, co z perspektywy czasu pozwala myśleć o wykorzystywaniu ich w energetyce zawodowej, w procesach współspalania z paliwami konwencjonalnymi [17, 19, 13, 14].

Brak akceptacji społecznej dotyczącej rozwoju infrastruktury związanej z gospodarką odpadami (np. ITPOK) sprawia, że niestety nadal najczęściej stosowaną metodą zagospodarowania odpadów tworzyw sztucznych w Polsce jest ich deponowanie.

### 3. Podsumowanie

Zintegrowany system gospodarki odpadami komunalnymi w Polsce powinien się skupiać na stopniowym, ale konsekwentnym wdrażaniu podstawowych zasad hierarchii postępowania z odpadami, w tym minimalizowania, recyklingu, odzysku energii i unieszkodliwiania.

Mając na uwadze wszystkie potencjalne możliwości powtórzonego zagospodarowania odpadów tworzyw sztucznych ze strumienia komunalnego, za każdym razem należy dobrać najbardziej korzystną ekonomicznie i ekologicznie metodę.

Wybrana metoda zagospodarowania powinna uwzględniać określone dla danego przypadku Najlepsze Dostępne Techniki (BAT – ang. *Best Available Technology* – Najlepsze Dostępne Techniki) zbierania, transportu i sortowania oraz aktualne zapotrzebowanie rynku na regranulat, surowce czy energię.

Każdorazowo należy dokonać oceny oddziaływania na środowisko poszczególnych metod ponownego zagospodarowania odpadów tworzyw, uwzględniając w tej analizie cały „cykl życia”.


Analiza środowiskowa pozwoli na określenie sumarycznego oddziaływania tworzyw sztucznych na środowisko, od ich wytworzenia do ponownego zagospodarowania, można powiedzieć, że w takim ujęciu analiza będzie obejmowała cykl życia „od kołyski do kołyski” (*Craddle to Craddle*).

W ciągu ostatnich lat obserwuje się spadek ilości odpadów tworzyw sztucznych kończących swój „cykl życia” na składowisku. Pomimo wdrożonych działań ciągle na składowiska w Polsce trafia ok. 60% tego rodzaju odpadów. Patrząc przyszłościowo, należy dążyć do bardziej zdecydowanego ograniczania ilości odpadów tworzyw sztucznych unieszkodliwianych poprzez deponowanie, aby móc osiągnąć założony przez Unię Europejską cel – zero odpadów tworzyw sztucznych na składowiskach do roku 2020.

### Literatura

- [1] CZOP M., BIEGAŃSKA J.: *Impact of selected chemical substances on the degradation of the polyolefin materials*. „Chemik” 4(66)/2012.
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy.
- [3] Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz.U. 2013 poz. 21).
- [4] CZOP M.: *Kompleksowe zagospodarowanie tworzyw sztucznych ze strumienia odpadów komunalnych. Aktualne zagadnienia w inżynierii środowiska*. Pod red. Krzysztofa Barbusińskiego. Politechnika Śląska. Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki. Gliwice 2015.
- [5] PEP Annual Report 2014. file:///C:/Users/wipo/Downloads/PEP\_Report\_2014\_EN\_net%20(2).pdf.
- [6] Plastics industry in Poland. file:///C:/Users/Samsung/Downloads/PlasticsIndustryin Poland\_2013\_.pdf

- [7] Plastics – the Facts 2015. An analysis of European plastics production, demand and waste data for 2015, [http://www.plasticseurope.org/documents/document/20150127125822-tworzywa-fakty\\_2014\\_final.pdf](http://www.plasticseurope.org/documents/document/20150127125822-tworzywa-fakty_2014_final.pdf).
- [8] Plastics – the Facts 2014. An analysis of European plastics production, demand and waste data for 2014, [http://www.plasticseurope.org/documents/document/20150127125822-tworzywa-fakty\\_2014\\_final.pdf](http://www.plasticseurope.org/documents/document/20150127125822-tworzywa-fakty_2014_final.pdf).
- [9] HOPPE G.: *Krytyczna analiza wprowadzenia nowego stanu prawnego w gospodarce odpadami w Polsce*. Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, 1(15)/2013.
- [10] VAN KREVELEN D.W., TE NIJENHUIS K.: *Properties of Polymers*. [http://www.google.pl/books?hl=pl&lr=&id=bzRKwjZeQ2kC&oi=fnd&pg=PP2&dq=polymers&ots=wXS6UZhuTi&sig=PIEee\\_zYwx8coSF6aMgdYLFvODw&redir\\_esc=y#v=onepage&q=polymers&f=false](http://www.google.pl/books?hl=pl&lr=&id=bzRKwjZeQ2kC&oi=fnd&pg=PP2&dq=polymers&ots=wXS6UZhuTi&sig=PIEee_zYwx8coSF6aMgdYLFvODw&redir_esc=y#v=onepage&q=polymers&f=false), 15.03.2015.
- [11] AL-SALEM S.M., LETTIERI P., BAEYENS J.: *Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW)*. Waste Management. Volume 10(29)/2009.
- [12] CZOP M.: *Analysis of impact of selected chemical substances on the properties of polyolefin waste*. Pol. J. Environ. Stud. 21, 5A, 2012.
- [13] PAJĄK T.: *Odnawialne i niekonwencjonalne źródła energii. Energetyczne wykorzystanie odpadów komunalnych*. Wyd. Tarbonus, Kraków 2008.
- [14] PIASKOWSKA-SILARSKA M.: *Analiza możliwości pozyskania energii z odpadów komunalnych*. Polityka Energetyczna, Tom 15, Zeszyt 4, 2012.
- [15] CZOP M.: *Select polymer wastes as possible sources of solid recovered fuels*. Polish Journal of Environmental Studies, 23, 4, 2014.
- [16] CZOP M., PIKOŃ K., BOGACKA M.: *Optymalizacja metod zagospodarowania odpadów polietylenu z jednorazowych opakowań*. „Przemysł Chemiczny” 9(94)/2015.
- [17] BORKOWSKI K.: *Odpady tworzyw sztucznych... – odzysk energii*. „Recykling” 10(142)/2012.
- [18] KIJEŃSKI J., BŁĘDZKI A. K., JEZIÓRSKA R.: *Odzysk i recykling materiałów polimerowych*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011.
- [19] ŁUKSA A., OLĘDZKA E., SOB CZAK M.: *Pyrolysis as one of ways of plastics waste recycling*. „Elastomery” 9(5)/2005.
- [20] SAECHTLING H.: *Tworzywa sztuczne*. Poradnik, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.

 Monika Czop – Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, Gliwice

artykuł recenzowany