

Współgazowanie – strategiczny kierunek zagospodarowania odpadów tworzyw polimerowych*)

Jacek Kijęński^{1),3),**}, Marta Kijęńska²⁾, Antoni Migdał³⁾

DOI: [dx.doi.org/10.14314/polimery.2014.393](https://doi.org/10.14314/polimery.2014.393)

Streszczenie: Dokonano analizy koncepcji zagospodarowania poużytkowych odpadów tworzyw polimerowych, w kontekście globalnej sytuacji energetyczno-surowcowej, dynamicznie rosnącego depozytu odpadów tworzyw na składowiskach i poza nimi oraz priorytetów Unii Europejskiej. Poddano dyskusji realność szeregu preferowanych rozwiązań, wskazano na brak koncepcji systemowych działań doraźnych i stanowiących strategię na przyszłość. Przedstawiono uwarunkowania i zalety procesów zgazowania i współgazowania odpadów tworzyw polimerowych z węglem, biomasą i odpadami, jako docelowych rozwiązań, dostarczających współczesnej energetyce jednorodnego, standaryzowanego wysokoenergetycznego paliwa, mogącego być jednocześnie bazą surowcową dla (autotermicznej) alternatywnej petrochemii – wysokoefektywnego procesu recyklingu surowcowego II generacji.

Słowa kluczowe: odpady komunalne, odpady tworzyw polimerowych, współgazowanie, kogeneracja energii i związków petrochemicznych.

Co-gasification – strategic route in the utilization of polymeric wastes

Abstract: An analysis of the concepts of utilization of post-consumer waste polymer materials from the viewpoint of global demand and supply of energy and raw materials, an increasing waste plastics deposition in and out of waste dumps as well as of European Union priorities has been presented. The possibility of the realization of a series of preferred solution proposals was discussed. The lack of concepts of the systematic, immediate and future actions to resolve the problem of polymer waste was indicated. The implementation conditions and advantages of the gasification and co-gasification of waste polymers with coal, biomass and other waste materials as a future, long-lasting solution capable of providing a uniform, standardized high-energy fuel to modern energy sector were emphasized. These methods can also constitute a raw material base for (autothermal) alternative petrochemistry – a highly effective second generation raw material recycling process.

Keywords: municipal wastes, polymeric wastes, co-gasification, petrochemicals and energy cogeneration.

ODPADY KOMUNALNE – MIARA ROZWOJU CYWILIZACJI I OBCIĄŻENIE DLA ŚRODOWISKA

Nieunikniony i oczekiwany wzrost standardu życia oraz rozszerzenie zasięgu potrzeb cywilizacyjnych rosnącej populacji spowodowały światowy deficyt energii, szybsze niż przewidywano wyczerpywanie się kopalnych źródeł nośników energii i surowców, a przede

wszystkim zagrożenie środowiska naturalnego nagromadzeniem milionów ton depozytów odpadów. W odpowiedzi na zaistniałą sytuację opracowano szeroko zakrojony i mało konkretny program zrównoważonego rozwoju. Jedną z podstaw koncepcji jest stworzenie systemu wielokrotnego wykorzystania surowców i energii. W systemie tym istotną rolę musi odegrać strumień odpadów tworzyw polimerowych, trafiający do strumienia odpadów komunalnych. Problem jego wykorzystania nie został dotąd rozwiązany, nie tylko w Polsce, ale i na świecie. W komunalnych odpadach tworzyw polimerowych dominują polimery masowego stosowania (PE, PP, PS, PVC, PET), jest ich ponad 70 %. Z kolei poliolefiny i PET, charakteryzujące się krótkim czasem życia w gospodarce, stanowią ponad 50 % ogółu odpadów tworzyw polimerowych. Około 11 % odpadów polimerowych stanowią frakcje mieszane. Dominują wśród nich odpady z budownictwa i zużyte opakowania. Wbrew przekonaniu i nadziejom polityków, ekologów i wielu potencjalnych

¹⁾ Politechnika Warszawska, Filia Płock, ul. Łukasiewicza 17, 09-400 Płock.

²⁾ Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, ul. Krucza 5/11d, 00-548 Warszawa.

³⁾ Instytut Chemii Przemysłowej, ul. Rydygiera 8, 01-793 Warszawa.

*) Artykuł stanowi treść wystąpienia w ramach konferencji „Materiały Polimerowe – Pomerania-Plast 2013”, Międzyzdroje, 4–7 czerwca 2013 r.

***) Autor do korespondencji; e-mail: Jacek.Kijenski@ichp.pl

przetwórców odpady te są mało przydatne, bądź niedostępne dla procesów recyklingu. Trudności związane z masowym efektywnym odzyskiem surowcowym bądź materiałowym wynikają z zanieczyszczenia ich resztkami organicznymi oraz mieszanego charakteru odpadów (nie tylko w odniesieniu do różnych polimerów, ale również w obszarze tego samego tworzywa różnego pochodzenia) [1]. W Polsce, kraju w którym zasoby świeżej wody przypadające na 1 mieszkańca nie przekraczają 3000 m³/r., zalecenie mycia odpadów przez użytkowników w ramach realizacji programu segregacji brzmi kompromitująco. Ponadto, pozostaje w sprzeczności z drugim bezsensownym, groźnym dla higieny życia, a rozpowszechnianym przez organizacje ekologiczne kanałami edukacyjnymi i samorządowymi, zaleceniem oszczędzania wody, na przykład podczas mycia owoców i warzyw — bez użycia wody bieżącej. Z kolei konieczność wielokrotnej segregacji odpadów tworzyw polimerowych, najpierw według asortymentu (flotacja, metody elektrostatyczne itd.), potem rodzaju (napełniacza, modyfikatorów, itd.), wreszcie wieku (tylko w taki sposób można dostosować przetwórstwo do wymogów barierowych cykli przetwórstwa i czasu zużycia), rodzi pytanie o racjonalny sposób, a następnie koszty realizacji tego zadania. Mimo prób wprowadzenia na świecie coraz bardziej precyzyjnego znakowania wyrobów z tworzyw polimerowych oraz stosowania coraz nowocześniejszych metod automatycznego sortowania ich odpadów (bliska podczerwień, fluorescencja rentgenowska, fale radiowe) metody rozdziału mają niską rentowność i niewystarczającą skalę. Wysiłek włożony w skuteczne oddzielenie, a następnie powtórne wykorzystanie odpadów, należy zatem skoncentrować na odpadach łatwych do segregacji, a przede wszystkim na drogich tworzywach polimerowych (PET, PC, metakrylany itp.).

PRIORYTETY GOSPODARKI ODPADAMI W UE

Odporność tworzyw polimerowych pochodzenia petrochemicznego na korozję i pleśnienie, stanowiąca wielką zaletę użytkową, decyduje o wyjątkowej uciążliwości powstałych z nich odpadów. Przewidywany czas życia tego rodzaju odpadów sięga kilkuset lat, choć być może jest nieco przeszacowany [2]. Wobec, wspomnianych już wcześniej, istniejących ogromnych zasobów i, rosnącego wraz ze standardem życia populacji, strumienia odpadów, ciągła efektywna ich utylizacja jest konieczna.

Niestety, zalecana w Unii Europejskiej hierarchia postępowania z odpadami tworzyw polimerowych, potwierdzona na konferencji „Polytalk 2012” w Wiesbaden (Niemcy), nie rokuje możliwości racjonalnego rozwiązania problemu [3]. Wykładnia polityki UE wobec odpadów tworzyw polimerowych znalazła odzwierciedlenie w tezach z „Polytalku”: „(...) musimy zastępować metody zmierzające do odzyskiwania energii (recykling energetyczny) metodami pozwalającymi na odzyskiwanie surowców (recykling materiałowy) (...). Już wkrótce przewaga recyklingu ener-

getycznego, tzw. termowaloryzacji nad recyklingiem materiałowym nie będzie akceptowana.” Jeszcze wyżej niż odzysk materiałowy i surowcowy w UE stawia się zapobieganie powstawaniu odpadów i obrót wtórny. Wszystkie te zalecenia, pomimo swojego gospodarnego wydźwięku, są co najmniej dyskusyjne zarówno z punktu widzenia ekonomiki, nieszkodliwości dla środowiska, jak i praktycznej możliwości realizacji. Wszystko stanie się kiedyś odpadem, obrót wtórny zatem i recykling materiałowy to tylko sposób na odsunięcie w czasie wypływu strumienia odpadów. Ilość powstających odpadów można z kolei zmniejszać wydłużając czas życia dóbr powszechnego użytku, albo całkowicie ograniczając korzystanie z części z nich. Oba kierunki można uznać za mało realne. Prowadzą bowiem do obniżenia standardu życia — przedmioty o długim okresie życia stają się coraz bardziej „używane”, tracą swoją nowoczesność (!), pozbawiają konsumentów możliwości odczuwania bardzo ważnej satysfakcji z wymiany dóbr na nowe, natomiast ograniczenia w użytkowaniu to jednocześnie uniemożliwienie spełnienia potrzeb cywilizacyjnych. Niezwykle ważne dziś jest negatywne nastawienie społeczne, jednak realizacja obu diskutowanych priorytetów będzie skonfrontowana z polityką globalnych koncernów, zagrożonych utratą istotnej części przychodów w wyniku ograniczenia produkcji, zmuszonych ponadto do ograniczenia zatrudnienia, mającego bardzo niekorzystną współcześnie wymowę polityczną. W przypadku dwóch podstawowych priorytetów definiujących politykę UE w odniesieniu do odpadów tworzyw polimerowych (zapobieganie powstawaniu odpadów i obrót wtórny), koszty społeczne i polityczne wydają się zdecydowanie zbyt wysokie w stosunku do nikłych perspektyw wpływu efektów ich realizacji na bezpieczeństwo energetyczne i surowcowe świata i stan środowiska naturalnego.

ODZYSK (RECYKLING) ENERGETYCZNY — ZAGROŻENIE ŚRODOWISKA CZY KOMPLEKSOWE ROZWIĄZANIE

Głównym argumentem, przemawiającym za — postulowanym w Wiesbaden — ograniczeniem odzysku energetycznego, jest nieunikniona emisja CO₂, a w dalszej kolejności — chętnie podnoszone przez przeciwników spalania odpadów — zanieczyszczenie atmosfery spalinami (CO₂, dioksydy itd.). Oddziaływanie niezniszczonych depozytów odpadów tworzyw polimerowych na wysypiskach w terenie jest znacznie bardziej groźne dla środowiska niż wyimaginowane oddziaływanie antropogenne CO₂ na klimat Ziemi. Należy jednak sądzić, że w niedalekiej przyszłości wpływ „ekologii cieplarnianego strachu” znacząco osłabnie. Niezależnie od tego, koszty emisji CO₂ ze spalania odpadów komunalnych, zawierających odpady tworzyw polimerowych, bądź spalania tylko tych ostatnich, wcale nie muszą przewyższać kosztów emisji z innych współczesnych procesów pozyskiwania energii. Pamiętać należy, że wartość

opałowa podstawowych komunalnych odpadów tworzyw polimerowych — poliolefin — jest bliska wartości opałowej gazu ziemnego (tabela 1), a spalanie razem z pozostałymi składnikami odpadów komunalnych podnosi ich wartość opałową do zakresu efektywności energetycznej. Opinia społeczna ciągle jednak nie daje wiary w skuteczność współczesnych instalacji oczyszczania gazów odlotowych, a jej wpływ, obecnie w największym stopniu, skutkuje brakiem w Polsce praktycznej implementacji nowoczesnych procesów spalania odpadów. A trzeba pamiętać, że materiały polimerowe stanowią znacznie bardziej „ekologiczne” paliwo niż szereg paliw kopalnych, zawierających — pozostające w popiele — metale ciężkie, pierwiastki toksyczne, a nawet promieniotwórcze.

T a b e l a 1. Wartość opałowa wybranych tworzyw polimerowych i konwencjonalnych paliw

T a b l e 1. The calorific value of selected polymer materials and conventional fuels

Paliwo	Wartość opałowa, MJ/kg
Metan	53
Gazolina	46
Olej napędowy	43
Węgiel kamienny	30
Polietylen	~43
Mieszane tworzywa polimerowe	30–40
Odpady komunalne (bez tworzyw polimerowych)	~10

Z pragmatycznego punktu widzenia, spalanie nie wydaje się być optymalnym sposobem odzysku energii zawartej w odpadach tworzyw polimerowych. Efektywność procesu spalania, porównywalna z uzyskiwaną metodami stosowanymi we współczesnym ciepłownictwie, nie wytrzymuje jednak porównania z efektywnością procesu zgazowania, będącego źródłem gazu syntetycznego — atrakcyjnego, wysokokalorycznego nośnika energii, a jednocześnie surowca dla nowoczesnych alternatywnych procesów petrochemicznych. Surowca, który może być bardzo efektywnie wykorzystany w kogeneracji energii i chemikaliów bazowych. Wsadem do zgazowania mogą być odpady komunalne wraz z zawartymi w nich odpadami z tworzyw polimerowych, poddane uprzednio procesowi wydzielenia jedynie najbardziej wartościowych składników [PET, poliwęglany, poli(metakrylan metylu) itp.]. Wydzielanie z odpadów komunalnych zanieczyszczonych poliolefin bądź PVC z przeznaczeniem do wtórnego przetwórstwa jest — w szerokim bilansie — nieopłacalne, z drugiej strony natomiast tworzywa te są w procesie zgazowania źródłem znacznych ilości wodoru.

Oczyszczanie gazu pochodzącego z procesu zgazowania, dla celów energetycznego wykorzystania i chemicznego przerobu, nie jest dla współczesnej technologii

problemem ani technicznym, ani ekonomicznym. Uciążliwość takiego oczyszczania jest porównywalna lub mniejsza od uciążliwości oczyszczania spalin ze spalania odpadów komunalnych lub biomasy. Wiele niekorzystnych procesów biegnących w warunkach spalania jest — w przypadku zgazowania (katalitycznego) — hamowane dzięki obecności w strumieniu produktów znacznych ilości wodoru.

ZGAZOWANIE — DROGA DO KONCENTRACJI ENERGII I ALTERNATYWNEJ PETROCHEMII

Zgazowanie paliw stałych jest wysokotemperaturowym (600–1400 °C) procesem ich przetwarzania na paliwa gazowe pod wpływem czynnika zgazowującego: tlenu, powietrza, pary wodnej, ditlenku węgla lub ich mieszanin. Produktami zgazowania są: gaz syntezowy, niewielkie ilości metanu, CO₂, H₂O, N₂ i, w zależności od rodzaju zastosowanego wsadu, znikome ilości H₂S, NO_x oraz śladowe ilości NH₃, HCl, HCN. W fazie skondensowanej występują produkty palne — smoła i karbonizat. Smoła zawiera węglowodory aromatyczne (głównie toluen, naftalen i fenol) i poliaromatyczne. Stałym produktem zgazowania jest popiół mineralny. Ze wzrostem temperatury procesu w istotnym stopniu spada udział smoły w produktach zgazowania, zmienia się także jej skład — głównym jej składnikiem staje się benzen (stanowi ponad 50 % frakcji aromatycznej).

Zgazowanie i współgazowanie — metody otrzymywania wysokoenergetycznego gazu

Niemieckie doświadczenia z połowy lat dziewięćdziesiątych, zebrane podczas pracy na dużej instalacji w Schwarze Pumpe koło Merseburga [4], pokazały, że w mieszaninach z węglem można efektywnie współgazować, praktycznie biorąc, wszystkie rodzaje odpadów.

W połowie lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku nastąpił duży wzrost zainteresowania koncepcją zgazowania paliw odnawialnych. Wtedy to, w Skandynawii, zbudowano 9 gazyfikatorów typu Bioneer, a firma Ahlstrom (obecnie Foster Wheeler) opracowała koncepcję niskociśnieniowych gazyfikatorów do biomasy, z cyrkulującym złożem fluidalnym (CFB). Uruchomiono je w Finlandii, Szwecji i Portugalii. W latach 1993–1999 firma Sydskraft AG zastosowała technikę opracowaną przez koncern Foster Wheeler w ciśnieniowym gazyfikatorze Bioflow, uruchomionym w Värnamo w Szwecji. W systemie kombinowanego otrzymywania ciepła i elektryczności wytwarzał on moce 9 MW_{th} i 6 MW_e. Od początku praktycznej implementacji procesu zgazowania biomasy było wiadome, że dodatek do wsadu odpadów tworzyw polimerowych zwiększy zawartość wodoru w produktach i, tym samym, znacząco poprawi jakość otrzymanego gazu. W Värnamo przeprowadzono testy zgazowania biomasy z odpadowymi oponami (*Tyre Derived Fuel*), a w 2001 roku w firmie Foster Wheeler zbudowano dla

fińskiej firmy Corenso United Oy Ltd. gazyfikator do współzgazowania biomasy i tworzyw polimerowych [5]. Celem chemicznego przerobu gazu wytwarzanego w konwersji biomasy był metanol, co w tamtym okresie okazało się nierentowne.

T a b e l a 2. Skład i ilość mieszanin odpadów z węglem, zgazowanych w instalacji w Schwarze Pumpe [4]

T a b l e 2. Compositions and amounts of mixed coal and waste feed for gasification plant at Schwarze Pumpe [4]

Odpad w mieszaninie z węglem brunatnym/udział masowy, %	Ilość przetworzona w instalacji, Mg
Odpady komunalne/30	39 754
Odpady z oczyszczalni ścieków/30	20 596
Odpady gumy/30	520
Stare farby i odpady/15	170
Smoła i łupki/20	4150
Bitumiczne odpady olejów przemysłowych/15	2012
Oleje niebezpieczne/100	247 160

Od połowy pierwszego dziesięciolecia obecnego wieku koncepcja zgazowania i współzgazowania węgla, wsadów odnawialnych i odpadowych przeżywa renesans [6]. Decyduje o tym szereg czynników, m.in. coraz mniejszy stopień wykorzystania estrów kwasów tłuszczowych pochodzenia roślinnego jako alternatywnego paliwa dla silników wysokoprężnych, ze względu na niszczące działanie takiego paliwa na standardowe silniki [7], ale przede wszystkim znacznie niższą od przewidywanej efektywność energetyczną i niewielką przyjazność dla środowiska tej „zielonej technologii”, początkowo lansowanej jako idealne przemysłowe wykorzystanie produkcji rolnej. Tzw. bioestry będą zastępowane biopaliwami II generacji, z których większość będzie produkowana z gazu syntezowego otrzymywanego z biomasy [Fischer-Tropsch – diesel, biometanol, bioeter dimetylowy (o ile zostaną wynalezione, odporne na ten gaz uszczelki do silnika), SNG (Synthetic Natural Gas) – biowódór, itp.] [8]. W formułę biopaliw II generacji jest wpisana koncepcja ECN – nowoczesnej biorafinerii termochemicznej [9]. Jej docelowym produktem jest gaz syntezowy, podobnie jak w przypadku projektów zgazowania biomasy Silva Gas [10], Carbo-V[®], Choren czy fińskiego procesu BFB [9–11].

Powrót do koncepcji zgazowania węgla, to z kolei wynik bardzo nieprzychylniej oceny oddziaływania na środowisko mało sprawnych klasycznych procesów przetwarzania węgla na energię, dodatkowo obniżanej wysokimi poziomami emisji CO₂. Bezpośrednie spalanie węgla nie wytrzymuje konkurencji z procesem zasilanym gazem, przebiegającym we współczesnych kombinowanych systemach energetycznych IGCC (turbiny parowe – turbiny gazowe).

Koncepcja zgazowania ma niezwykle istotne zalety dla procesów wytwarzania energii z wsadów mieszanych. W takich przypadkach zmienność składu wsadu do kotła (przypadkowa lub zamierzona) rzutuje zarówno na przebieg procesu spalania, a więc jego efektywność, jak i na skład gazów odlotowych i popiołu. Substancje skumulowane w tym ostatnim mogą dodatkowo – jako katalizatory – w istotny sposób modyfikować proces spalania. Gaz otrzymywany w procesie gazyfikacji jest paliwem jednorodnym, zapewniającym powtarzalne pozyskiwanie energii w optymalnych warunkach, a jednocześnie potencjalnie może być wykorzystywany w układach energochemicznych, kogenerujących energię i chemikalia.

Kompleks energochemiczny na bazie gazu syntezowego

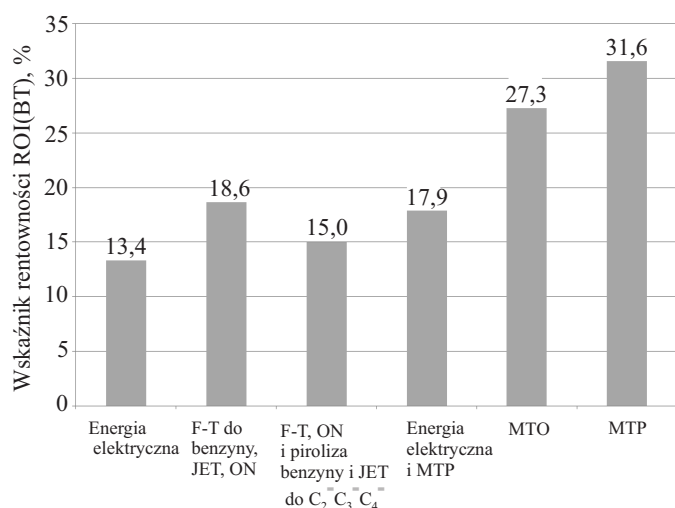
Przemysł chemiczny i energetykę (produkcję energii elektrycznej i ciepła) można rozpatrywać wspólnie jako system przetwórstwa pierwotnych nośników energii (nieodnawialnych i odnawialnych) we wtórne, z następczą przeróbką na chemikalia. Taki energetyczny kompleks posiada liczne powiązania strumieniami technologicznymi. Już obecnie, w rafineriach ropy naftowej lub zakładach petrochemicznych, 5–10 % wsadu surowcowego – ropy naftowej – wykorzystuje się do otrzymania ciepła i energii elektrycznej dla potrzeb procesów technologicznych. W Polsce większość firm sektora Wielkiej Syntezy Chemicznej posiada elektrownie i elektrociepłownie w macierzystej lokalizacji.

Współczesny system energetyczny IGCC stwarza zupełnie nowe możliwości łączenia wytwarzania energii z produkcją chemikaliów bazowych, wykorzystujące zasilenie produktami zgazowania stałych wsadów (węgli, odpadów komunalnych, szlamów z oczyszczalni ścieków, odpadów rolnych, biomasy itp.). Modelem idealnym w gospodarce krajowej, w której energetyka i przemysł chemiczny przynależą formalnie do odrębnych obszarów działalności gospodarczej, a nieformalnie – do „dwóch różnych światów” – samowystarczalny energetycznie wydaje się kompleks chemiczny produkujący chemikalia bazowe. Takie rozwiązanie nie narusza ustalonych zwyczajowo i ustawowo zakresów kompetencji i nie wymaga wprowadzania głębokich zmian systemowych. Niezależnie od wynikających z analizy ekonomiczno-rynkowej potrzeb, decydujących o profilu produkcji chemikaliów [metanol, olefiny z metanolu (MTO, MTP), paliwa z syntezy Fischera-Tropscha, olefiny z pirolizy szerokiej frakcji produktów z syntezy Fischera-Tropscha itd.], w początkowej fazie chemicznej realizuje się proces, polegający na otrzymywaniu ze stałego wsadu palnego gazu, a z niego cieczy, zawierających nośniki energii i chemikalia bazowe bądź ich prekursorzy. Jest to zatem proces niebezpośredniego upłynnienia.

Nasze wcześniejsze analizy techniczno-logiczno-ekonomiczne dotyczyły procesów kogeneracji energii i che-

mikaliów z węgla [12]. Obejmowały one, odniesione do czysto energetycznego kompleksu przetwórstwa węgla w układzie zgazowanie—elektrownia IGCC, samowystarczalne energetycznie kompleksy: paliwowy — maksymalizacja produkcji frakcji olejowych na drodze syntezy F-T (Shell SMDs), paliwowo-petrochemiczny — synteza F-T i przerób części węglowodorów do olefin na drodze pirolizy, paliwowo-petrochemiczny — 2/3 zdolności przerobowych — paliwa, 1/3 zdolności wytwórczych — metanol i propylen (MTP) petrochemiczny ukierunkowany na olefiny — przerób gazu do metanolu i olefin (MTO) i petrochemiczny ukierunkowany na propylen (1548 USD/Mg) — synteza metanolu (442 USD/Mg) i proces MTP.

Spośród analizowanych przypadków najmniej efektywny ekonomicznie okazał się proces czysto energetycznego wykorzystania gazu (okres zwrotu inwestycji 7,5 roku, wskaźnik zwrotu inwestycji ROI = 13,4 %), a zdecydowanie najbardziej efektywnym — proces ukierunkowany na wytwarzanie propylenu (okres zwrotu inwestycji 3,2 roku, ROI = 31,6 %) — rys. 1. Zastąpienie



Rys. 1. Efektywność ekonomiczna kompleksów przetwórstwa gazu syntezy (za zgodą IChPW [12])

Fig. 1. The economic efficiency of the complexes of syngas processing (with permission of the publisher)

węgla wsadami mieszanymi może zmienić bezwzględne wartości ROI, nie powinno natomiast zmienić aktualnego szeregu opłacalności. Co ważne, produkt (syngaz) — oprócz tego, że jest przydatny jako surowiec chemiczny — jest także jednorodnym i standaryzowanym źródłem energii.

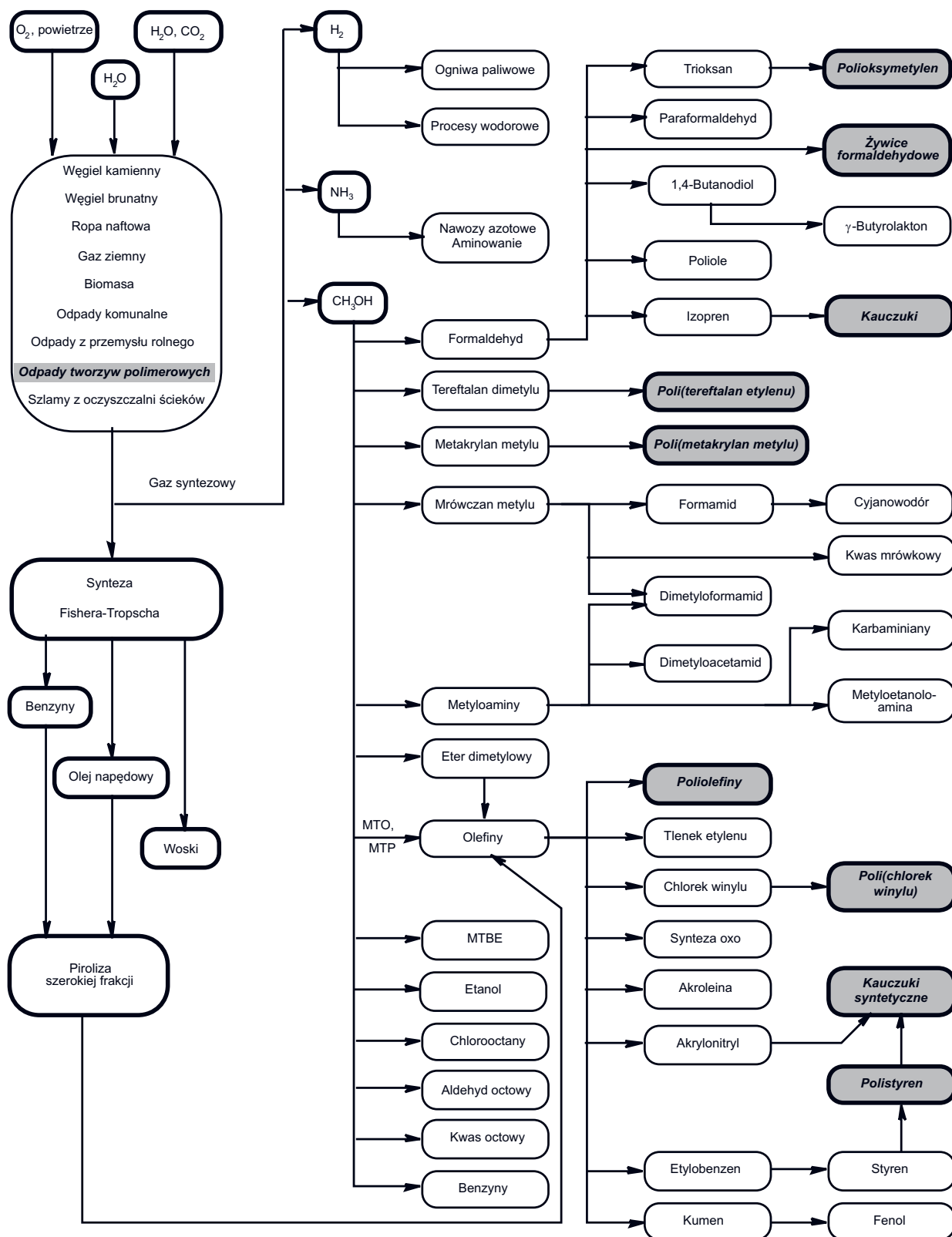
Według danych Gas Turbina World z 2007 roku [13], spośród 81 instalacji zgazowania węgla i odpadów (koks naftowy, biomasa, poliolefiny, odpady komunalne itp.), projektowanych na świecie na lata 2007—2014, ponad 50 miało mieć charakter kompleksów energochemicznych bądź wytwarzających: wodór (20 instalacji), gaz syntezo-

wy dla celów chemicznych (12 instalacji), paliwa ciekłe (10 instalacji), metanol (4 instalacje), amoniak—mocznik (3 instalacje), różne chemikalia (4 instalacje) bądź też w niesprecyzowany sposób wykorzystujących chemicznie gaz syntezy (6 instalacji).

Obecnie w Niemczech dominują instalacje termicznej utylizacji odpadów komunalnych oparte na piecach rusztowych. Konieczność wcześniejszego wysegregowania tworzyw polimerowych ze strumienia odpadów oraz złożone układy oczyszczania strumieni gazów ograniczają ekonomikę całej inwestycji. Koszt termicznego przekształcania odpadów komunalnych to, w Niemczech, 100—110 €/Mg [14]. W naszym kraju, jak dotychczas, istnieje tylko jedna, zlokalizowana na Targówku w Warszawie, spalarnia odpadów komunalnych, o zdolności przerobowej ok. 42 tys. t/r. Do 2015 r. planowane jest uruchomienie w Krakowie instalacji rusztowej do termicznego przekształcania odpadów komunalnych, o zdolności przerobowej 220 tys. Mg/r. i zdolności wytwórczej 11 MW_e i 35 MW_{th} (współczynnik efektywności energetycznej 0,88). Część energii wytworzonej w tej instalacji będzie zużywana na potrzeby własne — oczyszczanie gazów spalinowych, przygotowanie lub segregacja wsadu [15]. Energia w postaci ciepła technologicznego, opuszczająca tego typu zakład, będzie musiała być wykorzystana in situ, np. w wyniku włączenia do lokalnej sieci ciepłowniczej. Nie będzie natomiast możliwości akumulacji tej energii w bezpiecznej postaci i użycia jej w miarę potrzeb.

„Drzewo produktowe” metanolu i syntezy Fischera-Tropscha — alternatywna petrochemia

Na początku lat dziewięćdziesiątych dwudziestego wieku, jak wspomnieliśmy wcześniej, metanol okazał się produktem zbyt mało rentownym dla uzasadnienia chemicznej ścieżki przerobu gazu syntezy pochodzącego ze zgazowania węgla i odpadów. Analiza techniczno-ekonomiczna wykonana przed kilku laty w Instytucie Chemicznej Przeróbki Węgla, wykazała opłacalność metanolu jako docelowego produktu zgazowania węgla. Dziś świat potrzebuje metanolu. Zdolność produkcyjna procesu zgazowania węgla w generatorach Texaco sięga 18 mln Mg/r. gazu, co umożliwia zasilanie instalacji Lurgi — niskociśnieniowego wytwarzania metanolu, o wydajności 3—5000 Mg/dzień. Instalacje takie wybudowano w Trynidadzie, Nigerii i Katarze. Rentowność chemicznego przerobu gazu ze zgazowania wzrasta oczywiście wraz z rozwojem łańcucha produktowego (downstream). Średnia cena metanolu kształtuje się na poziomie 442 USD/Mg, frakcji benzynowej — 988 USD/Mg, a propylenu — 1548 USD/Mg. Kolejne operacje przerobu obniżają również udział kosztów chemikaliów bazowych (metanol, frakcje węglowodorowe z F-T) w kosztach produktów końcowych. Dodatkowymi zaletami takiego rozwiązania jest możliwość bezpiecznej akumulacji energii (tym samym i zysku) w postaci energii wiązań



Rys. 2. „Drzewo produktowe” syntezy Fischera-Tropscha i metanolu

Fig. 2. Schematic diagram of transformations based on Fischer-Tropsch and methanol syntheses

chemicznych związków organicznych (węglowodory i ich pochodne), nieklasyfikowanych jako odpad niebezpieczny.

Rysunek 2 przedstawia „Drzewo produktowe” syntezy Fischera-Tropscha i metanolu — ścieżki przerobu naj-

ważniejszych chemikaliów bazowych otrzymywanych z gazu syntezowego. „Drzewo” to jest niewątpliwie projekcją alternatywy dla petrochemii — współczesnego sposobu zagospodarowania frakcji ropy naftowej, nieprzydatnych do produkcji materiałów pędnych.

Z punktu widzenia filozofii zagospodarowania odpadów tworzyw polimerowych, „Drzewo” wpisuje się doskonale w priorytet UE — recykling surowcowy. Poliolefiny, otrzymywane z pirolizy szerokiej frakcji produktów syntezy Fischera-Tropscha i z metanolu, inne monomery uzyskiwane w kaskadowym przerobie metanolu, umożliwiają ponowną produkcję polimerów i tworzyw polimerowych z wykorzystaniem w bilansie masowym procesów odpadów tworzyw polimerowych zawartych we wsadzie w procesie zgazowania.

PODSUMOWANIE

Dostępność tworzyw polimerowych pochodzenia petrochemicznego będzie uwarunkowana kurcząca się bazą surowców mineralnych. Z kolei, wartość opała odpadów tworzyw jest wysoka i porównywalna z wielkością nakładów energetycznych na ich otrzymywanie i przetwórstwo, a także z wartością opała nośników energii pochodzenia rafineryjnego. Te dwa czynniki powinny decydować o kompleksowej strategii zagospodarowania poużytkowych odpadów tworzyw polimerowych. Strategia taka powinna uwzględniać konieczność: odzysku tego co cenne i łatwe do odzyskania — ze strumienia odpadów i odzysku energetycznego na drodze spalania bądź zgazowania — tego co tanie i trudne do wyodrębnienia, najlepiej wspólnie z innymi palnymi składnikami strumienia odpadów, a także węglem, biomasą, szlamami z oczyszczalni ścieków i niskoenergetycznymi nośnikami energii.

Produkty zgazowania, a najlepiej współzgazowania z innymi wsadami, to źródło jednorodnego, wysokokalorycznego paliwa dla energetyki (nowoczesne systemy IGCC), ale też źródło gazu syntezowego dla drzew produktowych alternatywnej petrochemii.

Pozyskiwanie olefin z pirolizy szerokiej frakcji produktów syntezy Fischera-Tropscha i z konwersji metanolu (MTO, MTP), otrzymywanie z nich innych monomerów, wreszcie ich polimeryzacja, to realizacja recyklingu surowcowego II generacji. Recyklingu pozwalającego, w warunkach procesów autotermicznych (energia z odzysku), na otrzymywanie z odpadów surowców i nowych materiałów polimerowych. Rozwiązanie takie, dzięki możliwości transportu produktu (płynne węglowodory z F-T, MTO, MTP vs. ciepło technologiczne ze spalarni), zwiększa obszar oddziaływania, podnosząc dodatkowo wartość dodaną technologii recyklingu surowcowego (skrócenie okresu zwrotu inwestycji).

Odzysk i recykling na drodze zgazowania są w różny sposób warunkowane skalą procesu. Odzysk energetyczny może być realizowany w dowolnej skali, natomiast

skala i kierunki chemicznego przerobu produktów zależą od rachunku rentowności, logistyki, możliwości wykorzystania produktów i powiązań produkcyjnych.

LITERATURA

- [1] Bourmaud A., Le Duigou A., Baley C.: *Polym. Degrad. Stab.* **2011**, 96, 1732.
- [2] Kijenska M., Kowalska E., Pałys B., Ryczkowski J.: *Polym. Degrad. Stab.* **2010**, 95, 536.
- [3] Ampolini R.: *Tworzywa* **2012**, 49 (4), 14.
- [4] „SVZ Schwarze Pumpe gasifier coal and wastes for CHP”, *Modern Power Systems*, 9, 1996.
- [5] „Studium koncepcyjne wybranych technologii perspektywicznych procesów i produktów konwersji węgla — osiągnięcia i kierunki badawczo-rozwojowe”, tom 1: „Zgazowanie węgla” (red. Ściążko M., Kijeński J.), Wydawnictwo Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla, Zabrze 2010.
- [6] Babu S.P.: Workshop No. 1: Perspectives on Biomass Gasification, IEA Bioenergy Agreement, Task 33: Thermal Gasification of Biomass, May 2006.
- [7] Bosch Siemens VDO 2004.
- [8] <http://www.ieo.pl>
- [9] Boerrigter H., Deurwaarder E.P., Bergman P.C.A., van Paasen S.V.P., van Ree R.: The 2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Rzym, Włochy, 10–14 maja 2004.
- [10] Higman C., van der Burgt M.: „Gasification”, Bullington 2003.
- [11] Babu S.P.: „Observations on the Current Status of Biomass Gasification”, IEA Bioenergy Agreement, Tas 33: Thermal Gasification of Biomass., 17 maja 2005.
- [12] Kijeński J., Rejewski P.: „Synteza produktów chemicznych z gazu ze zgazowania węgla”, w „Studium koncepcyjne wybranych technologii perspektywicznych procesów i produktów konwersji węgla — osiągnięcia i kierunki badawczo-rozwojowe, tom 2: Synteza produktów chemicznych” (red. Kijeński J., Ściążko M.), Wydawnictwo Instytutu Chemicznej Przeróbki Węgla.
- [13] Gas Turbine World 2007.
- [14] Wielgosiński G.: „Czy instalacja mechaniczno-biotechnologicznego przetwarzania odpadów komunalnych może być alternatywą dla spalarni odpadów?”, XI Konferencja dla Miasta i Środowiska — Problemy Unieszkodliwiania Odpadów, Warszawa, listopad 2013.
- [15] Rzesutek M., Oleniacz R.: „Zakład Termicznego przekształcania odpadów komunalnych w Krakowie — założenia projektowe i stan realizacji budowy”, XI Konferencja dla Miasta i Środowiska — Problemy Unieszkodliwiania Odpadów, Warszawa, listopad 2013.