

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

(Obserwatorium Produkcja i Przetwarzanie Materiałów)

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

Ekspertyza 4.6

Technologie produkcji i przetwarzania materiałów w kontekście rozwoju gospodarki obiegu zamkniętego

Opracowała: dr hab. inż. Magdalena Pichlak, prof. PŚ

Katowice, marzec 2019

W konwencjonalnym ujęciu przyjmuje się szeroką typologię materiałów, obejmującą: materiały metalowe, ceramiczne i polimerowe. Produkcja tych materiałów oraz ich przetwarzanie skutkuje tworzeniem dziesiątków rodzajów kompozytów, a także stanowi bazę dla opracowania setek technologii. Obserwowany od kilku lat ekstensywny rozwój technologii ma jednak swoją cenę, przejawiającą się w postaci pogarszającego się stanu środowiska naturalnego oraz nasilających się problemów ekologicznych i – w konsekwencji – coraz poważniejszych wyzwań społecznych.

Najnowsze kierunki badań materiałowych w Polsce zostały zawarte w Strategicznym programie badań naukowych i prac rozwojowych pt.: „Techmatstrateg”¹, finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Jednym z głównych obszarów podejmowanych w tym zakresie prac badawczych i rozwojowych jest opracowanie nowych materiałów konstrukcyjnych, na bazie metali i polimerów o wysokiej wytrzymałości i trwałości, a jednocześnie charakteryzujących się spełnieniem restrykcyjnych norm bezpieczeństwa. Znacznym potencjałem dla promowania innowacyjności i konkurencyjności nie tylko gospodarki polskiej, jako całości, ale również poszczególnych jej regionów, cechuje się także rozwój technologii materiałów funkcjonalnych (materiały magnetostrykcyjne, materiały z pamięcią kształtu, materiały elektro- i magneto-reologiczne) oraz materiałów inteligentnych, w tym materiałów termoelektrycznych i magnetokalorycznych. W obliczu nasilających się problemów ekologicznych, dotyczących rosnącego zanieczyszczenia, generowania nadmiernej ilości odpadów oraz niezrównoważonego wykorzystania zasobów, strategicznego znaczenia nabiera również opracowywanie rozwiązań z zakresu bezodpadowych technologii materiałowych i technologii biodegradowalnych materiałów inżynierskich. Ponadto, coraz większe zapotrzebowanie na energię i potrzeba zapewnienia Polsce bezpieczeństwa energetycznego stanowi podstawę prowadzenia badań aplikacyjnych w zakresie technologii materiałów do magazynowania i przesyłu energii.

We wszystkich wymienionych powyżej obszarach rozwoju technologii materiałowych w Polsce finansowane są obecnie projekty badawczo-rozwojowe, których realizacja ma – w założeniu – umożliwić społeczeństwu osiągnięcie realnych i wymiernych korzyści, w perspektywie długookresowej. Kluczowe w tym kontekście są w szczególności aspekty wdrożeniowe prowadzonych prac badawczych, których celem jest osiągnięcie VI lub VII poziomu gotowości technologicznej, oznaczającej m.in., że opracowywane technologie są możliwe do zastosowania w warunkach operacyjnych².

Pomimo intensywnego rozwoju technologii materiałowych w Polsce, problemem pozostaje konieczność ich projektowania (oraz badania przepływów materiałowych) w aspekcie całego ich cyklu życia. Niestety tego typu analizy są najczęściej pomijane, ze względu m.in. na brak

¹ Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Techmatstrateg [<https://www.ncbr.gov.pl/programy/programy-strategiczne/nowoczesne-technologie-materialowe-techmatstrateg/techmatstrateg-ii-konkurs/>] (dostęp: 15.03.2019)

² Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Poziomy gotowości technologicznej [https://www.ncbr.gov.pl/fileadmin/POIR/1_4_1_4_2019/dodatkowe/13_poziomy_gotowosci_tehnologicznej.pdf] (dostęp: 15.03.2019)

stosownych przepisów prawnych, co może w znaczący sposób utrudnić wdrażanie zarówno w kraju, jak i w poszczególnych województwach, koncepcji gospodarki obiegu zamkniętego.

Gospodarka obiegu zamkniętego, z definicji oznacza gospodarę, w której minimalizuje się przepływ materiałów, energii oraz degradację środowiska, bez ograniczania rozwoju ekonomicznego lub postępu technicznego i społecznego³. Ewentualny wpływ wdrożenia tej koncepcji – w poszczególnych województwach, a w szczególności w województwie śląskim – na rzeczywiste zamykanie pętli przepływów materiałowych w łańcuchach technologii ich produkcji i przetwarzania nie został, jak dotąd, w pełni rozpoznany, choć doświadczenia innych krajów⁴, polegające na wprowadzaniu w tym kontekście nowych norm prawnych, a także opracowywaniu wskaźników ilościowych dla oceny stopnia zamykania pętli przepływów materiałowych, stanowią przyczynek do podjęcia badań w tym zakresie. We wprowadzonej niedawno, w Wielkiej Brytanii, normie BS 8001:2017 zaproponowano ogólną definicję systemu wskaźników gospodarki obiegu zamkniętego, wskazując, że są one w większości oparte na nowych narzędziach zarządzania środowiskowego, jakimi są analiza przepływu materiałów (*MFA – Material Flow Analysis*) i rachunek kosztów przepływu materiałów (*MFCA – Material Flow Cost Accounting*).

Niestety w Polsce wciąż dominuje otwarty model opracowywania i wdrażania technologii materiałowych, który bazuje na prostym procesie liniowym, kończącym się generowaniem odpadów i emisji. Mimo nowoczesności tych technologii, większość materiałów często zbyt szybko osiąga „koniec życia”, a jedynie niewielka ich część zostaje poddana recyklingowi. Ponadto, w przypadku niektórych grup materiałowych (np. materiałów metalowych i polimerowych, czy nośników energii z paliw kopalnych) istnieje wiele informacji i danych dotyczących możliwych metod ich recyklingu, co jednak nie przełożyło się – jak dotąd – na zbudowanie i wdrożenie systemowych rozwiązań w tym zakresie. Co więcej – biorąc pod uwagę imperatyw ekonomiczny – wdrażanie koncepcji gospodarki obiegu zamkniętego być postrzegane jako gra o sumie zerowej. Jeśli przedsiębiorcy działają racjonalnie i są nastawieni na zysk, utrzymanie zamkniętych pętli przepływów materiałowych może stanowić problem, bowiem w końcu taka strategia osiągnie swoje granice. W pewnym momencie, dodatkowy koszt kaskadowego⁵ wykorzystania materiałów przewyższy relatywne korzyści osiągane z tytułu prowadzenia takiej działalności.

Rozpatrując zagadnienia jakości materiałów w obiegach zamkniętych należy uwzględnić również dwa inne, lecz niemniej istotne, aspekty, tj.: jakość materiałów pochodzących z recyklingu i funkcjonalność substancji w nich zawartych. Ponieważ jakość materiałów wtórnych jest często niższa niż jakość materiałów pierwotnych, konieczne jest precyzyjne

³ Lieder M., Rashid A.: *Towards Circular Economy Implementation: A Comprehensive Review in Context of Manufacturing Industry*. "Journal of Cleaner Production" 2016, vol. 115, s. 36-51.

⁴ Pauliuk S.: *Critical Appraisal of the Circular Economy Standard BS 8001:2017 and a Dashboard of Quantitative System Indicators for its Implementation in Organizations*. "Resources, Conservation and Recycling" 2018, vol. 129, s. 81-92.

⁵ System kaskadowy, w odniesieniu do recyklingu materiałowego, pozwala na przetwórstwo materiałów wtórnych, przy zachowaniu ich wartości użytkowej. Nie jest on technologicznie skomplikowany, pod warunkiem, że dotyczy tworzyw o identycznej strukturze chemicznej.

dookreślenie dozwolonej krotności zawracania materiałów w procesach recyklingu, tak długo, aż uznane za krytyczne właściwości materiałów osiągną wartości graniczne. W zamkniętych pętlach przepływów materiałowych sukcesywnie spada także ich funkcjonalność. Definiując gospodarkę obiegu zamkniętego, często wykorzystuje się⁶ sformułowanie „tak długo jak to możliwe”. Jednak w procesach recyklingu może dochodzić do utraty substancji funkcjonalnych, zawartych w materiałach pierwotnych, gdy takie substancje przenikają do pozostałości produkcyjnych (np. recykling stali, poprzez ponowne jej topienie, skutkuje zmniejszeniem ilości pierwiastków stopowych). Utrata funkcjonalności może również dotyczyć sytuacji, w której substancje zawarte w produktach podstawowych cechują się funkcjonalnością, ale jej nie posiadają w produktach wtórnych⁷.

Efektywne projektowanie i wdrażanie technologii produkcji i przetwarzania materiałów, uwzględniające podstawowe założenia gospodarki obiegu zamkniętego, wymaga jednoczesnego podejmowania działań ogólnych i działań oddolnych, realizowanych przez przedsiębiorstwa⁸. Działania ogólne obejmują następujące obszary interwencji: instrumenty prawne, rozwiązania systemowe oraz działania wspierające. Procesy ponownego wykorzystania, odzyskiwania i recyklingu materiałowego mają zasadnicze znaczenie dla wdrażania gospodarki obiegu zamkniętego. W przypadku złożonych produktów, które osiągnęły koniec okresu swojej eksploatacji, do głównych wyzwań należą: sposoby identyfikacji i separacji materiałów, zapewnienie ich czystości, dystrybucja i transport oraz – nie mniej ważne – wprowadzenie norm prawnych, regulujących zasady obiegów materiałowych. Szczegółowe rozwiązania prawne (tj. brytyjska norma BS 8001:2017) mogłyby stanowić podstawę identyfikacji łańcuchów technologicznych oraz precyzyjnego szacowania wskaźników obrazujących stopień zamknięcia obiegów materiałowych (np. wskaźnika ich cykliczności). Priorytetowego znaczenia, w tym zakresie, nabierają w szczególności rozwiązania dotyczące technologii produkcji i przetwarzania materiałów polimerowych, gdyż obok m.in. strat żywności i surowców krytycznych stanowią one jedno z kluczowych zagadnień warunkujących sukces wdrażania koncepcji gospodarki obiegu zamkniętego⁹. Konieczne są również zmiany systemowe, czyli zmiany elementów łańcuchów produkcyjno-konsumpcyjnych, w tym przeprojektowanie systemów (lub ich komponentów i podsystemów) w kierunku promowania rozwiązań eko-efektywnych. Do działań wspierających wdrażanie gospodarki obiegu zamkniętego można zaliczyć m.in. przyjęcie koncepcji „paszportu produktów”, czyli zbioru informacji na temat komponentów i materiałów, z których są wytwarzane oraz informacji, jak można je zdemontować pod koniec okresu ich eksploatacji.

⁶ Iacovidou E., Velis C.A., Purnell P., Zwirner O., Brown A., Hahladakis J., Hopkins J.M., Williams P.T.: *Metrics for Optimizing the Multi-Dimensional Value of Resources Recovered from Waste in a Circular Economy: A Critical Review*. “Journal of Cleaner Production” 2017, vol. 166, s. 910-938.

⁷ Nakamura S., Kondo Y., Nakajima K., Ohno H., Pauliuk S.: *Quantifying Recycling and Losses of Cr and Ni in Steel Throughout Multiple Life Cycles Using MaTrace-Alloy*. “Environmental Science & Technology” 2017, vol. 51, s. 9469-9476.

⁸ Pichlak M.: *Gospodarka o obiegu zamkniętym – ujęcie modelowe*. „Ekonomista”, nr 3/2018, s. 335-346.

⁹ Tworzywa sztuczne są powszechnie wykorzystywane do produkcji wyrobów codziennego użytku i ze względu na swoje właściwości często wypierają stosowanie innych materiałów, czego naturalną konsekwencją jest wzrost odpadów polimerowych w strumieniu odpadów komunalnych.

Działania oddolne dotyczą przede wszystkim podejmowania przez przedsiębiorstwa praktyk polegających na eko-projektowaniu (ang. *eco-design*), które zakłada projektowanie dóbr generujących minimalne ilości odpadów w fazie produkcji i których oddziaływanie na środowisko w całym ich cyklu życia jest jak najmniejsze¹⁰. Przyjęcie zasad eko-projektowania pozwoliłoby zwiększyć potencjał ponownego wykorzystania i odzysku różnego rodzaju materiałów (metalowych, ceramicznych i polimerowych), zwłaszcza w przypadku złożonych produktów wycofywanych z eksploatacji. Co więcej – zgodnie z przesłanką eko-projektowania – powinno się uwzględniać możliwość zamykania pętli przepływów materiałowych już na etapie ich projektowania, tak aby korzyści osiągnięte na określonym etapie cyklu ich życia nie generowały negatywnych oddziaływań na innych jego etapach¹¹.

Reasumując, fundamentalną kwestią, w kontekście wdrażania koncepcji gospodarki obiegu zamkniętego – nie tylko w Polsce, ale i w województwie śląskim – jest pytanie nie tyle o zakres i kierunki zmian, lecz o czas ich wprowadzenia, bowiem konieczność zastąpienia konwencjonalnej produkcji i przetwarzania materiałów oraz utylizacji odpadów materiałowych w zamknięte pętle przepływów ma charakter imperatywny, a nie jedynie opcjonalny, i to zarówno w ujęciu mikro- jak i makroekonomicznym.

¹⁰ Loiseau E., Saikku L., Antikainen R., Droste N., Hansjürgens B., Pitkänen K., Leskinen P., Kuikman P., Thomsen M.: *Green Economy and Related Concepts: An Overview*. "Journal of Cleaner Production" 2016, vol. 139, s. 361-371.

¹¹ Sauv  S., Bernard S., Sloan P.: *Environmental Sciences, Sustainable Development and Circular Economy: Alternative Concepts for Trans-Disciplinary Research*. "Environmental Development" 2016, vol. 17, s. 48-56.