PROBLEMY KOLEJNICTWA
RAILWAY REPORT Zeszyt 181 (grudzień 2018) ISSN 0552-2145 (druk) ISSN 2544-9451 (on-line)

Przyjazny dla środowiska recykling podkładów kolejowych

Andrzej WOJCIECHOWSKI[1], Adam DOLIŃSKI[2],
Jolanta Maria RADZISZEWSKA-WOLIŃSKA[3], Marta WOŁOSIAK[4]

Streszczenie
Surowce mineralne i naturalne surowce energetyczne powinny być w większym stopniu zastępowane przez surowce wtórne pozyskane z odpadów poużytkowych i poprodukcyjnych, których ilość nieustannie wzrasta. Postulaty te są podstawą programu Wspólnoty: *Zero Waste for Europe*. Koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym powinna być również wdrożona w sektorze kolejowym w celu zapewnienia właściwego zagospodarowania odpadów oraz zapewnienia oszczędności energii i odzysku materiałów. W artykule przedstawiono kierunki działań technologicznych, mające zapewnić rozwój jednocześnie chroniąc środowisko i zasoby naturalne.
Procesowi recyklingu powinny podlegać między innymi wyeksploatowane drewniane podkłady kolejowe impregnowane olejem kreozotowym powodujące największe problemy środowiskowe.
Opisano zasady stosowania i wymagania dotyczące drewnianych elementów nawierzchni kolejowej nasycanych olejem kreozotowym. Przedstawiono także czynniki utrudniające kompleksowe podejście do recyklingu tych wyrobów. Scharakteryzowano procesy termicznego rozkładu odpadów organicznych metodą termolizy oraz właściwości pozyskanych produktów z wyeksploatowanych drewnianych podkładów kolejowych.

Słowa kluczowe: rozkład termiczny, odpady, zamknięty obieg materiałowy, GZO, olej kreozotowy, podkłady kolejowe

1. Wstęp

Gospodarka Unii Europejskiej jest narażona na niedobór surowców i źródeł energii oraz na nieustannie zwiększające się koszty ich pozyskania. Zagospodarowanie odpadów jest jednym z elementów ogólnej strategii gospodarki odpadami we Wspólnocie. Występujący obecnie gwałtowny rozwój gospodarczy, w szczególności elektroniki i transportu, wymusza stworzenie odpowiednich rozwiązań technicznych, jak również innowacyjnych koncepcji związanych z organizacją recyklingu i odzysku. W celu ochrony środowiska, przy równoczesnym rozwoju ekonomicznym, konieczne wydaje się kształtowanie polityki opartej na idei gospodarki w obiegu zamkniętym (*Circular Economy*). Takie założenia recyklingu i odzysku wymagają odpowiedniej, proekologicznej postawy społeczeństwa w stosunku do producentów wyrobów, którzy już na etapie projektowania są zobowiązani uwzględniać tę koncepcję. Należy dążyć do zastosowania najbardziej efektywnych technologii odzysku i unieszkodliwiania / utylizacji wyeksploatowanych produktów. Ponadto, recykling jest wielką szansą dla zrównoważonej gospodarki. Idea recyklingu i odzysku w gospodarce zamkniętego obiegu stanowią podstawę do uzyskania w UE celu „Zero odpadów w 2050 roku dla Europy" (ang. *Zero Waste for Europe*) [7].

Dotychczasowy rozwój gospodarki wymagał ciągłego wzrostu zwiększonego zużycia surowców i energii. Rezultatem wzrostu wydobycia surowców i konsumpcji energii jest wzrastające zanieczyszczenie i degradacja środowiska. Z tego dowodu, aby zapewnić rozwój, chroniąc jednocześnie środowisko i zasoby naturalne, niezbędna jest polityka uwzględniająca cykl życia produktu (*Product Life Cycle*), będąca efektywnym narzędziem wdrażania gospodarki zamkniętego obiegu (GZO) materiałowego (*Circular Economy*). Surowce wtórne, pozyskane z odpadów poużytkowych i poprodukcyjnych, powinny stopniowo zastępować mineralne surowce energetyczne.

Powinno dążyć się do zminimalizowania hiperkonsumpcji w zakresie globalnym, jak również podjąć działania nad systemem związanym z bezpieczeństwem transportu i dostaw na potrzeby społeczne również w warunkach zagrożenia (wojna, terroryzm, rozruchy, kataklizmy itd.).

[1] Dr hab. inż.; Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Wydział Zarządzania w Krakowie; e-mail: awojciech@zarz.agh.edu.pl.
[2] Mgr inż.; Instytut Mechaniki Precyzyjnej; e-mail: adam.dolinski@imp.edu.pl.
[3] Dr inż.; Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Badań Materiałów i Elementów Konstrukcji; e-mail: Radziszewska-wolinska@ikolej.pl.
[4] Mgr; WGW Green Energy Poland Sp. z o.o.; e-mail: wgw.marta@onet.pl.

2. Gospodarka o zamkniętym obiegu materiałowym

Koncepcja gospodarki o obiegu zamkniętym również powinna być wdrożona w sektorze kolejowym w celu zapewnienia właściwego zagospodarowania odpadów oraz zapewnienia oszczędności energii i odzysku materiałów. Nowe technologie zagospodarowania odpadów organicznych i mieszanych przyczyniają się do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych oraz zanieczyszczenia środowiska, a także do pozyskania półproduktów z odpadów, co pozwala zmniejszać zapotrzebowanie na surowce pierwotne. Z tego powodu procesowi recyklingu w pierwszej kolejności powinny podlegać wyeksploatowane drewniane podkłady kolejowe, których zagospodarowanie powoduje największe problemy środowiskowe. Gospodarka o obiegu zamkniętym ma przyczynić się do zwiększenia trwałości produktów i ich optymalizacji pod względem łatwości naprawy i ponownego użycia oraz do ograniczenia zużycia i marnotrawstwa zasobów naturalnych [7]. Na rysunku 1 przedstawiono schemat funkcjonowania gospodarki o zamkniętym obiegu materiałowym.

Rys. 1. Schemat gospodarki o zamkniętym obiegu materiałowym; opracowano na podstawie [10]

W celu efektywnego wdrożenia GZO, do cyklu obiegu materiałów należy dołączyć wszystkie istotne strumienie odpadów poeksploatacyjnych. Zasobem takim są drewniane elementy infrastruktury kolejowej, w szczególności zużyte podkłady, mostownice i podrozjazdnice kolejowe. Elementy te, ze względu na stosowaną impregnację, nie nadają się bezpośrednio do użycia jako paliwo energetyczne, ponieważ zawierają niebezpieczny (toksyczny) olej kreozotowy i są klasyfikowane jako odpad niebezpieczny [8]. Również wykorzystanie zużytych podkładów kolejowych jako paliwa w kotłach centralnego ogrzewania albo w blokach energetycznych jest nieefektywnym i niebezpiecznym dla środowiska i zdrowia ludzi sposobem ich zagospodarowania. Wymagałoby to zastosowania specjalnych filtrów oraz wysokiej temperatury ich spalania (powyżej 850°C w czasie min. 2 sek.) lub zastosowania kosztownego pieca dwukomorowego z dopalaniem spalin w celu pozbycia się kancerogennych dioksyn i furanów.

3. Zasoby infrastruktury kolejowej

Wobec narastającej degradacji środowiska i zmniejszania się nieodnawialnych zasobów naturalnych, przetwarzanie odpadów staje się koniecznością gospodarczą oraz nakazem nowoczesnej gospodarki. Dynamika rozwoju gospodarczego przesądza o potrzebie rozwoju technologii recyklingu odpadów i odzysku materiałowym. Gospodarki najbardziej uprzemysłowionych krajów świata bardzo mocno wsparły inicjatywy w zakresie recyklingu odpadów, w tym szczególnie odzysku produktowego i materiałowego, wskazały kierunek potencjalnych prac badawczo-rozwojowych i badań przemysłowych, służących optymalnemu zagospodarowaniu odpadów.

Infrastruktura kolejowa jest jednym z największych rynków materiałochłonnych i dlatego stanowi również największy zasób potencjalnych odpadów (długi czas eksploatacji). Dane GUS i PKP PLK pokazują, że długość eksploatowanych linii kolejowych (stan na 31.12.2015) wynosi:

- linie jednotorowe – 10 623 km,
- linie dwutorowe i wielotorowe – 8 617 km.

Według danych na 31.12.2014 r. elementy infrastruktury kolejowej eksploatowane na sieci PKP PLK S.A. kształtują się następująco:

- 36 100 km torów szlakowych i stacyjnych,
- 40 343 szt. rozjazdów,
- 24 858 torokilometrów (tkm) sieci trakcyjnej.

Oznacza to ogromną liczbę elementów, które po wyeksploatowaniu kwalifikują się do wymiany, unieszkodliwiania / utylizacji, recyklingu i odzysku.

4. Materiały drzewne nawierzchni kolejowej

Podkłady kolejowe są wykonywane z drewna sosnowego, dębowego i bukowego. Drewno jest naturalnym materiałem kompozytowym, przez co ma dobre właściwości, np. jeśli chodzi o elastyczność, wytrzymałość i odporność na warunki pracy (odporność na zmienne warunki atmosferyczne i gruntowe) [3]. Ze względu na miejsce zastosowania, drzewne elementy nawierzchni kolejowej występują jako: podkłady, podrozjazdnice i mostownice (rys. 2).

Rys. 2. Przykładowy schemat zastosowania podkładów i podrozjazdnic drewnianych na linii kolejowej [3]

Podkłady drewniane są wciąż stosowane z powodów technicznych (np. odporność na zmiany temperatury, występowanie elastycznego gruntu i podsypki niskiej jakości), jak również ze względów ekonomicznych (są tańsze od strunobetonowych). W tablicy 1 przedstawiono strukturę wiekową eksploatowanych podkładów kolejowych według stanu na dzień 31.12.2016 r. [3], natomiast rysunek 3 przedstawia widok podkładów drewnianych po impregnacji oraz zdemontowanych z linii kolejowych po wyeksploatowaniu.

5. Impregnacja (nasycanie) podkładów kolejowych olejem

Podkłady podlegają nasycaniu olejem kreozotowym przy zastosowaniu wysokociśnieniowej metody Rüpinga, zwanej metodą próżniowo-ciśnieniową lub pustokomórkową [3, 4, 6]. Największą zaletą tej metody jest zwiększenie odporności i trwałości drewna, co jest bardzo istotne z punktu widzenia zastosowania podkładu impregnowanego do budowy nawierzchni kolejowej (np. podkład bukowy po impregnacji ma trwałość do 30 lat, a nieimpregnowany tylko do 3 lat). Rysunek 4 przedstawia autoklaw do przeprowadzania procesu impregnacji metodą Rüpinga oraz schemat procesu nasycania podkładów drewnianych [3]. Stosowany olej kreozotowy [13] otrzymywany z frakcji olejowych pochodzących z destylacji smoły koksowniczej mimo zalet takich jak:

- dobre właściwości antygnilne i bakteriobójcze,
- nie usuwa się z materiału drzewnego pod wpływem wody lub wilgoci gruntowej,
- nie zmienia swych właściwości pod wpływem składników gruntowych,
- ma wady, do których należy przede wszystkim zaliczyć zawartość związków kancerogennych.

Tablica 1

Struktura wiekowa eksploatowanych podkładów kolejowych według stanu na dzień 31.12.2016 r.

Rodzaj podkładów	Liczba ogółem [mln szt.]	Okres żywotności [lat]	Podkłady eksploatowane po okresie żywotności	
			Liczba [mln szt.]	[%] danego rodzaju
iglaste	17,8	18	13,7	77,0
liściaste	2,3	25	0,7	30,4
strunobetonowe	37,0	35	5,8	15,7
pozostałe	1,2	30	0,5	41,7
Razem	**58,3**	–	**20,7**	**35,5**

[Źródło: Biuro Dróg Kolejowych PKP PLK, 2017 r.]

Rys. 3. Widok impregnowanych podkładów (podrozjazdnic): drewnianych (a, b) oraz zdemontowanych z linii kolejowej po wyeksploatowaniu (c, d, e) [3]

Rys. 4. Widok autoklawu oraz schemat procesu nasycania podkładów drewnianych do przeprowadzenia procesu impregnacji metodą Rüpinga (a) oraz schemat procesu Rüpinga (b); opracowano na podstawie [3]

Chociaż w procesie impregnacji niecała objętość podkładu ulega nasyceniu, zgodnie z danymi tablic 2–4, powołanie [11, 12], to jak podano w rozdziale 2 artykułu, recykling podkładów drewnianych wymaga zastosowania specjalnych metod.

6. Rozkład termiczny odpadów organicznych

Efektywną metodą zagospodarowania uciążliwych dla środowiska odpadów poeksploatacyjnych, których przeważającym składnikiem są materiały organiczne, jest niskotemperaturowy proces rozkładu termicznego (termoliza). Polega ona na beztlenowym rozkładzie termicznym segregowanych odpadów w szczelnym reaktorze w temperaturze do 490°C. Na rysunku 5 przedstawiono stosowane obecnie rodzaje procesów rozkładu termicznego odpadów [2].

Dotychczas opracowano m.in. procesy rozkładu termicznego metodą termolizy odpadów z opon samochodowych oraz innych elastomerów (uszczelki, pasy transmisyjne i inne), jak również polimerów oraz odpadów wielomateriałowych (m.in. opakowań typu TetraPak, odpadów medycznych z diagnostyki, tone-

Tablica 2

Wymagania według PN-D-95014 – wnikanie oleju (głębokość przesycenia)

Rodzaj drewna	Strefy drewna	Głębokość przesycenia
sosnowe	biel niezasiniona	na całej grubości warstwy bielu
	biel zasiniona	80% grubości warstwy bielu
	odkryta twardziel	min. 7 mm od powierzchni
dębowe	biel o grubości do 20 mm	na całej grubości warstwy bielu
	biel o grubości >20 mm	80% grubości warstwy bielu
	odkryta twardziel	min. 4 mm od powierzchni
bukowe	biel na całym przekroju poprzecznym	80% grubości warstwy bielu
	biel o grubości do 60 mm	na całej grubości warstwy bielu
	odkryta fałszywa twardziel	min. 5 mm od powierzchni

[Opracowanie własne].

Tablica 3

Wymagania według PN-D-95014 – ilość pochłoniętego oleju (retencja)

Rodzaj drewna	Rodzaj wyrobu	Ilość pochłoniętego oleju impregnacyjnego [kg/m³ drewna]	Dopuszczalne odchylenia [%]
sosnowe	podkłady	100	−10 do + 20
	podrozjazdnice	100	
	mostownice	80	
dębowe	podkłady	50	−10 do + 20
	podrozjazdnice	50	
	mostownice	45	
bukowe	podkłady	150	−10 do + 20
	podrozjazdnice	150	
	mostownice	150	

[Opracowanie własne].

Tablica 4

Porównanie wymagań norm – głębokość przesycenia drewna (wyraźna biel i twardziel)

Rodzaj drewna	Głębokość przesycenia drewna według:	
	PN-EN 13145	PN-D-95014
sosnowe	pełne przesycenie bieli według PN-EN 351-1	min. 7 mm od powierzchni (odkryta twardziel)
dębowe	jw.	min. 4 mm od powierzchni (odkryta twardziel)
bukowe	jw.	min. 5 mm o powierzchni (odkryta fałszywa twardziel)

[Opracowanie własne].

rów i inne), w których pozyskiwanymi produktami są: frakcja gazowa, ciekła (olej) i stała (karbonizat, kord stalowy, folia aluminiowa i inne) [2].

Firma WGW Green Energy Poland Sp. z o.o. [15] rozwinęła te metody, unowocześniając konstrukcję urządzenia i optymalizując proces technologiczny. Umożliwia on pozyskanie, w sposób ekonomicznie uzasadniony, wartościowych, o oczekiwanej jakości produktów rozkładu z przeznaczeniem na wyroby rynkowe. Przy współpracy z Instytutem Mechaniki Precyzyjnej, firma WGW w ramach prac badawczo-rozwojowych opracowała także technologię przetwarzania odpadów wielomateriałowych, w szczególności takich jak: opakowania typu TetraPak, niebezpieczne odpady poeksploatacyjne oraz odpady diagnostyki medycznej (rys. 6–8) [2, 16].

Rys. 5. Schemat procesów rozkładu termicznego odpadów [2]

a) b) c)

Rys. 6. Przykładowe instalacje rozkładu termicznego metodą termolizy; urządzenia badawczo-testowe: a) WGW-1, b) WGW-8, c) WGW-10^{EU} [2]

Rys. 7. Przykładowe odpady, podlegające przekształceniu na surowce w procesie termolizy [2]

Rys. 8. Przykładowe produkty uzyskiwane w procesie rozkładu termicznego różnorodnych odpadów (oleje palne, karbonizat, złom stalowy / metalowy, folia aluminiowa) [2]

Termoliza / piroliza jest procesem zbliżonym do, znanej od XIX stulecia, technologii suchej destylacji drewna, polegającej na rozkładzie termicznym drewna bez dostępu powietrza (lub zminimalizowanym jego dostępie), w reaktorach, podgrzewanych do temperatury około 500°C. Produktami rozkładu termicznego drewna są węgiel drzewny, gaz drzewny, ocet drzewny (kwas octowy, metanol) oraz smoła [5, 9]. Powstający w trakcie procesu gaz drzewny, tzw. *holzgas* składa się głównie z wodoru (około 20% obj.), tlenku węgla (około 20%) i niewielkich ilości metanu oraz niepalnego azotu (około 50–60%), dwutlenku węgla i pary wodnej. Dawniej, gaz drzewny był stosowany jako paliwo do zasilania silników spalinowych w samochodach oraz np. kotłów grzewczych.

Nowoczesna technologia rozkładu termicznego opracowana przez firmę WGW daje gwarancję bezpiecznego przetwarzania różnorodnych odpadów organicznych i mieszanych oraz zagospodarowania wszystkich pozyskanych produktów. Obecnie, firma WGW we współpracy z Instytutem Kolejnictwa postanowiła opracować przyjazną dla środowiska, optymalną technologię rozkładu termicznego metodą termolizy wyeksploatowanych drewnianych podkładów kolejowych łącznie z kompleksową technologią zagospodarowania pozyskanych produktów rozkładu na potrzeby rynkowe.

7. Rozkład termiczny odpadów organicznych – podkłady kolejowe

Dotychczasowe eksperymenty wykazały, że nic nie stoi na przeszkodzie wdrożenia wstępnie opracowanej technologii procesu recyklingu odpadów drewnianych podkładów kolejowych łącznie z innymi odpadami drewnianymi (np. zrębki). Zrębki drzewne są to małe kawałki drewna o rozmiarach od kilku milimetrów do 10 cm, powstające w wyniku rozdrabniania w maszynach zwanych rębakami lub z obróbki drewna w tartaku (m.in. na podkłady kolejowe). Wydaje się, że opisywana metoda stwarza dobre perspektywy zagospodarowania istniejących zasobów kolejowych odpadów poeksploatacyjnych. Będzie ona ważnym uzupełnieniem wyposażenia infrastruktury kolejowej w system umożliwiający wprowadzenie Gospodarki Zamkniętego Obiegu (GZO) w kolejnictwie.

8. Próbne procesy rozkładu termicznego wyeksploatowanych drewnianych podkładów kolejowych metodą termolizy

Wykonano pierwsze próby rozkładu termicznego odpadów drewnianych (zrębków oraz rozdrobnionych wyeksploatowanych podkładów kolejowych) metodą termolizy. Próby wykazały, że istnieje duże prawdopodobieństwo wdrożenia procesu ich unieszkodliwiania / utylizacji na skalę przemysłową. W tablicy 5 przedstawiono skład węgla drzewnego otrzymanego w wyniku termolizy 20 kg zrębków podkładu kolejowego, a na rysunku 9 – produkty stałe uzyskane w procesie rozkładu termicznego podkładów kolejowych. Karbonizat, otrzymany w wyniku termolizy, poddano także w Instytucie Kolejnictwa oznaczeniu emisji gazów toksycznych przy spalaniu. Pomiar przeprowadzono z zastosowaniem testu jednokomorowego według normy PN-EN ISO 5659-2 [2] (przy natężeniu promieniowania 25 kW/m^2) w połączeniu z analizatorem FTIR. Analizator ten wykorzystuje metodę spektroskopii Fouriera w zakresie podczerwieni i tzw. dalekiej podczerwieni (25–1000·10^{-6} m). Tablica 6 prezentuje wyniki przeprowadzonej analizy.

Tablica 5

Wyniki badań laboratoryjnych próbek węgla drzewnego otrzymanego z procesu termolizy

Nr próbki	Rodzaj próbki	Wilgotność [%]	Popiół [%]	Części lotne [%]	C_{fix} [%]
1	zrębka dębowa skarbonizowana	4,80	**1,40**	22,46	**76,17**
2	zrębka olchowa skarbonizowana	3,84	**1,30**	24,48	**74,23**
3	zrębka olchowa skarbonizowana	2,69	**1,70**	22,58	**75,73**
4	zrębka dębowa skarbonizowana	2,65	**1,20**	20,76	**78,04**
5	zrębka dębowa skarbonizowana	1,99	**0,90**	20,76	**78,34**
6	podkłady kolejowe skarbonizowane	36,87	**2,10**	28,73	**69,17**

[Opracowanie własne]

Rys. 9. Produkty stałe uzyskane po procesie rozkładu termicznego podkładów kolejowych [2]

Tablica 6

Wyniki badań toksyczności dla spalanego karbonizatu przy zastosowaniu testu jednokomorowego według PN-EN ISO 5659-2 przy natężeniu promieniowania 25 kW/m² w połączeniu z analizatorem FTIR

Związek chemiczny	Toksyczność w 4 minucie. Wartości średnie [mg/m³]	Toksyczność w 8 minucie. Wartości średnie [mg/m³]
CO_2	1629,62	4019,91
CO	127,46	333,63
SO_2	3,26	4,96

[Opracowanie własne]

9. Rozkład termiczny wyeksploatowanych drewnianych podkładów kolejowych

Biorąc pod uwagę dane dotyczące liczby eksploatowanych podkładów kolejowych z drewna liściastego i iglastego (tabl. 1), można założyć, że liczba podkładów przeznaczonych do utylizacji lub unieszkodliwiania, wynosi ponad 20 mln szt. Przy średniej masie podkładu około 80 kg, można z nich otrzymać równoważność w formie podkładów kolejowych wynoszącą 1.600.000 Mg. Daje to perspektywy opracowania optymalnej technologii przetwarzania odpadów z podkładów kolejowych na skalę przemysłową przy założeniu wdrożenia, we współpracy z Instytutem Kolejnictwa, właściwej logistyki przedsięwzięcia, a także dostosowania konstrukcji urządzenia WGW do charakteru i gabarytów stosowanego wsadu.

Istotne jest także opracowanie procesu technologicznego rozkładu termicznego tych materiałów w celu wyeliminowania zagrożenia niebezpiecznych emisji z uwagi na skład substancji impregnujących drewno. W szczególności należy zaprojektować i przeprowadzić próby systemu oczyszczania gazów potermolitycznych i monitorowania ich składu, być może z wykorzystaniem aparatury używanej standardowo do oznaczania emisji gazów toksycznych przy spalaniu [14].

10. Podsumowanie

Gospodarka zamkniętego obiegu w tym recykling i odzysk stanowi imperatyw nowoczesnej gospodarki. Uciążliwe dla środowiska i niebezpieczne odpady poeksploatacyjne, które w większości są zbudowane z materiałów organicznych, powinny być zagospodarowywane zgodnie z przepisami ochrony środowiska, najkorzystniej – przetwarzane na różne formy paliw (olej, gaz, węgiel, wodór, alkohol itp.) w celu uzyskania dywersyfikacji źródeł energii i zminimalizowania degradacji środowiska. Unia Europejska narzuciła ostre wymagania związane z odpadami i aby nie płacić wysokich kar, każdy kraj musi uzyskać wysokie wskaźniki w zakresie:

- recyklingu odpadów komunalnych na poziomie 70% do 2030 r.,
- redukcji składowania odpadów do maksymalnie 10% do 2030 r.,
- całkowitego zakazu składowania odpadów segregowanych.

Parlament Europejski i Komisja Europejska pracują nad wspólnym stanowiskiem dotyczącym gospodarki odpadami. Jedną z radykalnych inicjatyw jest zaprzestanie spalania odpadów najpóźniej w 2020 r. [1]. Obecnie wystąpiły trudności w uzyskaniu zgody państw członkowskich na te propozycje Komisji oraz Parlamentu Europejskiego.

Ze względu na podkreślaną w Strategii 2020 i w Polityce Zrównoważonego Rozwoju konieczność wzrostu znaczenia transportu kolejowego w gospodarce, dotychczasowe tradycyjne rozwiązania należy dostosować do wymogów innowacyjnej gospodarki, a w szczególności do wdrażanej obecnie gospodarki zamkniętego obiegu. W najbliższym czasie powinny zostać rozwiązane najważniejsze problemy umożliwiające recykling wyeksploatowanej infrastruktury kolejowej (w tym w szczególności podkładów):

1) cykl życia infrastruktury kolejowej wynoszący kilkadziesiąt lat, utrudnia podejście do recyklingu z uwagi na fakt, że trudno przewidzieć jakie technologie recyklingu będą dostępne za 50 lub 100 lat,
2) relatywnie niewielkie zainteresowanie organów administracji rządowej i samorządowej recyklingiem elementów infrastruktury kolejowej, z powodu braku uciążliwości odpadów przechowywanych na terenach przedsiębiorstwa kolejowego (właściciel dużych obszarów gruntu),
3) używanie niektórych materiałów, obecnie stosowanych w produkcji, może być zakazane, np. za 20 lat, co spowoduje, że nie będą mogły podlegać przetwarzaniu (recyklingowi) zgodnemu z przepisami ochrony środowiska,
4) niezbędne są innowacyjne, przyjazne dla środowiska technologie przekształcania odpadów niebezpiecznych o długotrwałej stopie zwrotu inwestycji, co bez pomocy rządu jest trudne do zrealizowania ze względu na zasięg i cykl wdrożenia.

Ostatecznym celem polityki energetyczno-klimatycznej i gospodarki UE jest doprowadzenie w 2050 r. do całkowitego braku odpadów.

Literatura

1. *Circular Economy: Szanse i zagrożenia dla Polski i Europy*, Biuro Informacyjne Parlamentu Europejskiego i Przedstawicielstwa Komisji Europejskiej, konferencja 23.10.2015, dostępny na WWW: http://www.europarl.europa.eu/poland/pl/strona_glowna/aktualnosci/news/2015pl/pazdziernik_2015/circular_economy_20151022.html [dostęp: 16.05.2018].
2. Doliński A. i inni: *Recykling i odzysk materiałowy z PWZE w ramach GZO,* Autobusy. Bezpieczeństwo i ekologia, 2016, Tom 12.
3. Fabijański M., Antolik Ł., Kowalik P.: *Impregnacja drewnianych podkładów kolejowych olejem kreozotowym. Właściwości drewna twardego. Pękanie, a właściwości mechaniczne podkładów bukowych*, Instytut Kolejnictwa, Konferencja Międzynarodowa „Najnowsze Technologie w Transporcie Szynowym", 2016 r.
4. Jaworska. A., Milczarek D., Naduk E.: *Impregnowanie drewnianych podkładów kolejowych z uwzględnieniem właściwości fizykochemicznych stosowanych środków ochrony drewna*, Problemy Kolejnictwa 2013, zeszyt 161.
5. Kardaś D. i inni: *Modelowe kompleksy agroenergetyczne: Teoretyczne i eksperymentalne aspekty pirolizy drewna i odpadów;* Wydawnictwo UWM, Olsztyn 2014.
6. Kawczyński R.: *Nasycanie drewna środkami chemicznymi*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1972.
7. Komunikat Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów, *Zamknięcie obiegu – plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym,* Komunikat KE COM(2015) 614 final; 2.12.2015 r.
8. Kukulska-Zając E., Król A., Krasińska A.: *Legal aspects of waste railway sleepers management*, Chemik 2014, 68, 11, 979–982.
9. Lewandowski G., Milchert E.: *Współczesna technologia suchej destylacji drewna*, Chemik 2011, 65, 12, 1301–1306.
10. Move To A Circular Economy In Poland – Current State And Perspectives PolSCA.PAN Conference, European Parliament [Dec. 7, 2016].
11. PN-D-95014:1997: Nawierzchnia kolejowa – Sosnowe, dębowe i bukowe materiały drzewne nawierzchni kolejowej nasycane olejem impregnacyjnym.
12. PN-EN 13145+A1:2012: Kolejnictwo – Tor – Podkłady i podrozjazdnice drewniane.
13. PN-EN 13991:2004: Pochodne z pirolizy węgla – Oleje na bazie smoły węglowej: olej kreozotowy – Wymagania techniczne i metody badań.
14. PN-EN ISO 5659-2: Tworzywa sztuczne. Wytwarzanie dymu. Część 2: Oznaczanie gęstości optycznej dymu metodą testu jednokomorowego.
15. Recykling odpadów i tworzyw sztucznych – WGW Green Energy Poland, dostępny na WWW: https://wgwenergy.pl/, [dostęp 16.05.2018 r.].
16. Wojciechowski A., Wołosiak M., Radziszewska-Wolińska J.M., Doliński A.: *Przyjazny dla środowiska recykling podkładów kolejowych,* prezentacja na III Międzynarodowej Konferencji „Najnowsze technologie w transporcie szynowym", Instytut Kolejnictwa 15–16.11.2017 r.

Procentowy wkład autorów do artykułu:
A. Wojciechowski: 35%, A. Doliński – 35%, J.R-Wolińska – 20%, M. Wołosiak – 10%.