

Marta Wójcik

Możliwości recyklingu różnych frakcji odpadów w budownictwie drogowym

JEL: Q01. DOI: 10.24136/atest.2018.029.

Data zgłoszenia: 28.03.2018. Data akceptacji: 01.05.2018.

Rosnąca konsumpcja oraz wzrost poziomu i stylu życia skutkują powstawaniem różnorodnych frakcji odpadów, często o korzystnych właściwościach z punktu widzenia gospodarki. Pomimo rozwoju technologii recyklingu, większość produktów odpadowych nadal poddawana jest procesom unieszkodliwiania poprzez składowanie. Specyficzna charakterystyka różnych frakcji odpadów, m.in. odpadów energetycznych powoduje, że ich składowanie jest marnotrawieniem cennych surowców o dużym potencjale zagospodarowania. W artykule przedstawiono możliwości recyklingu odpadów w budownictwie drogowym, zorientowane na ochronę środowiska oraz ograniczenie zużycia surowców naturalnych.

Słowa kluczowe: budownictwo, budownictwo drogowe, recykling, odpady energetyczne, odpady budowlane, odpady gumowe.

Wstęp

Zaostrezenie przepisów prawnych związanych z gospodarką odpadami narzuca obowiązek uzyskania jak najwyższych poziomów recyklingu i odzysku różnych frakcji odpadów,

z jednoczesną stopniową eliminacją procesu składowania. Jednakże, składowanie jest nadal jedną z najpopularniejszych metod unieszkodliwiania odpadów, co nie rozwiązuje problemu szkodliwego wpływu różnorodnych substancji na środowisko. Nagromadzone na składowiskach odpady są źródłem powstawania odcieków, często o wysokiej toksyczności działania. Pociąga to za sobą konieczność wdrażania technologii recyklingu odpadów, z jednoczesnym uwzględnieniem aspektów ekonomicznych przedsięwzięcia [1].

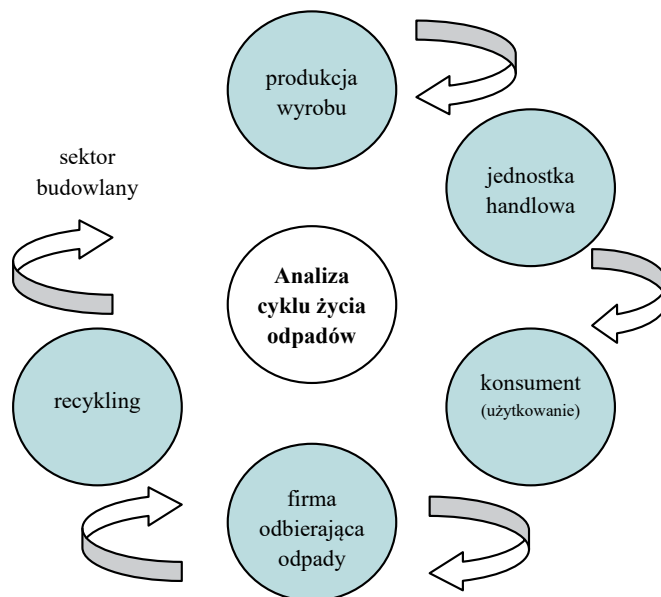
Różne frakcje odpadów związanych z działalnością człowieka, w tym z transportem towarów lub osób, z uwagi na specyficzne właściwości fizykochemiczne wykazują przydatność w wielu dziedzinach gospodarki. Odpady gumowe pochodzące z pojazdów, w tym również z autobusów; odpady energetyczne oraz hutnicze mogą być z powodzeniem stosowane jako substytut innych produktów w budownictwie drogowym. Skutkuje to rozwojem proekologicznego i jednocześnie nowoczesnego budownictwa, stosowanego na szerszą skalę w krajach zachodnich, a w Polsce znajdującym się dopiero na etapie wdrażania. Ekologiczne i nowoczesne budownictwo drogowe powinno charakteryzować się niską uciążliwością dla środowiska, oszczędnością zużycia surowców naturalnych oraz związaną z tym redukcją kosztów [14]. Dodatkowo po zakończeniu eksploatacji, materiały zastosowane w drogownictwie powinny wykazywać podatność na dalsze procesy odzysku i recyklingu. Użycie odpadów na etapie budowy dróg w charakterze niekonwencjonalnych dodatków idealnie wpisuje się zarówno w ideę nowoczesnego i proekologicznego budownictwa, jak i określoną w polskim prawodawstwie hierarchię postępowania z odpadami.

1. Recykling odpadów w budownictwie drogowym

Budownictwo, w tym budownictwo drogowe wykazuje duży potencjał zagospodarowania różnorodnych frakcji odpadów. Prawidłowe stosowanie odpadów w charakterze dodatków do produkcji asfaltu lub jako jedna z warstw drogowych pozwala korzystnie modyfikować właściwości materiałów, przy jednoczesnym uwzględnieniu zasad ochrony środowiska. Recykling odpadów w sektorze budowlanym przyczynia się również do wzdrożenia idei ekologicznego cyklu życia, propagowaną przez dyrektywę unijne (rys. 1) [7].

Surowce uzyskane na etapie procesu recyklingu znajdują zastosowanie do produkcji asfaltu. Według doniesień literatury, nawierzchnie asfaltowe stanowią ponad 90% wszystkich nawierzchni w Europie [15]. W Polsce asfalt w budownictwie drogowym stosowany był już od 1926 r., z kolei pierwsze próby modyfikacji materiału przeprowadzono w latach 40. XX wieku. Na etapie badań zarówno w skali technicznej, jak i laboratoryjnej do produkcji asfaltu zastosowanie znalazły: guma z opon samochodowych i autobusowych, żużel stalowniczy, żużel wielkopiecowy, popioły paleniskowe, popioły lotne, lupek węglowy, stłuczka szklana, kruszywo mineralne oraz odpady uzyskane na drodze recyklingu tworzyw sztucznych, piaski formierskie, fosfogipsy, pyły cementowe [8, 14]. Prowadzone są również testy nad możliwością modyfikacji asfaltu z użyciem zeolitów oraz parafiny z gazyfikacji węgla [9]. Wymienione dodatki wpływają na obniżenie temperatury produkcji asfaltu nawet o 30oC oraz poprawę lepkości i urabialności mieszanki.

Niemniej jednak, największą popularność jako dodatek do wytwarzania asfaltu zyskały odpady gumowe (fot. 1) [14]. Modyfikacja gumą ze zużytych opon skutkuje poprawą właściwości



Rys. 1. Analiza cyklu życia odpadów w sektorze budowlanym



Fot. 1. Próbkę asfaltu modyfikowanego gumą [13]

sprężystoplastycznych i wytrzymałościowych asfaltu. Wśród głównych zalet procesu, Król i Radziszewski [4] wymieniają:

- ♦ wzrost lepkości i poprawę właściwości lepko-sprężystych lepiszcza,
- ♦ zmniejszenie podatności lepiszcza na ścieranie,
- ♦ poprawę parametrów wytrzymałościowych asfaltu, zwłaszcza w zakresie niskich temperatur.

Odmierna charakterystyka asfaltu modyfikowanego gumą odzyskaną na drodze recyklingu jest skutkiem zmian właściwości reologicznych materiału, w tym wzrostem lepkości. Dodatkowo, względem tradycyjnych nawierzchni, asfalt zawierający w swoim składzie dodatek gumy wykazuje [4]:

- ♦ lepsze właściwości antypoślizgowe,
- ♦ podwyższoną odporność na działanie czynników atmosferycznych oraz obciążenia wywołane ruchem pojazdów,
- ♦ mniejszą podatność na ścieranie,
- ♦ podwyższoną temperaturę mięknięcia,
- ♦ niższe koszty eksploatacyjne związane z możliwością ograniczenia zużycia surowców.

Na korzyść modyfikacji asfaltu z użyciem gumy przemawia również brak szkodliwego wpływu na zdrowie ludzi, co potwierdziły badania przeprowadzone w Stanach Zjednoczonych przez Państwowy Instytut Zdrowia i Bezpieczeństwa Zawodowego [4].

W ostatnich latach w Polsce obserwuje się rozwój technologii modyfikacji asfaltu gumą, czego przejawem są nowe inwestycje w dziedzinie budownictwa drogowego. Przykładami mogą być nawierzchnie niektórych ulic w Warszawie, Wrocławiu, Pile i Nowym Sączu, przy czym największą inwestycją z zakresu tej technologii była budowa 4,5 km-owego odcinka wschodniej obwodnicy Krakowa (tzw. trasy nowohuckiej) (fot. 2). Jednakże nawierzchnie wykonane z asfaltu modyfikowanego odpadami gumowymi ze zużytych opon stanowią w Polsce rozwiązanie niszowe i zapewniają minimalny stopień wykorzystania granulatu gumowego [13].

Na etapie testów laboratoryjnych, jako dodatek do produkcji asfaltu zastosowanie znalazły również popioły lotne ze spalania węgla oraz popiół otrzymany w wyniku termicznej konwersji osadów ściekowych. Badania przeprowadzone przez Shirodkara i wsp. [5] potwierdziły korzystny wpływ popiołów ze spalania osadów ściekowych na poprawę odporności na pękanie oraz

obciążenia pionowe asfaltu. Inne rezultaty badań wykazały, że mieszanka asfaltowa zawierająca w swoim składzie do 2% popiołu charakteryzuje się zbliżoną wytrzymałością do nawierzchni niemodyfikowanej [6]. Z kolei Dyczek i wsp. [10] zbadali, że dodatek ubocznych produktów spalania paliw skutkuje poprawą parametrów wytrzymałościowych asfaltu w istotny sposób względem tradycyjnej technologii. Dzięki temu możliwe jest ograniczenie zużycia surowców naturalnych i tym samym zmniejszenie nakładów inwestycyjnych na budowę nawierzchni drogowej.

Oprócz składnika mieszanek mineralno-asfaltowych, odpady wykazują przydatność w konstrukcjach drogowych. Największe jednak znaczenie w budownictwie drogowym zyskują odpady lub inne uboczne produkty występujące w dużych ilościach, w szczególności odpady hutnicze, budowlane oraz energetyczne. W zależności od właściwości fizyko-chemicznych, pełnią one funkcje jako podłoże, warstwa ścierna i wiążąca lub są stosowane do niwelacji terenu (tab. 1).

W konstrukcjach budowlanych, na etapie testów laboratoryjnych, stosowane są m.in. kruszywa naturalne i sztuczne, mieszaniny popiołów lotnych i odpadów stałych z wapniowych metod odsiarczania gazów odlotowych, piaski poformierskie, fosfogipsy, szkło tłuczone, pyły cementowe, przefermentowane osady ściekowe oraz odpady drzewne [2, 10]. Intensywne prace badawcze w zakresie możliwości recyklingu odpadów w budownictwie drogowym doprowadziły również do opracowania nowych rozwiązań chronionych patentami, zgłoszeniami patentowymi lub wzorami użytkowymi (tab. 2) [10].

Zalety recyklingu odpadów w budownictwie drogowym

Budownictwo, w tym budownictwo drogowe jest jedną z najszybciej rozwijających się dziedzin gospodarki [3]. Potrzeba zapewnienia łączności pomiędzy różnymi miejscami świata wymaga rozbudowy lub modernizacji dróg. Intensywny rozwój branży drogowej w ostatnich dziesięcioleciach powoduje, że recykling

Tab. 1. Przykłady zastosowań różnych frakcji odpadów w budownictwie drogowym

Rodzaj odpadu	Zastosowanie
żużel wielkopiecowy granulowany	budowa podłoża skarp, nasypów, niwelacja terenu
żużel wielkopiecowy kawałkowy	warstwa ścierna, warstwa wiążąca, podbudowa
żużel stalowniczy	warstwa ścierna, warstwa wiążąca, podbudowa
żużel z huty miedzi	warstwa ścierna, warstwa wiążąca, podbudowa
żużel z huty niklu	jako podłoże, do budowy skarp i nasypów, niwelacja terenu
odpady powęglowe	jako podłoże, do budowy skarp i nasypów
odpady budowlane	jako podłoże, do budowy skarp i nasypów, niwelacja terenu
popioły lotne	jako podłoże, do budowy skarp i nasypów, niwelacja terenu
żużel paleniskowy	jako podłoże, do budowy skarp i nasypów, niwelacja terenu
osady porafineryjne	po przetworzeniu z wapnem palonym do budowy skarp i nasypów, niwelacja terenu
odpady gumowe	warstwa ścierna, warstwa wiążąca, podbudowa, jako podłoże, do budowy skarp i nasypów, niwelacja terenu
popiół ze spalania osadów ściekowych	składnik kruszywa lekkiego, substytut piasku lub cementu w konstrukcjach drogowych

Źródło: oprac. własne na podst. [11].



Fot. 2. Trasa nowohucka wykonana z asfaltu modyfikowanego gumą [16]

Tab. 2. Wykorzystanie odpadów w budownictwie drogowym chronione patentami

Rodzaj odpadu	Numer patentu/ Zgłoszenia patentowego	Zastosowanie
żużel ze stalowni z dodatkiem popiołów	171642	jako składnik podbudowy dróg
popioły lotne z elektrofiltrów	183681 183697	jako materiał wiążący po dodaniu cementu lub kruszywa granulowanego
popioły lotne o różnej wielkości frakcji	P-322558 P-322474	w postaci mieszanek z cementem do wykonywania wałów
żużle, pucolany, dymy krzemowe w postaci spoiwa	P-327548	jako składnik mieszanki zawierającej wapno palone oraz wodorotlenek glinu, przeznaczonych do stabilizacji gruntów przy budowie nasypów dróg
osady ściekowe, wysuszone osady ściekowe, osady z wód powierzchniowych	177273	jako wypełniacz do uszczelniania gruntu
odpady gumowe	P-306330 P-321612	jako składnik kompozycji zawierającej tworzywa sztuczne, do wykonywania urządzeń i elementów bezpieczeństwa ruchu drogowego
fosfogipsy	P-306330 P-321612	jako składnik kompozycji zawierającej tworzywa sztuczne, do wykonywania urządzeń i elementów bezpieczeństwa ruchu drogowego
guma	175009	jako składnik kompozycji bitumicznej modyfikowanej polimerami
opony samochodowe	P-324757 P-336527 P-349478	do budowy ścian oporowych, nasypów lub innych budowli ziemnych
serwatka z produkcji serów	P-329479	jako środek usuwający oblodzenie dróg
pokruszony asfalt z recyklingu nawierzchni	178217 178342	wraz z dodatkiem kruszywa do układania nowych nawierzchni
odpady tworzyw sztucznych	P-349655 W-112502 W-112512	do wykonywania płyt nawierzchni drogowej oraz urządzeń i elementów bezpieczeństwa ruchu drogowego

Źródło: oprac. własne na podst. [11].

różnorodnych odpadów w sektorze budownictwa drogowego jest koniecznością.

Wykorzystanie różnych produktów odpadowych w drogownictwie przynosi ogromne korzyści ekologiczne i ekonomiczne. Recykling odpadów przyczynia się do ograniczenia zużycia surowców, oczywiście pod warunkiem spełnienia kryteriów technicznych i środowiskowych. Zmniejszenie zużycia materiałów i niższe koszty ich pozyskiwania skutkują obniżeniem kosztów inwestycyjnych w konstrukcjach drogowych, co zwiększa opłacalność całej inwestycji. Według Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad, recykling może w pozytywny sposób wpłynąć na rozwój infrastruktury drogowej w kraju, zarówno w zakresie przyszłych inwestycji, jak i podczas modernizacji już funkcjonujących dróg [12].

W zakresie ochrony środowiska, zastosowanie odpadów w budownictwie w znacznym stopniu eliminuje problem ich składowania. Dzięki wdrożeniu technologii produkcji materiałów budowlanych na bazie produktów odpadowych możliwe jest ograniczenie ilości odpadów poddawanych składowaniu nawet o kilkadziesiąt procent.

Na korzyść stosowania odpadów w budownictwie drogowym przemawia również możliwość wytworzenia proekologicznej nawierzchni o wysokich parametrach wytrzymałościowych. Proekologiczne nawierzchnie charakteryzują się zawartością dodatków uzyskanych na etapie recyklingu, minimalizacją powstających odpadów, zmniejszeniem emisji gazów oraz obniżeniem hałasu związanego z ruchem komunikacyjnym [14]. Dodatkowo, nowoczesne i ekologiczne nawierzchnie drogowe powinny odznaczać się odpowiednią szorstkością, co zapewnia dodatek produktów odpadowych. Dzięki

temu, zastosowanie różnorodnych frakcji odpadów w sektorze budowlanym idealnie wpisuje się w ideę nowoczesnego budownictwa oraz zasady zrównoważonego rozwoju.

Pomimo niewątpliwych korzyści recyklingu odpadów w drogownictwie, należy również uwzględnić wady związane z wysokim kosztem i energochłonnością niektórych procesów. Czynnikiem spowalniającym wdrażanie technologii recyklingu są również ograniczenia technologiczne związane z koniecznością budowy odpowiedniej instalacji. Poza problemami technologicznymi i ekonomicznymi istnieją formalne i prawne ograniczenia, według których nie wszystkie produkty odpadowe mogą znaleźć zastosowanie w sektorze budowlanym. Jednakże w ostatnich latach prowadzone są intensywne prace nad modyfikacją przepisów prawnych celem powszechnego użycia odpadów w budownictwie drogowym.

Podsumowanie

Budownictwo drogowe jako siła napędowa procesów globalizacji i regionalizacji międzynarodowej jest jedną z dziedzin gospodarki o największym wpływie na środowisko naturalne [7]. Według Szafranko [7] oraz Górki [2], konsumpcja produktów budowlanych stanowi ponad połowę całkowitej produkcji w Europie, a sam światowy rynek wyrobów betonowych zużywa rocznie ponad 20 mld t kruszyw; 1,5 mld t cementu oraz 800 mld l wody. W związku z powyższym wprowadzenie procesów recyklingu jest w obecnych czasach koniecznością.

Perspektywy wyczerpania się surowców naturalnych oraz wdrażanie zasad ochrony środowiska na wszystkich szczeblach produkcji doprowadziły do rozwoju badań nad zastosowaniem różnych frakcji odpadów w budownictwie, w tym również w budownictwie drogowym. Aktualnie, jako dodatek do produkcji asfaltu zastosowanie znalazły odpady gumowe, pochodzące m.in. ze zużytych opon samochodów osobowych i autobusów. Choć metoda jest powszechnie stosowana w krajach zachodnich, również w Polsce znane są przykłady tras komunikacyjnych o nawierzchni asfaltowej zawierającej komponenty gumowe.

W skali laboratoryjnej prowadzone są również badania nad stosowaniem alterantycznych dodatków, m.in. popiołów lotnych, żużli oraz odpadów z tworzyw sztucznych w konstrukcjach drogowych. Studium literatury potwierdza możliwość stosowania produktów odpadowych jako warstwy podkładowej dróg lub jako materiału do budowy skarp i nasypów, pod warunkiem spełnienia kryteriów środowiskowych i technicznych. Zagospodarowanie odpadów w drogownictwie ogranicza proces składowania, w związku z czym istnieje uzasadniona potrzeba wdrażenia technologii recyklingu na szerszą skalę. Dodatkowo, zastosowanie produktów odpadowych na etapie produkcji materiałów budowlanych poprawia właściwości sprężysto-plastyczne oraz wytrzymałościowe materiałów, co ma istotne znaczenie z punktu widzenia transportu drogowego.

Bibliografia:

1. Abramek K.F., Uzdowski M., *Możliwość recyklingu elementów gumowych z pojazdów wycofanych z eksploatacji*, „Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2011, nr 10.
2. Górka K., *Zasoby naturalne jako czynnik rozwoju społeczno-gospodarczego*, *Gospodarka w praktyce i teorii* 2014, nr 36 (3).
3. Koba H., Skotnicki Ł., Szydło A., *Właściwości asfaltu modyfikowanego gumą – praktyczne zastosowanie*, „Drogownictwo” 2010, nr 11.
4. Król J., Radziszewski P., *Asfalty drogowe modyfikowane gumą – doświadczenia i perspektywy stosowania*. Część I, „Magazyn Autostrady” 2014, nr 4.
5. Shirodkar P., Sonpal K., Norton A., Jahan K., *Evaluation of Fatigue and Rutting Performance of Sewage Sludge Ash (SSA) in Asphalt Concrete*, *Journal of Solid Waste Technology and Management*, 2011, 37 (1).
6. Smol M., Kulczycka J., Henclik A., Gorazda K., Wzorek Z., *The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy*, *Journal of Cleaner Production* 2015, 95.
7. Szafranko E., *Określenie czynników oceny inwestycji budowlanej w ramach procedury LCA*, „Materiały Budowlane – konstrukcje, technologie, rynek” 2017, nr 10.
8. Trzaska E., *Dodatki i modyfikatory do asfaltów drogowych*, *NAFTA-GAZ* 2015, rocznik LXXI, nr 3.
9. Wozuk A., *Projektowanie mieszanki mineralno-asfaltowej na ciepło (WMA) z dodatkiem zeolitu*, „Budownictwo i Architektura” 2013, 12 (4).
10. www.agh.edu.pl/info/article/funkcjonalne-popioły/ (dostęp: 26.10.2017).
11. www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/p/prace-naukowo-badawcze-zrealizow_3435/documents/tn-233.pdf (dostęp: 26.10.2017).
12. www.inzynieria.com/wpis-branzy/wiadomosci/5/8734,recykling-w-drogownictwie (dostęp: 26.10.2017).
13. http://www.muratorplus.pl/technika/osiagniecia-inzynierii/drogi-w-polsce-budowa-drog-z-nawierzchnia-ze-zuzytych-opon_86271.html (dostęp: 26.10.2017).
14. www.teraz-srodowisko.pl/media/pdf/aktualności/3223-ekologiczne-i-ekonomiczne-technologie-drogowe.pdf (dostęp: 25.10.2017).
15. www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materiały_i_tehnologie,artykul,nawierzchnie_asfaltowe,4694 (dostęp: 26.10.2017).
16. <https://www.youtube.com/watch?v=FcP6QXXLm98> (dostęp: 26.10.2017).

Possibilities of recycling of waste in construction industry

The increasing consumerism and the improvement of lifestyle result in the production of various fractions of waste. Some waste indicates specific properties and for this reason, its application is advantageous in many sectors of economy. Regardless to the development of recycling technologies, most of generated waste is dumped. The landfilling of waste is wastage of valuable substances with a great management potential. This paper presents the possibility of recycling of waste in construction and road industry focus on the protection of environment and the reduction of consumption of raw materials.

Keywords: construction industry, road industry, recycling, energetic waste, construction waste, rubber waste.

Autorka:

dr inż. **Marta Wójcik** – Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza