

dr inż. Ewa Sylwia Kamińska<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0002-4547-8775

dr hab. inż. Barbara Rymsza, prof. IBDiM<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0002-0504-2360

# Szacowanie obciążeń środowiska wynikających ze stosowania w drogownictwie materiałów z recyklingu

## *Estimating environmental burdens resulting from the use of recycled materials in road construction*

DOI: 10.15199/33.2023.02.04

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono zagadnienia potencjalnego wpływu na środowisko materiałów wykorzystywanych w budownictwie drogowym, w tym również pochodzących z recyklingu, w kontekście wytycznych polityki klimatycznej i zasobooszczędnej. Zwrócono uwagę na konieczność wypracowania skutecznych działań w kierunku sprostania wyzwaniom gospodarki zrównoważonej i niskoemisyjnej. Wskazano też ocenę cyklu życia produktu (LCA), jako ważny instrument pozyskania informacji o wpływie badanych obiektów na środowisko.

**Słowa kluczowe:** ocena cyklu życia; drogownictwo; polityka klimatyczna; gospodarka zrównoważona i niskoemisyjna.

**Abstract.** The article presents the issues of the potential environmental impact of materials used in road construction, including those from recycling, in the context of climate and resource-saving policy guidelines. Attention was drawn to the need to develop effective actions to meet the challenges of a sustainable and low-emission economy. The product life cycle assessment (LCA) was also indicated as an important instrument for obtaining information on the impact of the tested objects on the environment.

**Keywords:** life cycle assessment; road construction; climate policy; a sustainable and low-carbon economy.

Komisja Europejska przyjęła 30 marca 2022 r. pakiet przepisów, których zapisy umożliwią uznanie trwałości, energooszczędności i zasobooszczędności nowych produktów za normę. Promowane są działania umożliwiające wydłużenie czasu użytkowania, poddawanie procesom naprawy i recyklingu, a w procesach produkcyjnych preferowane jest wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu. Wymienione działania mają umożliwić osiągnięcie celów Europejskiego „Zielonego Ładu” do 2030 r. [1]. W wielu innych regulacjach prawnych, na poziomie prawa UE, zapisano obowiązki państw członkowskich dotyczące prowadzenia działań umożliwiających budowanie „społeczeństwa recyklingu”, którego wyznacznikiem jest duża efektywność odzyskiwania i ponownego wykorzystania surowców wtórnych [2]. Przestrzeganie tych zasad powoduje wydłużenie cyklu życia produktów i przejście do modelu gospodarki cyrkularnej, na etapie projektowania, produkcji, użytkowania, dostaw czy zagospodarowania powstałych odpadów. W prowadzeniu takich działań użyteczne jest LCA (ang. *Life Cycle Assessment*) – metoda pozwalająca zidentyfikować najważniejsze aspekty środowiskowe i ocenić ich potencjalny wpływ na środowisko w całym cyklu życia danego obiektu.

Definicję cyklu życia w krajowym prawodawstwie wprowadzono m.in. do ustawy Prawo zamówień publicznych w 2004 r., w którym LCA zdefiniowano jako: *wszelkie możliwe kolejne lub powiązane fazy istnienia przedmiotu dostaw*

*wy, usługi lub roboty budowlanej, w szczególności badanie, rozwój, projektowanie przemysłowe, testowanie, produkcje, transport, używanie, naprawę, modernizację, zmianę, utrzymanie przez okres istnienia, logistykę, szkolenie, zużycie, wyburzenie, wycofanie i usuwanie* [3]. Kryterium LCA lub kryterium czasu użyteczności przedmiotu zamówienia mogło występować jako jedno z kryteriów oceny ofert. Ma to na celu zbudowanie bazy informacji, która pozwoli na zmniejszenie wykorzystywania zasobów naturalnych, np. przez umożliwienie świadomego wyboru opcji korzystniejszych dla środowiska, zasobooszczędnych, ale przy jednoczesnym uwzględnieniu wymagań społecznych i ekonomicznych [3].

### Wpływ obiektu na środowisko

W rozporządzeniu UE dotyczącym warunków wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych [4] określono, że obiekty budowlane muszą być zaprojektowane i wykonane w sposób umożliwiający wywieranie jak najmniejszego wpływu na otoczenie takiego obiektu w całym cyklu życia [5]. W ostatnich latach wpływ obiektu na środowisko, w tym zasady działania gospodarki cyrkularnej (zwanej również recykularną lub gospodarką o obiegu zamkniętym) są określane w różnych inicjatywach i aktach prawnych. We wrześniu 2015 r. przyjęto program działań, w którym zdefiniowano model zrównoważonego rozwoju na poziomie globalnym (Agenda 2030 na rzecz zrównoważonego rozwoju) wraz z jego siedemnastoma celami, wśród których cel 12 dotyczy *odpowiedzialnej konsumpcji i produkcji*, zgodnej z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym (GOZ) [6, 7]. Zasady monitorowania GOZ

<sup>1)</sup> Instytut Badawczy Dróg i Mostów

<sup>\*</sup> Adres do korespondencji: ekaminska@ibdim.edu.pl

określono w 2018 r. i są one szacowane na podstawie dziesięciu wskaźników, które pogrupowano w bloki: **produkcja; gospodarowanie odpadami; surowce wtórne; konkurencyjność i innowacje** [8].

W 2020 r. wprowadzono rozporządzenie UE 2022/852 zwane dalej „Taksonomią” [9], mające na celu zwiększenie poziomu ochrony środowiska, przez przekierowanie kapitału pochodzącego z inwestycji szkodzących środowisku na działania bardziej ekologiczne. Taksonomię zdefiniowano jako *narzędzie klasyfikacyjne, które pomaga inwestorom i firmom podejmować świadome decyzje inwestycyjne dotyczące działalności gospodarczej przyjaznej dla środowiska* [10]. Taksonomia nie wprowadza wprost zakazu inwestowania w działalność szkodzącą środowisku, ale ekologiczne rozwiązania są traktowane na preferencyjnych warunkach [11].

W celu ustanowienia ram ponownego wykorzystania materiałów powstających podczas inwestycji drogowych opublikowano w Polsce pod koniec 2021 r. Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska w sprawie określenia szczególnych warunków utraty statusu odpadów dla odpadów destruktu asfaltowego [12]. W projektach związanych z budową nowych oraz przebudową użytkowanych ciągów komunikacyjnych powinny być uwzględniane prawne wymagania budowlane, ale również potrzeby społeczeństwa oraz potencjalne zagrożenie wystąpienia trwałych i nieodwracalnych zmian w środowisku [13]. Zasady oraz wytyczne przygotowania inwestycji dotyczące dróg publicznych zawarto w Ustawie z 10 kwietnia 2003 r. o szczególnych zasadach przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie dróg publicznych [14].

W sytuacji prowadzenia prac naprawczych, nowych budów, projektowania kolejnych inwestycji drogowych należy uwzględniać potencjalny wpływ takich działań na stan środowiska lub spełnienie wymagań gospodarki o obiegu zamkniętym. Co istotne, działalność nie służy gospodarce o obiegu zamkniętym, jeżeli prowadzi do braku efektywności w wykorzystywaniu materiałów lub zasobów naturalnych (nieodnawialne źródła energii, surowce, woda i grunty) na co najmniej jednym z etapów cyklu życia produktów [11]. Przy prowadzeniu działalności gospodarczej warto zwrócić uwagę na cztery warunki: wniesienie istotnego wkładu w realizację co najmniej jednego z sześciu celów środowiskowych określonych w Taksonomii [10], niewyrządzenie poważnych szkód w przypadku każdego z celów środowiskowych, prowadzenie działań zgodnie z minimalnymi gwarancjami, spełnienie technicznych kryteriów kwalifikacji. Wśród sześciu celów środowiskowych w Taksonomii zwraca uwagę zapis o: *przejściu na gospodarkę o obiegu zamkniętym oraz zapobieganiu zanieczyszczeniom i ich kontroli* [11]. Opracowano pilotażowe wykorzystanie taksonomii w budownictwie, w aspekcie renowacji budynków (Case study CORESTATE), gdzie m.in. sprawdzono, czy wprowadzone zmiany prowadzą do zmniejszenia zapotrzebowania na energię pierwotną (PED) o co najmniej 30% w odniesieniu do charakterystyki energetycznej budynków przed remontem. Przeanalizowano również, czy renowacja nie wyrządza dużej szkody w stosunku do konieczności spełnienia celów Taksonomii [10].

W Polsce prowadzone są badania dotyczące zastosowania destruktu asfaltowego na potrzeby budownictwa drogowego, np. w aspekcie maksymalnej zawartości granulatu asfaltowego w mieszankach mineralno-asfaltowych (MMA), czy ponownego wykorzystania materiałów pochodzących z nawierzchni drogowych [15 – 16].

## Destrukt asfaltowy

Coraz większe zapotrzebowanie na infrastrukturę drogową i towarzyszący jej ślad środowiskowy powodują konieczność wykorzystania materiałów pochodzących z recyklingu. Destrukt asfaltowy jest mieszanką mineralno-asfaltową, która w wyniku odzysku z odpadów, po spełnieniu odpowiednich warunków ustawowych, utraciła status odpadu [11]. Destrukt asfaltowy to w 95% kruszywo, natomiast pozostałe 5% stanowi lepiszcze [17]. Jest stosowany głównie w mieszankach mineralno-asfaltowych jako częściowy substytut kruszywa, do utwardzania poboczy, dróg serwisowych, leśnych, rolnych, gminnych oraz do podbudów związanych cementem i asfaltem. W USA produkuje się rocznie ok. 45 mln ton destruktu asfaltowego, a dzięki zastosowaniu tego materiału w nowych produktach asfaltowych, zaoszczędzono w 2018 r. 4,1 mln ton lepiszcza pierwotnego i 78 mln ton kruszyw naturalnych [18].

Podczas przebudowy i remontów dróg w Polsce powstaje ok. 4 mln ton destruktu asfaltowego rocznie [19]. Z danych statystycznych pochodzących z lat 2018 – 2019 wynika, że 43% destruktu asfaltowego nie podlegało ponownemu wykorzystaniu. Pod koniec 2019 r. jego zastosowanie do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych oraz do utrzymania poboczy wyniosło 21%. Z danych z 2016 r. wynika, że destrukt w Polsce praktycznie nie podlegał odsprzedaży. Jego zagospodarowanie pozostawało w gestii inwestora lub wykonawcy. Materiał wykorzystywano w ramach tej samej inwestycji lub gromadzony był do późniejszego użycia. Zgodnie z informacjami uzyskanymi od zarządców dróg, 60% destruktu wykorzystywano do umacniania poboczy, a 20 – 30% na warstwy konstrukcyjne nawierzchni drogowych. W sytuacji, kiedy materiał był w dyspozycji wykonawcy – 79% trafiało na warstwy konstrukcyjne nawierzchni, a 21% wykorzystywano do umacniania poboczy [20]. W Niemczech, wg informacji udostępnionych przez Europejskie Stowarzyszenie Nawierzchni Asfaltowych (EAPA), co roku ponad 80% nowo produkowanych MMA ma w swoim składzie granulatu z destruktu asfaltowego. W Polsce jest to nie więcej niż 20 % [19].

Destrukt asfaltowy nie jest uznawany za odpad jedynie w sytuacji, kiedy powstaje podczas frezowania i jest wykorzystany na tej samej drodze np. bezpośrednio po procesie frezowania. W innych przypadkach następuje już proces wytworzenia odpadów. W konsekwencji, taki destrukt asfaltowy, już jako odpad, podlega przepisom ustawy o odpadach, m.in. w zakresie: ewidencji; konieczności uzyskania pozwolenia na wytworzenie (w przypadku instalacji), czy zezwoleń na zbieranie, przetwarzanie i magazynowanie odpadów [17].

Coraz częściej potencjalni inwestorzy, szczególnie mający powiązania z kapitałem zagranicznym, rezygnują ze wspierania inwestycji uzależnionych od paliw kopalnych, wymagają analizy ryzyk, a często analizy śladu węglowego

lub znajomości potencjalnego śladu węglowego inwestycji. W Polsce, w celu podniesienia atrakcyjności pod względem poszanowania środowiska naturalnego, wspomniane wskaźniki mogłyby być w przyszłości kryterium obowiązkowym w przetargach, co umożliwiłoby zdobycie przewagi konkurencyjnej rodzimych inwestorów, również w przestrzeni międzynarodowej.

### Destrukt w drogownictwie w aspekcie LCA

LCA zdefiniowano również jako technikę mającą na celu ocenę efektów, jakie dany wyrób/usługa wywiera na środowisko w trakcie całego cyklu życia, co wyraża się wzrostem efektywnego zużycia zasobów i zmniejszeniem obciążeń środowiska [21]. Wśród metod służących do analizy środowiskowej cyklu życia produktu, największym potencjałem aplikacyjnym charakteryzuje się właśnie LCA oraz pochodne tej metody (śląd węglowy, wodny i ekologiczny) [22].

W Polsce metoda badania LCA została opisana w normach [23, 24], które zawierają procedury postępowania przy opracowaniu analiz LCA. Ponadto zawarte są w nich wytyczne dotyczące oceny oddziaływania i interpretacji wyników przeprowadzonej analizy ekobilansowej. Co istotne, metoda LCA jest podstawą do sporządzenia Deklaracji Środowiskowej Produktu (ang. *Environmental Product Declaration EPD*), będącej dokumentem, w którym znajduje się opis jego oddziaływania na środowisko w całym cyklu życia [25]. Od 1 lipca 2013 r. wszystkie podmioty związane m.in. z produkcją, dystrybucją, importem wyrobów budowlanych, przy ich wprowadzaniu (lub udostępnianiu) na rynku UE, a objętych normami zharmonizowanymi, powinny stosować wymagania Rozporządzenia CPR (ang. *Construction Product Regulation*) i dobrowolną Deklarację Środowiskową Produktu (EPD) [26, 27]. W celu oszacowania potencjalnego wpływu obiektów na środowisko można skorzystać z szeregu narzędzi informatycznych, usprawniających przeprowadzanie analiz (np. SimaPro, GABI, Open LCA czy UMBERTO) oraz wykorzystujących często te same modele np.: CML 2016, IMPACT 2002+, ReCiPe 2016 v. 1.1., ReCiPe 1.08. W wielu badaniach analizowano perspektywę zastosowania domieszek materiałów do budowy nawierzchni dróg w celu poszerzenia możliwości wykorzystania zasobów innych niż dotychczas. Przykłady wyników badań zamieszczono poniżej. W pracy [28] udowodniono, że jest możliwe zastąpienie kruszywa naturalnego wykorzystywanego do budowy podbudów związanych cementem przez rozdrobnione (przekruszone) odpady betonowe, mimo niespełniania przez nie poziomów wymaganej nasiąkliwości oraz mrozoodporności. Analizy LCA przeprowadzono w celu oceny wpływu na środowisko wykorzystania materiałów powstałych z dodania różnej ilości m.in. RAP (ang. *Reclaimed Asphalt Pavement* – destruktu asfaltowego) do materiałów stosowanych tradycyjnie w budownictwie drogowym. Przeanalizowano potencjalny wpływ na środowisko szesnastu mieszanek kruszyw, cementu portlandzkiego i wody z różną zawartością RAP [29], mieszanek MMA zawierających kruszonkę gumową (CR) oraz RAP przy założeniu różnych stopni aktywacji starzonego lepiszcza [30], wykonano analizę LCA wielokrotnego recy-

klingu nawierzchni drogowych z zastosowaniem mieszanek bitumicznych z uwzględnieniem różnych współczynników RAP w nowych mieszankach bitumicznych: 0% (jako odniesienia), odpowiednio 25, 50, 75 i 100% [31], LCA mieszanek bitumicznych z 0, 30, 40, 50% domieszką RAP [32]. W Instytucie Badawczym Dróg i Mostów, w jednej z obecnie realizowanych prac jest analizowany, w aspekcie LCA, proces ponownego wykorzystania destruktu, na podstawie danych pierwotnych [33]. Prace badawcze realizowane w kolejnych latach w IBDiM będą zawierały analizy ekobilansowe jako ważny element całościowej oceny prac pod względem środowiskowym. W badaniach [34] przeanalizowano mieszanki bitumiczne zawierające do 50% zawartości RAP z różnym stopniem wymieszania lepiszcza pierwotnego i recyklingowego, w [35] porównano 3 materiały pochodzące z recyklingu (gorącą mieszkankę asfaltową z recyklingu, gumę asfaltową i Glassphalt) oraz tradycyjną mieszkankę asfaltową. W celu zmniejszenia obciążeń środowiska w budownictwie drogowym są wprowadzane do eksploatacji nawierzchnie asfaltowe, w skład których wchodzi: mieszanki o obniżonej emisji substancji lotnych, z dodatkiem materiałów z recyklingu, biologicznie czynne lub zbudowane z materiałów lokalnych [36]. W pracy [37] przeprowadzono analizę LCA dla 4 różnych rodzajów nawierzchni (2 nawierzchni betonowych i 2 asfaltowych) wraz ze scenariuszami budowy, eksploatacji i remontów, które miałyby miejsce w okresie 30 lat. Z wyników LCA autostrad betonowych można wywnioskować, że potencjalne oddziaływanie na środowisko zależy od wybranego rodzaju cementu. W drugim przypadku stwierdzono, że potencjalne oddziaływanie na środowisko można zmniejszyć, udoskonalając proces produkcji asfaltu. Dodatkowo, potencjalny wpływ na środowisko można zmniejszyć, redukując operacje transportowe. Analiza remontów wykazała, że należy inwestować w trwalszą nawierzchnię. Znacznie wyższy poziom redukcji zanieczyszczeń powietrza można osiągnąć przez poprawienie własności nawierzchni. To przekłada się na zmniejszenie zużycia paliwa przez pojazdy. Autorzy opracowania zauważyli, że w takim przypadku należy przede wszystkim skupić się na opracowaniu nawierzchni redukującej zużycie paliwa, w mniejszym stopniu na nawierzchni o niższym poziomie potencjalnego oddziaływania na środowisko [37]. Mimo wszystko wydaje się, że zagospodarowanie destruktu w warstwach konstrukcyjnych nawierzchni drogi jest szczególnie uzasadnione z punktu widzenia ochrony surowców naturalnych i możliwości powtórnego użycia materiałów [20].

### Wnioski

Kierunki rozwoju ekologicznych nawierzchni drogowych wpisują się w zasady zrównoważonego rozwoju. Przy zapewnieniu maksymalnie możliwej trwałości jest brany pod uwagę również aspekt ekonomiczny oraz społeczny, związany z odczuciami użytkowników dróg.

W celu tworzenia profili środowiskowych inwestycji w budownictwie drogowym należy popularyzować przeprowadzanie analiz ekobilansowych. Wynika to z konieczności wskazywania rozwiązań pozwalających na zmniejszenie zużycia materiałów pierwotnych, przez ponowne użycie czy recykling

materiałów wtórnych, co wpisuje się w realizowanie zasad GOZ. Analizy LCA pozwalają zidentyfikować, które z działań objętych badaniem wyrządzają szczególnie poważne szkody środowisku, co może powodować, że dana działalność będzie uznana za niezgodną z zasadami Taksonomii. Jest to szczególnie związane z wprowadzaniem do środowiska znaczących emisji gazów cieplarnianych, nieprzestrzeganiem zasad GOZ (np. niskiej efektywności lub jej braku w wykorzystywaniu zasobów naturalnych), przynajmniej na jednym z etapów LCA. Ze względu na dużą liczbę stron biorących udział w procesie inwestycyjnym konieczne jest ich spójne działanie.

Konieczne jest uproszczenie procedur, które są niezbędne do umożliwienia ponownego wykorzystania materiałów, wskazane jest również upowszechnianie wiedzy o tym, że taka możliwość istnieje.

## Literatura

- [1] [https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products\\_pl](https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/sustainable-products_pl).
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy (Dz.U. L 312 z 22.11.2008, s. 3, z późniejszymi zmianami).
- [3] Ustawa z 22 czerwca 2016 r. o zmianie ustawy – Prawo zamówień publicznych oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. 2016 poz. 1020).
- [4] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu materiałów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG. Official Journal of the European Union. L88.5-43.
- [5] Piasecki M. Zagadnienia dekarbonizacji budownictwa w Polsce. Materiały Budowlane. 2021. DOI:
- [6] Ramos G, Yermo J (et. al.): Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030: w kierunku pomyślnego wdrożenia w Polsce, seria: Lepsza polityka, 2017 OECD. 2017. Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030: w kierunku pomyślnego wdrożenia w Polsce, seria: Lepsza polityka.
- [7] Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030. Rezolucja przyjęta przez Zgromadzenie Ogólne 25 września 2015 r. Organizacja Narodów Zjednoczonych. 15-16301 (E) A/RES/70/1.
- [8] Kulczycka J, Bączek A, Nowaczek A. 2020. Monitorowanie transformacji gospodarki o obiegu zamkniętym w dokumentach strategicznych Polski i UE. W: Kulczycka J (red.). Wskaźniki monitorowania gospodarki o obiegu zamkniętym. Wydawnictwo IGSMiE PAN. s. 9-20.
- [9] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2020/852 z 18 czerwca 2020 r. w sprawie ustanowienia ram ułatwiających wprowadzenie zrównoważonych inwestycji (UE) 2019/2088).
- [10] Deloitte Advisory Sp. z o.o. sp.k. 2021. Taksonomia w praktyce – jak przygotować się do raportowania nowych wskaźników [https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/pl/Documents/Prezentacje-webinary/pl\\_Webinar\\_Taksonomia\\_27\\_04.pdf](https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/pl/Documents/Prezentacje-webinary/pl_Webinar_Taksonomia_27_04.pdf) [dostęp 2.12.2022].
- [11] Maruszkin R. PARP, Grupa PFR, Czym jest Taksonomia? O nowym prawie UE dotyczącym klasyfikowania działalności gospodarczej jako zrównoważonej środowiskowo <<https://www.parp.gov.pl/component/content/article/75026:czym-jest-taksonomia-o-nowym-prawie-ue-dotyczacym-klasyfikowania-dzialalnosci-gospodarczej-jako-zrownowazonej-srodowiskowo>> [dostęp 26.09.2022].
- [12] Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska w sprawie określenia szczegółowych warunków utraty statusu odpadów dla odpadów destruktu asfaltowego (Dz.U. 2021, poz. 2468).
- [13] Radziejewicz J. Zmiany środowiskowe spowodowane budową sieci dróg i autostrad <https://rme.cbr.net.pl/index.php/archiwum-rme/419-wrzesnie-pa-dziernik-nr-57/ekologia-i-rodowisko/14/440-zmiany-rodowiskowe-spowodowane-budow-sieci-drog-i-autostrad> [dostęp 26.09.2022].
- [14] Ustawa z 10 kwietnia 2003 r. o szczególnych zasadach przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie dróg publicznych.
- [15] IBDiM, Budimex S.A., Pol. Warsz. 2015-2018. Destrukt: Innowacyjna technologia mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem materiału z recyklingu nawierzchni asfaltowej. INNOTECH K3/IN3/3/22576/NCBiR/15.
- [16] IBDiM, Pol. Gd., Pol. War., Pol. Św., IOŚ-PAN, INSCh, ITB Moratex. 2016 – 2018. Wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu. DZP/RID-1/6/NCBiR/2016.
- [17] Atmoterm S.A. Jakie są warunki utraty statusu odpadów dla odpadów destruktu asfaltowego? Ekowiedza <https://ekowiedza.com/wp-content/uploads/2022/01/utrata-statusu-odpadow-dla-odpadow-destruktu-asfaltowego.pdf> [dostęp 12.09.2022].
- [18] Tarsi G, Tataranni P, Sangiorgi C. The Challenges of Using Reclaimed Asphalt Pavement for New Asphalt Mixtures. A Review, Materials. 2020; 13: 4052.
- [19] Polski Kongres Drogowy i PIARC Poland. 2020. Rekomendacja Polskiego Kongresu Drogowego. Efektywne wykorzystanie destruktu asfaltowego w procesie produkcji MMA <[https://kongresdrogowy.pl/wp-content/uploads/files-pdf/pkd\\_rekomendacje\\_vfinal.doc.pdf](https://kongresdrogowy.pl/wp-content/uploads/files-pdf/pkd_rekomendacje_vfinal.doc.pdf)> [dostęp 18.09.2022].
- [20] Król J. Nowe rozporządzenie w sprawie utraty statusu odpadów destruktu asfaltowego. Drogownictwo. 2021; 11 – 12: 329.
- [21] Kowalski Z, Kulczycka J., Góralczyk M. Ekologiczna ocena cyklu życia procesów wytwórczych (LCA). Wydawnictwo Naukowe PWN. 2007.
- [22] Baran J. 2016. Problemy aplikacyjne analizy środowiskowej cyklu życia produktu. Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Problemy aplikacyjne analizy środowiskowej cyklu życia produktu March 2016 Conference: Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. W: Innowacje w zarządzaniu i inżynierii produkcji. Pod red. Ryszarda Knosali. Opole: Oficyna Wydaw. Polskiego Towarzystwa Zarządzania Produkcją, 2016 Volume: 2.
- [23] PN-EN ISO 14040:2009. Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia – Zasady i struktura.
- [24] PN-EN ISO 14044:2009. Zarządzanie środowiskowe – Ocena cyklu życia. Wymagania i wytyczne.
- [25] PN-EN 15804+A2:2020-03 Zrównoważenie obiektów budowlanych – Deklaracje środowiskowe wyrobu – Podstawowe zasady kategoryzacji wyrobów budowlanych.
- [26] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające Dyrektywę Rady 89/106/EWG.
- [27] <https://www.sgs.pl/pl-pl/news/2019/08/deklaracja-srodowiskowa-epd> [dostęp 2.12.2022].
- [28] Krawczyk B et al. Kryteria oceny podbudów związanych cementem zawierających kruszywa pochodzące z recyklingu. Roads and Bridges – Drogi i Mosty. 2022. <http://dx.doi.org/10.7409/rabdim.019.007>.
- [29] Bressi S, Primavera M, Santos J. A comparative life cycle assessment study with uncertainty analysis of cement treated base (CTB) pavement layers containing recycled asphalt pavement (RAP) materials. Resour. Conserv. Recycl. 2022; <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106160>.
- [30] Bressi S, Santos J, Marko O, Losa M. A comparative environmental impact analysis of asphalt mixtures containing crumb rubber and reclaimed asphalt pavement using life cycle assessment. In: J. Pavement Eng. 2019; <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1623404>.
- [31] Vandewalle D, Antunes V, Neves J, Freire AC. Assessment of eco-friendly pavement construction and maintenance using multi-recycled rap mixtures. Recycling. 2020; <https://doi.org/10.3390/recycling5030017>.
- [32] Aurangzeb Q, Al-Qadi I L, Ozer H, Yang R. Hybrid life cycle assessment for asphalt mixtures with high RAP content. Resour. Conserv. Recycl. 2014; <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.12.004>.
- [33] Duszyński A, Bańkowski W. Analizy obliczeniowe typowych konstrukcji nawierzchni z podbudową na bazie mieszanek z destruktu betonowego i asfaltowego. Praca własna IBDiM nr PWS-892. 2022.
- [34] Chen X, Wang, H. Life cycle assessment of asphalt pavement recycling for greenhouse gas emission with temporal aspect. J. Clean. Prod. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.207>.
- [35] Chiu C Te, Hsu T H, Yang W F. Life cycle assessment on using recycled materials for rehabilitating asphalt pavements. Resour. Conserv. Recycl. 2008; <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.07.001>.
- [36] Szruba M. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, Nawierzchnie asfaltowe na drodze nieustannego rozwoju. 2020; s. 69 – 71.
- [37] Milachowski, C., Stengel, T Gehlen, C. Ocena Cyklu Życia wykonania i użytkowania nawierzchni drogowych. Stowarzyszenie Producentów Cementów. 2011.

Przyjęto do druku: 19.01.2023 r.