

dr inż. Anna Krawczyńska-Piechna^{1*)}

ORCID: 0000-0002-0174-7929

dr inż. Katarzyna Budek-Wiśniewska²⁾

ORCID: 0000-0002-1041-7796

dr inż. Marcin Zaręba²⁾

Economic and technical analysis of implementing elements of the circular economy in road construction

Analiza ekonomiczno-techniczna wdrożenia elementów gospodarki cyrkularnej w budownictwie drogowym

DOI: 10.15199/33.2024.09.10

Abstract. The article presents currently observed problems and challenges in Poland related to the implementation of a circular economy by a road works contractor, in particular regarding the use of reclaimed asphalt and recycled aggregates. A cost analysis of replacing the traditional solution with alternative solutions based on recycled materials will be carried out. For each of the proposed alternative solutions, the strengths and weaknesses as well as the opportunities and threats associated with their implementation will be determined. The SWOT analysis will be extended with a weighted assessment analysis, which will indicate which of the proposed alternative solutions can bring the greatest benefits to the contractor. The problem will be illustrated on a real example of the reconstruction of a provincial road.

Keywords: circular economy; recycling; asphalt deconstruct; SWOT analysis; comparative analysis.

Streszczenie. W artykule przedstawiono współcześnie obserwowane w Polsce problemy i wyzwania związane z wdrożeniem przez wykonawcę robót drogowych gospodarki o obiegu zamkniętym, dotyczące przede wszystkim stosowania destruktu asfaltowego i kruszyw pochodzących z recyklingu. Przeprowadzono analizę kosztową zamiany rozwiązania tradycyjnego na rozwiązania bazujące na materiałach recyklingowych. Określono silne i słabe strony oraz szanse i zagrożenia, jakie wiążą się z implementacją każdego z zaproponowanych rozwiązań. Analiza SWOT została rozszerzona o ważoną analizę ocen wskazującą, które z zaproponowanych rozwiązań zamiennych może przynieść wykonawcy robót największą korzyść. Problem przedstawiono na przykładzie przebudowy drogi wojewódzkiej.

Słowa kluczowe: gospodarka cyrkulacyjna; recykling; destruk asfaltowy; analiza SWOT; analiza porównawcza.

Production of both building materials and cubature or infrastructure facilities are responsible, directly and indirectly, for 10% of CO₂ emissions around the world [1]. Another 28% of global emissions are caused by their exploitation. One of the ways to reduce carbon emissions in construction is to introduce a circular resource management and use materials from demolition. In case of road construction it is estimated that use of 40% recycled asphalt reduces CO₂ emissions by 30%, and when using 50% recycled asphalt – by 40%. In turn, use of reclaimed earthworks materials reduces CO₂ emissions by up to 90% in comparison with the use of material obtained from the outside of the excavation [2].

Road construction should therefore have a circular nature. Such building decreases costs, limits impact on the climate and reduces the carbon footprint. The transport of materials is limited, which reduces traffic intensity and wear and tear on existing roads. By reusing demolition waste, natural resources are saved and construction waste is eliminated, which in turn reduces environmental pollution.

Produkcja materiałów budowlanych oraz realizacja obiektów kubaturowych i infrastruktury odpowiada obecnie w bezpośredni i pośredni sposób za 10% emisji CO₂ na całym świecie [1]. Kolejne 28% globalnej emisji powoduje ich eksploatacja. Jednym ze sposobów ograniczenia emisyjności budownictwa jest wprowadzenie gospodarki cyrkularnej zasobami i wykorzystanie materiałów pochodzących z rozbiórki. W przypadku budownictwa drogowego szacuje się, że użycie asfaltu pochodzącego w 40% z recyklingu redukuje emisję CO₂ o 30%, a w przypadku użycia 50% asfaltu pochodzącego z recyklingu – o 40%. Z kolei recykling materiałów pochodzących z robót ziemnych może zredukować emisję CO₂ nawet o 90% w porównaniu z wbudowaniem materiału z miejsca pozyskania gruntu, położonego poza pasem robót drogowych [2].

Budownictwo drogowe powinno mieć zatem charakter cyrkularny. Takie budowanie redukuje koszty, ogranicza wpływ na klimat, zmniejsza ślad węglowy. Ograniczony zostaje transport materiałów, co zmniejsza natężenie ruchu i zużycie istniejących dróg. Dzięki ponownemu użyciu materiałów z rozbiórki zaoszczędzone zostają zasoby naturalne, a brak odpadów budowlanych zmniejsza zanieczyszczenie środowiska.

W artykule zaprezentowano analizę ekonomiczno-techniczną, ukazującą skutki zastosowania przez wykonawcę procesów

¹⁾ Politechnika Warszawska, Wydział Budownictwa, Mechaniki i Petrochemii

²⁾ STRABAG Sp. z o.o.

*) Correspondence address: anna.krawczynska@pw.edu.pl

The article presents an economic and technical analysis upon the results of using by the contractor various technological processes based on material recycling. The article will also, besides economic benefits, indicates potential opportunities, threats, strengths and weaknesses of introducing alternative technologies that would allow the use of reclaimed materials without any significant change to the road's grade-line designed. A method of selecting the technology that is the most beneficial to the road company and investment's surrounding will also be indicated. This is part of broader research aimed at determining the possibility of implementing specific strategies by a road company in order to reduce the carbon footprint and improve overall environmental characteristics of projects being performed.

Recycling of waste asphalt and aggregates in Poland

Recycling of waste asphalt. In 2018 – 2019, the General Director of National Roads and Motorways (GDDKiA) donated over 35,000 tons of demolition materials to local governments. The other half was built into road surfaces and sides. Over 14,000 tons of reclaimed material was secured for use in the ongoing road maintenance, and approx. 10,000 t – sold by tender. Unfortunately, over 72,000 t remained unused. These data do not include demolition waste obtained by contractors during the investment and owned by them [3].

In Poland, the currently undergoing reconstructions and road renovations are responsible for generating approx. 4 million tons of waste asphalt annually [4]. The reclaimed material was and is partially used in renovations and constructing new surfaces. Most often, however, it is being stored in heaps as waste or used to form roadsides or making unpaved roads [5], even though its potential is much greater. After being processed and crushed, having laboratory-documented quality and properties confirmed, it can be used, as recycled asphalt granules (RAP), to produce mineral-asphalt mixture (MMA).

As it was reported during the Polish Road Congress Colloquium in 2020, the RID I/6 research and development project („*Destruct: Innovative technology of mineral-asphalt mixtures with recycled asphalt*”) showed that it is possible to use RAP to produce mixtures intended for the wearing course. In the case of a mastic-grit mixture (SMA), it is necessary to use material obtained through selective milling of SMA wear layer. SMA containing 30% RAP is a mixture that does not differ in any way from SMA mixture without RAP.

In the case of mixtures with continuous grain, it is possible to use up to 50% of RAP obtained through milling lower layers of asphalt surfaces. Application of 50% RAP into AC (asphalt concrete) or AC WMS (high modulus asphalt concrete), without deteriorating their fatigue life, low-temperature resistance and stiffness, is possible when the hot recycling technology is applied. It is therefore possible to design a MMA mixture that meets the technical requirements set in WT-22014 while exceeding the maximum permissible RAP content [6].

The implementation of reclaimed materials, especially reclaimed asphalt, is quite difficult in the national road

technologicznych bazujących na recyklingu materiału. Oprócz korzyści ekonomicznych wskazane zostaną potencjalne szanse, zagrożenia, zalety i wady wprowadzania technologii zamiennych, które pozwoliłyby na wykorzystanie materiałów rozbiórkowych bez istotnej zmiany zaprojektowanej niwelety drogi. Wskazana zostanie także metoda wyboru technologii, która nie sie najwięcej korzyści dla przedsiębiorstwa drogowego i otoczenia. Jest to część szerszych badań, mających na celu określenie możliwości wdrożenia w przedsiębiorstwie drogowym strategii ograniczających ślad węglowy i ogólną poprawę charakterystyki środowiskowej realizowanych przedsięwzięć.

Recykling destruktu asfaltowego i kruszyw w Polsce

Recykling destruktu asfaltowego. W latach 2018 – 2019 Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA) przekazała samorządom ponad 35 tys. ton destruktu. Drugie tyle zostało wbudowane w nawierzchnie i pobocza dróg. Ponad 14 tys. ton destruktu zabezpieczono do wykorzystania przy bieżącym utrzymaniu dróg, a ok. 10 tys. ton – sprzedano w drodze przetargu. Niestety ponad 72 tys. ton pozostało niezagospodarowane. Dane te nie uwzględniają destruktu pozyskanego przez wykonawców podczas inwestycji i będącego ich własnością [3].

Obecnie w Polsce w trakcie przebudów i remontów dróg powstaje ok. 4 mln ton destruktu asfaltowego rocznie [4]. Destrukt był i jest częściowo wykorzystywany jako jeden ze składników podczas remontów lub budowy nowych nawierzchni. Najczęściej jednak składowany jest na hałdach jako odpad lub wykorzystywany do formowania poboczy lub wykonywania nieutwardzonych dróg [5], mimo iż jego potencjał jest znacznie większy. Przetworzony i rozdrobniony, o udokumentowanej laboratoryjnie jakości i właściwościach, już jako granulatu asfaltowy (GA), może być użyty do produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej (MMA).

Jak podano podczas Kolokwium Polskiego Kongresu Drogowego w 2020 r., projekt badawczo-rozwojowy RID I/6 („*Destruct: Innowacyjna technologia mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem materiału z recyklingu nawierzchni asfaltowej*”) wykazał, że możliwe jest zastosowanie granulatu asfaltowego do produkcji mieszanek przeznaczonych na warstwę ścieralną. W przypadku mieszanki mastykowo-grysowej (SMA) konieczne jest zastosowanie materiału odzyskanego, pochodzącego z frezowania selektywnego warstwy ścieralnej SMA. SMA z 30% udziałem GA to mieszanka niczym nieodbiegająca od mieszanek SMA bez udziału GA. W przypadku mieszanek o ciągłym uziarnieniu, do warstwy wiążącej i podbudowy możliwe jest zastosowanie do 50% GA pochodzącego z frezowania niższych warstw nawierzchni asfaltowych. Zastosowanie 50% GA w mieszanekach AC (beton asfaltowy) i AC WMS (beton asfaltowy o wysokim module sztywności), bez pogorszenia ich trwałości zmęczeniowej, odporności niskotemperaturowej i sztywności, umożliwia technologia recyklingu na gorąco. Jest więc możliwe zaprojektowanie mieszanek mineralno-asfaltowych spełniających wymagania warunków technicznych WT-22014 z jednoczesnym przekroczeniem maksymalnej dopuszczalnej zawartości GA [6].

construction industry due to conservatism of the roads' management communities, investors and designers. The main problem is to introduce changes into contract specifications, which usually do not allow for alternative solutions. The guidelines defined in [7] are also obstructive to the use of reclaimed materials, as they allow the use of RAP only for asphalt concrete, base layer and intermediate layer. RAP content in new mixtures is limited here to 20% – if it is added the mixer without pre-heating (so called cold recycling method) and in the case of pre-heating (so called hot recycling method) – up to 30% compared to the mineral-asphalt mixture. In other European countries, the amount of RAP addition is limited to 30% in the case of cold recycling method and even up to 100% – in the case of hot recycling method [8]. As a result, according to European Asphalt Pavement Association (EAPA), for example in Germany, over 80% of newly produced MMA contain reclaimed asphalt granules [9]. In France, Belgium and the Netherlands, the use of reclaimed asphalt is close to 100%. This is the effect of introducing by those countries policies that create favourable conditions and support both investors and road contractors in sustainable development initiatives.

Restrictions in the use of reclaimed material result also from: the lack of experience of contractors, insufficient equipment of asphalt mixture plants, investor's lack of consent (and/or knowledge), tender restrictions recorded in the Technical Specifications for the Execution and Acceptance of Construction Works and the availability of material of appropriate quality and homogeneity [10]. According to experts, in order to increase hot recycling method, it is necessary to disseminate this knowledge – mainly among investors and designers, as well as to develop appropriate asphalt mixture plants' equipment and establish a wise reclaim management policy [11]. It might have a significant impact on reducing emissions from the road investments in the coming years. GDDKiA estimates that renovation of a 10 km long two-lane motorway, which includes replacement of the wearing course layer and which is performed regularly over the period of 12 – 15 years, will generate approx. 23,000 tons of asphalt waste. Therefore, it is very important to take all actions aimed at popularizing the use of as much reclaimed material as possible in new asphalt mixtures. There is a need to develop proven methods that will help the contractors to use available resources more effectively and support their transition into circular road construction. The introduction of this type of innovation in road construction company may lead to an improvement in its financial condition, an increase in its market position and growth of its competitiveness [12].

Recycled aggregates. In 2022, almost 80 million tons of aggregates were extracted in Poland [13]. According to a study conducted by Sweco [2], using recycled aggregates at the level of 20% can cause savings in Europe of up to EUR 6 billion and half a billion tons of aggregates produced annually (annual consumption in Europe is currently 4.2 billion tons [14]). By using recycled aggregates, we will protect natural aggregate deposits, securing their resources for many years to come, and by using recycled material, we reduce the need to transport

Wdrożenie destruktu, przede wszystkim asfaltowego, jest dość trudne w krajowym drogownictwie, ze względu na konserwatywizm środowiska zarządców dróg, inwestorów i projektantów. Głównym problemem jest wprowadzenie zmian do specyfikacji kontraktowych, które zwykle nie dopuszczają rozwiązań alternatywnych. Obstrukcyjne w kwestii stosowania materiałów recyklingowych są także wytyczne zawarte w [7], które dopuszczają stosowanie GA wyłącznie do betonu asfaltowego, warstwy podbudowy i warstwy wiążącej. Zawartość GA w nowych mieszankach jest tu ograniczona do 20% w przypadku dodawania go do mieszalnika otaczarki bez wstępnego ogrzewania (metoda „na zimno”), a w przypadku wstępnego ogrzania (metoda „na ciepło”) – do 30% w stosunku do mieszanki mineralno-asfaltowej. W innych krajach europejskich ilość dodatku GA w metodzie „na zimno” wynosi 30%, a w metodzie „na ciepło” – nawet do 100% [8]. W efekcie, wg danych Europejskiego Stowarzyszenia Nawierzchni Asfaltowych (EAPA), np. w Niemczech co roku ponad 80% nowo wyprodukowanych mieszanek mineralno-asfaltowych zawiera granulaturę z destruktu asfaltowego [9]. We Francji, Belgii i Holandii wykorzystanie destruktu jest zbliżone do 100%. Jest to efekt prowadzenia przez te państwa polityki, która stwarza warunki i wspiera działania podejmowane na rzecz zrównoważonego rozwoju zarówno przez inwestorów, jak i wykonawców nawierzchni drogowych.

Ograniczenia w stosowaniu recyklingu wynikają z braku doświadczenia wykonawców, niedostatecznego wyposażenia wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych w odpowiednią instalację, braku zgody (i/lub wiedzy) inwestora, ograniczeń przetargowych zapisanych w Specyfikacjach Technicznych Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych (STWiORB) oraz dostępności materiału o odpowiedniej jakości i jednorodności [10]. Zdaniem ekspertów, w celu zwiększenia recyklingu „na gorąco” konieczne jest upowszechnienie tej wiedzy – głównie wśród inwestorów i projektantów, a także rozwój odpowiedniej bazy sprzętowej oraz stworzenie polityki zagospodarowania destruktu [11]. Ma to istotny wpływ na ograniczenie emisji w realizacji inwestycji drogowych w najbliższych latach. GDDKiA szacuje bowiem, że w tej perspektywie remont jedynie 10 km odcinka dwupasmowej autostrady, obejmujący wymianę warstwy ścieralnej, który wykonuje się regularnie w okresie 12 – 15 lat, wygeneruje ok. 23 tys. ton destruktu. Bardzo ważne jest zatem podjęcie wszelkich działań, mających na celu rozpowszechnienie stosowania jak największej ilości destruktu w nowych mieszankach asfaltowych. Potrzebne są sprawdzone metody, które pozwolą efektywnie wykorzystywać posiadane zasoby i wspierać przejście wykonawcy na budowę dróg o obiegu zamkniętym. Wprowadzenie tego typu innowacji w przedsiębiorstwie prowadzi do poprawy jego kondycji finansowej, podniesienia pozycji rynkowej oraz wzrostu konkurencyjności [12].

Kruszywa z recyklingu. W 2022 r. wydobyto w Polsce prawie 80 mln ton kruszywu [13]. Zgodnie z badaniem przeprowadzonym przez Sweco [2], obieg zamknięty kruszywu na poziomie 20% może spowodować zaoszczędzenie w Europie nawet 6 mld euro i pół miliarda ton rocznie produkowanych kruszyw (roczne zużycie w Europie to obecnie 4,2 mld ton [14]). Stosując kruszywa z recyklingu, uchronimy naturalne złoża kruszyw, zabezpieczając ich zasoby na dalsze lata, a dzięki wykorzystaniu materiału z recyklingu ograniczamy konieczność transportu su-

raw materials over long distances. It is estimated that to transport 10,000 tons of extracted rock over a distance of 10 km for disposal, the truck must make 300 trips both ways, releasing 12 tons of CO₂ eq. [15].

Research on the substitutability of aggregates with reclaimed material were carried out in Poland, among others, in the RID I/6 project as part of research work „*The use of recycled materials*”. Moreover, as it turns out from the research results presented in [16], the material obtained from concrete pavement crushed is characterized by multi-granularity, which improves the efficiency of compaction, which in turn allows us to conclude that the layer made of it will have the required load-bearing capacity. As optimal, a mixture of sand and crushed concrete in the amount of 30% and 70% respectively was proposed in [16] for use in the embankment layer. Such combination of aggregates allows to produce a high-quality, well-thickening mixture.

Use of reclaimed materials in reconstruction of a provincial road

Subject of the analysis and the proposed research method. Construction, renovation and reconstruction of single-lane provincial roads, designed for traffic volume KR4, are significant subject of road works contracts in Poland. In 2023, one of the largest road works contractor in Poland declares, that 8 out of 25 completed contracts concerned works on provincial roads, while in 2024 it is 5 out of 12 contracts planned so far. Project designs intended to implement these investment tasks include and have included traditional technologies with a negligible degree of circularity.

In order to determine the effects of using reclaimed materials for road construction, the reconstruction of a 2,014 km long section of a provincial road class Z and designed for traffic volume KR4, was analysed. The road runs mostly in undeveloped areas and in its existing state, it is a single-lane, two-way road, 6.0 m wide, composed of straight sections and horizontal arcs. The road is characterized by a straight line camber along the entire length except to horizontal arcs. There are a few exits located in the analysed section as well as one simple crossroad. Dewatering of the road is carried out through longitudinal and transverse slopes, into existing open ditches. On the road being considered, the traffic intensity, based on the ADT measurement taken in 2021, is 3,200 vehicles per day, of which approximately 8% are heavy vehicles/trucks and 10% are light trucks. The intensity of pedestrian traffic is negligible and is related to the direct access to properties.

In accordance with the approved design, the works include:

- demolition of the existing asphalt surface with an average thickness of 20 cm;
- demolition of the existing concrete foundation with an average thickness of 20 cm;
- construction of a new road structure;
- construction of a pedestrian and bicycle route;
- execution of accompanying sanitary, telecommunication and electrical works;
- implementation of new traffic organization.

rowców na dalekie odległości. Szacuje się bowiem, że aby przetransportować 10 tys. ton wydobytej skały na odległość 10 km w celu utylizacji, ciężarówka musi wykonać 300 przejazdów w obie strony, uwalniając 12 ton ekwiwalentu CO₂ [15].

Badania nad możliwością zastąpienia kruszyw materiałem rozbiórkowym były prowadzone w Polsce m.in. w projekcie RID I/6 w ramach pracy badawczej „*Wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu*”. Ponadto, jak wynika z rezultatów badań przedstawionych w [16], materiał pochodzący z przekruszenia nawierzchni betonowej ma dużą różnorodność, która poprawia efektywność zagęszczenia, co z kolei pozwala wnioskować, iż warstwa wykonana z zastosowaniem materiałów wtórnych będzie charakteryzować się wymaganą nośnością. Jako optymalną do zastosowania w warstwie nasypu zaproponowano mieszankę piasku i przekruszu betonowego w proporcjach 70% przekruszu betonowego oraz 30% piasku [16]. Taka kombinacja kruszyw pozwala na wytworzenie pełnowartościowej, dobrze zagęszczającej się mieszanki.

Wykorzystanie materiałów rozbiórkowych do remontu fragmentu drogi wojewódzkiej

Opis przedmiotu analizy i proponowanej metody badawczej. Budowy, remonty i przebudowy jednojezdniowych dróg wojewódzkich o poziomie natężenia ruchem KR4 stanowią istotny przedmiot zamówień na roboty drogowe w Polsce. W 2023 r., w jednym z większych przedsiębiorstw branży drogowej w Polsce – 8 z 25 zrealizowanych kontraktów dotyczyło prac na drogach wojewódzkich; w 2024 r. jest to 5 z 12 dotychczas zaplanowanych kontraktów. Do realizacji tych zadań inwestycyjnych przewidziane były i są w dokumentacji projektowej technologie tradycyjne o znikomym stopniu cyrkularności.

W celu określenia skutków wykorzystania materiałów rozbiórkowych do budowy dróg, analizie poddana została **realizacja przebudowy fragmentu (2014 m) drogi wojewódzkiej klasy Z, obciążonej ruchem na poziomie KR4**, przebiegającego w większości w terenie niezabudowanym. W stanie istniejącym jest to droga jednojezdniowa, dwukierunkowa o szerokości 6,0 m, o trasie złożonej z odcinków prostych oraz łuków poziomych. Drogę charakteryzuje daszkowy przekrój poprzeczny na całej długości poza łukami poziomymi. Na analizowanym odcinku zlokalizowane są nieliczne zjazdy do posesji oraz jedno skrzyżowanie proste. Odwodnienie pasa drogowego realizowane jest przez spadki podłużne i poprzeczne do istniejących otwartych rowów. Na odcinku przebudowywanej drogi natężenie ruchu, na podstawie pomiaru SDR z 2021 r., wynosi 3200 pojazdów na dobę, z czego ok. 8% stanowią pojazdy ciężarowe i 10% lekkie pojazdy ciężarowe. Natężenie ruchu pieszego jest znikome i związane z bezpośrednim dojściem do posesji.

Zgodnie z zatwierdzoną dokumentacją projektową w skład robót wchodzi:

- rozbiórka istniejącej nawierzchni asfaltowej o średniej grubości 20 cm;
- rozbiórka istniejącej podbudowy betonowej o średniej grubości 20 cm;
- wykonanie nowej konstrukcji jezdni;
- wykonanie ciągu pieszo-rowerowego;

The existing road surface will be widened to 7.0 m. The base solution designed provides for the following road structure:

- AC 11 S wearing course PMB 45/80-55, 4 cm thick (PMB – polymer asphalt);
- AC 22 intermediate layer AC 22 W PMB 25/55-60, 6 cm thick;
- surface binder layer made of AC 22P 35/50 asphalt concrete, 8 cm thick;
- base layer made of unbound crushed aggregate mixture C 50/30, fr. 0/31,5, 23 cm thick;
- multi-shaped composite geo-grid;
- substrate.

In the case of the solution described, let's consider the following 3 alternative solutions that involve circular technologies:

1) base layer made from reclaimed aggregate (obtained by milling existing base layer) mixed with crushed aggregate; the remaining layers – according to a base design; RAP added into bituminous layers;

2) on-site stabilization with reclaimed aggregate (obtained by milling existing base layer); the remaining layers – according to a base design; RAP added into bituminous layers;

3) base layer reconstruction within the rubblization technology; the remaining layers – according to the base design; RAP added into bituminous layers.

For each solution, the scope of works and costs of execution were determined. In order to compare costs and quality of all solutions SWOT analysis for each of them was performed. SWOT is a universal tool applicable in strategic reasoning, data collection and sorting, as well as knowledge systematizing, which is the most important at the current stage of our research. Additionally, as the matrix of factors is pretty transparent, it is possible, in the future, to analyze and arrange SWOT determinants in appropriate groups (e.g. economic, social and environmental) and indicate relationships between them [17]. Our future goal is, therefore, to develop an advisory system that is clear to the contractor and can be implemented in the company for a systematic use.

Opportunities, threats, strengths and weaknesses of technologies that are considered were based on our professional experience and in consultations with experts from one of the major road companies on the market. The set of SWOT determinants will probably evaluate within further research on the implementation of the circular technologies in road construction industry in Poland. However, it is sufficient to assess possibilities of implementing circulation technologies in a road industry company.

Base solution analysis. Road works specified in the base design include: milling of existing asphalt road surface and concrete base, transporting the debris over a distance of 20 km to the storage yard, profiling and mechanical compaction of the subsoil and execution of new road construction layers. Cost of execution of these works is given in Table 1. It was calculated on the basis of price databases current for the first quarter of 2024. SWOT determinants for the base variant are collected in Table 2.

- wykonanie towarzyszących robót branży sanitarnej, teletechnicznej, elektrycznej;
- wdrożenie nowej organizacji ruchu.

Istniejąca nawierzchnia jezdni zostanie poszerzona do 7,0 m. W bazowym rozwiązaniu projektowym przewidziano następującą konstrukcję drogi:

- warstwa ścieralna AC 11 S PMB 45/80-55 grubości 4 cm (PMB – polimeroasfalt);
- warstwa wiążąca AC 22 W PMB 25/55-60 grubości 6 cm;
- podbudowa zasadnicza z betonu asfaltowego AC 22P 35/50 grubości 8 cm;
- podbudowa zasadnicza z mieszanki niezwiązanej z kruszywa łamanego 0/31,5 C 50/30 grubości 23 cm;
- kompozytowy georuszt wielokształtny;
- podłoże.

W przypadku opisanego rozwiązania bazowego zidentyfikowano 3 możliwe rozwiązania zamienne, bazujące na technologiach cyrkularnych. Są to:

1) wykonanie podbudowy z kruszywa betonowego pochodzącego z rozbiórki istniejącej podbudowy, z doziarnieniem kruszywem łamanym oraz pozostawienie pozostałych warstw wg projektu bazowego i dodanie GA do wykonania warstw bitumicznych;

2) wykonanie stabilizacji na miejscu z kruszywa betonowego uzyskanego z rozbiórki istniejącej podbudowy z doziarnieniem kruszywem łamanym i dodaniem GA do wykonania warstw bitumicznych;

3) przebudowa podbudowy betonowej z zastosowaniem technologii „rubblizingu”.

Określono zakres rzeczowy i koszty wykonania robót w każdym z analizowanych rozwiązań. W celu porównania kosztów i jakości wszystkich rozwiązań przeprowadzono analizę SWOT każdego z nich. Jest to uniwersalne narzędzie wnioskowania strategicznego służące do gromadzenia i segregowania danych oraz systematyzowania wiedzy o diagnozowanym problemie, co na obecnym etapie naszych badań jest najistotniejsze. Dodatkowo, dzięki przejrzystej budowie macierzy agregacji czynników, w prosty sposób można w przyszłości analizować i porządkować determinanty w odpowiednich grupach (np. ekonomicznej, społecznej i środowiskowej) oraz wskazywać zależności między nimi [17]. Naszym celem w przyszłości jest bowiem opracowanie czytelnego dla wykonawcy robót systemu doradczego, który można wdrożyć w przedsiębiorstwie do stosowania go w sposób systematyczny.

Szanse, zagrożenia, silne i słabe strony stosowania konkretnych technologii zaproponowano na podstawie naszego doświadczenia zawodowego i konsultacji eksperckich przeprowadzonych drogą ankiety w jednym z liczących się na rynku przedsiębiorstw branży drogowej. Zbiór ten będzie ewaluował podczas dalszych badań nad wdrażaniem gospodarki cyrkularnej w budownictwie drogowym w Polsce, stanowi jednak dobry punkt wyjścia do wstępnej oceny możliwości wdrożenia technologii cyrkulacyjnych w przedsiębiorstwie branży drogowej.

Analiza rozwiązania bazowego. Wykonanie przewidzianych dokumentacją projektową robót związanych z wykonaniem nowej nawierzchni jezdni obejmuje: rozebranie istnieją-

Alternative solution no.1. In this solution, it is proposed to construct the base layer using reclaimed aggregate (obtained by milling existing concrete base layer) with crushed aggregate fraction 0/31.5 C50/30 in the amount of 43% (this is the missing amount of concrete cutter needed to make the base layer). Other construction layers – as in the basic solution, except to asphalt layers, which will be enriched with GAP addition in the amount that was carried out in the RID I/6 project. Cost of execution of these works is given in Table 3. It was calculated on the basis of price databases current for the first quarter of 2024. SWOT determinants for the alternative solution no. 1 are collected in Table 4.

Alternative solution no. 2. As the second alternative solution it is proposed to perform on-site stabilization using reclaimed aggregate (obtained by milling existing concrete base layer) with crushed aggregate fraction 0/31.5 C50/30 in the amount of 33%, sand 0/2 in the amount of 10% and cement in the amount of 7%. In this solution, the multi-shaped composite geogrid will be omitted, as the subgrade will be mixed in the roadbed using WR recycler. The remaining

cej nawierzchni bitumicznej oraz podbudowy betonowej z odwiezieniem materiału na plac składowy w odległości 20 km, wyprofilowanie i dogęszczenie podłoża oraz wykonanie warstw konstrukcyjnych jezdni. Koszt wykonania tych robót podano w tabeli 1. Wycenę sporządzono na podstawie baz cenowych z I kwartału 2024 r. Determinanty wariantu bazowego zestawiono w tabeli 2.

Rozwiązanie zamienne nr 1. W ramach tego rozwiązania proponuje się wykonanie podbudowy z kruszywa betonowego pochodzącego z rozbiórki istniejącej podbudowy, z doziarnieniem kruszywem łamanym frakcji 0/31,5 C50/30 w ilości 43% (brakująca ilość frezu betonowego potrzebna do wykonania podbudowy). Pozostałe warstwy konstrukcyjne zaleca się wykonać wg rozwiązania bazowego, przy czym do wykonania warstw bitumicznych zostanie dodany destrukta asfaltowy z rozbiórki istniejącej nawierzchni w ilości, jaka była realizowana w projekcie RID I/6. Koszt wykonania robót ujęto w tabeli 3. Wycenę sporządzono na podstawie baz cenowych z I kwartału 2024. Szanse, zagrożenia, silne i słabe strony rozwiązania zamiennego nr 1 przedstawia tabela 4.

Table 1. Cost of the road construction – the base solution

Tabela 1. Koszt wykonania konstrukcji jezdni – rozwiązanie bazowe

Own elaboration
Opracowanie własne

No./L.p.	Item description/Opis pozycji	Quantity/Liczba jednostkowa	Unit price/Cena jednostkowa [zł]	Total/Wartość [zł]
1	Milling of asphalt road surface, thk. 20 cm + concrete road surface, thk. 20 cm [m ²]/Frezowanie nawierzchni bitumicznej o grubości 20 cm + 20 cm podbudowy betonowej [m ²]	12 084,00	22,64	273 581,76
2	The transport of debris after recycling with mechanical loading, over a distance of 20 km [m ³]/Wywiezienie gruzu przy mechanicznym załadunku i wyładunku samochodem samowładującym na odległość 20 km [m ³]	4 833,60	37,49	181 211,66
3	Profiling and compaction of the substrate performed mechanically for the structural layers of the surface [m ²]/Profilowanie i zagęszczanie podłoża wykonywane mechanicznie pod warstwy konstrukcyjne nawierzchni [m ²]	18 483,70	3,50	64 692,95
4	Multi-shaped composite geogrid [m ²]/Georuszt wielokształtny kompozytowy [m ²]	18 483,70	21,77	402 390,15
5	Designed base layer made of unbound crushed aggregate mixture C50/30; fr. 0/31,5; thk. 23 cm [m ²]/Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej z kruszywem C50/30; fr. 0/31,5; grubości 23 cm [m ²]	18 483,70	68,96	1 274 635,95
6	Designed surface binder layer AC 22P 35/50, thk. 8 cm [m ²]/Warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego AC 22P 35/50, grubości 8 cm [m ²]	17 385,20	74,26	1 291 024,95
7	Asphalt intermediate layer AC 22 W PMB 25/55 – 60 thk. 6 cm [m ²]/Warstwa wiążąca AC 22 W PMB 25/55 – 60 grubości 6 cm [m ²]	17 003,10	63,95	1 087 348,25
8	Asphalt wearing surface AC 11 S PMB 45/80-55 thk. 4 cm [m ²]/Warstwa ścieralna AC 11 S PMB 45/80 – 55 grubości 4 cm [m ²]	16 716,50	51,58	862 237,07
Together/Razem:				5 407 024,66 zł

Table 2. SWOT analysis results for the base solution

Tabela 2. Wyniki analizy SWOT w przypadku rozwiązania bazowego

Own elaboration
Opracowanie własne

Opportunities (O)/Szanse (O)	Threats (T)/Zagrożenia (T)
<ul style="list-style-type: none"> Obtain reclaimed asphalt for use in other contracts (sign B-o1)/Pozyskanie destrukta do wykorzystania przy innych kontraktach (ozn. B-o1) 	<ul style="list-style-type: none"> there may be more substructures to be demolished than planned (substructures wider than the design provides) (sign B-t1)/może wystąpić więcej niż planowano podbudowy do rozbiórki (podbudowa na większej szerokości niż przewiduje projekt) (ozn. B-t1)
Strengths (S)/Silne strony (S)	Weaknesses (W)/Słabe strony (W)
<ul style="list-style-type: none"> A proven solution, contractors have extensive experience in implementing similar contracts (sign B-s1)/Rozwiązanie sprawdzone, wykonawcy mają duże doświadczenie w realizacji podobnych kontraktów (ozn. B-s1) By constructing a new roadway structure, the contractor is certain that the surface will meet the specified quality requirements (sign B-s2)/Ze względu na realizację nowej konstrukcji jezdni wykonawca ma pewność wykonania nawierzchni spełniającej określone wymagania jakości (ozn. B-s2) 	<ul style="list-style-type: none"> no use of demolition materials that can be reused (sign B-w1)/niezagospodarowanie materiałów z rozbiórki, które mogą być ponownie wykorzystane (ozn. B-w1) high costs of transporting demolition materials (sign B-w2)/wysokie koszty odwozu materiałów z rozbiórki (ozn. B-w2) no reduction of emissions (sign B-w3)/brak ograniczenia emisyjności budowy (ozn. B-w3)

construction layers – according to the base solution. Just like in alternative solution no. 1, asphalt layers will be enriched with GAP addition. Cost of execution of these works is given in Table 5. Strengths, weaknesses, opportunities and threats for the alternative solution no. 2 are collected in Table 6.

Alternative solution no. 3. The third alternative solution is the reconstruction of the concrete base layer using the rubblization technology, which consists in crushing the old concrete base pavement on site, compacting and solidifying the roadbed and resurfacing. For the first time, this technology was proposed in Poland in 2008 in the project of reconstruction of

Rozwiązanie zamienne nr 2. Jako drugie rozwiązanie zamienne proponuje się wykonanie stabilizacji na miejscu z kruszywa betonowego uzyskanego z rozbiórki istniejącej podbudowy z doziarnieniem kruszywem łamanym frakcji 0/31,5 C50/30 w ilości 33%, piaskiem 0/2 w ilości 10% z dodatkiem 7% cementu. W tym rozwiązaniu pominięta zostanie warstwa kompozytowego georusztu wielokształtnego, a mieszanie podbudowy nastąpi w korycie drogi za pomocą recykle- ra WR. Pozostałe warstwy konstrukcyjne zostaną wykonane wg rozwiązania bazowego. Podobnie jak w rozwiązaniu zamiennym nr 1, do wykonania warstw bitumicznych zostanie

Table 3. Cost of the road construction – alternative solution no. 1

Tabela 3. Koszt wykonania konstrukcji jezdni – rozwiązanie zamienne nr 1

Own elaboration
Opracowanie własne

No./L.p.	Item description/Opis pozycji	Quantity/Liczba jednostkowa	Unit price/Cena jednostkowa [zł]	Total/Wartość [zł]
1	Milling of asphalt road surface, thk. 20 cm [m ²]/Frezowanie nawierzchni bitumicznej grubości 20 cm [m ²]	12 084,00	7,41	89 542,44
2	The transport of debris after recycling to the asphalt mixing plant [m ³]/Odwóz destruktu asfaltowego z terenu rozbiórki do wytwórni mas bitumicznych [m ³]	2 416,80	37,49	90 605,83
3	Milling of concrete road surface thk. 20 cm [m ²]/Frezowanie podbudowy betonowej grubości 20 cm [m ²]	12 084,00	7,41	89 542,44
4	Transport of concrete waste after recycling to the storage yard [m ³]/Odwóz frezu betonowego na plac składowy [m ³]	2 416,80	9,64	23 297,95
5	Profiling and compaction of the substrate performed mechanically for the structural layers of the surface [m ²]/Profilowanie i zagęszczanie podłoża wykonywane mechanicznie pod warstwy konstrukcyjne nawierzchni [m ²]	18 483,70	3,50	64 692,95
6	Multi-shaped composite geogrid [m ²]/Georuszt wielokształtny kompozytowy [m ²]	18 483,70	21,77	402 390,15
7	Preparation of a mixture of concrete milling and crushed aggregate C50/30 fr. 0/31,5 [m ³]/Przygotowanie mieszanki z frezu betonowego i kruszywa C50/30 fr. 0/31,5 [m ³]	4 251,25	2,70	11 478,38
8	Designed base layer made of unbound concrete milling mix (57%) with crushed aggregate C50/30; fr. 0/31,5 (43%); thk. 23 cm [m ²]/Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki niezwiązanej frezu betonowego (57%) z kruszywem C50/30; fr. 0/31,5 (43%); grubości 23 cm [m ²]	18 483,70	38,58	713 101,15
9	Designed surface binder layer AC 22P 35/50, thk. 8 cm, RAP 50% [m ²]/Warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego AC 22P 35/50, grubości 8 cm, GRA 50% [m ²]	17 385,20	56,77	986 957,80
10	Asphalt intermediate layer AC 22 W PMB 25/55 – 60 thk. 6 cm, RAP 50% [m ²]/Warstwa wiążąca AC 22 W PMB 25/55 – 60 grubości 6 cm, GRA 50% [m ²]	17 003,10	49,52	841 993,51
11	Asphalt wearing surface AC 11 S PMB 45/80 – 55 thk. 4 cm, RAP 15% [m ²]/Warstwa ścieralna AC 11 S PMB 45/80 – 55 grubości 4 cm, GRA 15% [m ²]	16 716,50	49,41	825 962,27
Together/Razem:				4 139 564,87 zł

Table 4. SWOT analysis results for alternative solution no. 1

Tabela 4. Wyniki analizy SWOT w przypadku rozwiązania zamiennego nr 1

Own elaboration
Opracowanie własne

Opportunities (O)/Szanse	Threats (T)/Zagrożenia
<ul style="list-style-type: none"> The concrete base may be wider than the design provides (sign A1-o1)/Podbudowa betonowa może być na większej szerokości niż przewiduje projekt, o ile nie koliduje to z innymi uwarunkowaniami formalnoprawnymi (ozn. A1-o1) Building a pro-ecological image of the company (sign A1-o2)/Budowanie proekologicznego portfolio przedsiębiorstwa (ozn. A1-o2) 	<ul style="list-style-type: none"> reclaimed asphalt may contain tar, which prevents it from being used in hot recycling technology (sign. A1-t1)/w destrukcie asfaltowym może znajdować się smoła, co nie pozwoli na stosowanie go w technologii na gorąco (ozn. A1-t1) as a result of milling, the concrete substructure may become too crumbly (sign A1-t2)/podczas frezowania podbudowa betonowa może się zbyt mocno rozdrobnić (ozn. A1-t2)
Strengths (S)/Silne strony	Weaknesses (W)/Słabe strony
<ul style="list-style-type: none"> Use of the old concrete substructure in place (sign A1-s1)/Wykorzystanie na miejscu starej podbudowy betonowej (ozn. A1-s1) Shorten the duration of road structure reconstruction (sign A1-s2)/Skrócenie czasu przebudowy konstrukcji (ozn. A1-s2) Improvement of local traffic conditions, due to shorter construction time (sign A1-s3)/Polepszenie warunków ruchu lokalnego w trakcie budowy ze względu na krótszy czas budowy (ozn. A1-s3) Extensive experience in implementing similar contracts (sign A1-s4)/Duże doświadczenie w realizacji podobnych kontraktów (ozn. A1-s4) Reduction of CO₂ emissions (sign A1-s5)/Ograniczenie emisyjności CO₂ (ozn. A1-s5) The grade-line does not change (ozn. A1-s6)/Zostaje zachowana projektowana niweleta (ozn. A1-s6) 	<ul style="list-style-type: none"> mixing concrete milling with aggregate from an outside excavation at the storage yard means additional costs for transport and storage (ozn. A1-w1)/mieszanie frezu betonowego z kruszywem z dowozu poza korytem drogi oznacza dodatkowe koszty transportu i magazynowania gruzu betonowego (ozn. A1-w1)

national road No. 22 on the section Chojnice – Tczew [18]; its first implementation was in 2016, during the reconstruction of provincial road No. 801 Warsaw – Puławy (so-called Nadwiślanka) near the town of Wilga.

In rubblization technology, after milling the asphalt surface, the concrete base layer is broken into smaller-sized pieces using a multi-head breaker MHB. Once crushed, it needs to be smoothed, crumbled and compacted using vibrating road roller with a Z-shaped pattern drum (sheepsfoot roller), and then finished by going over it with a smooth wheeled roller, steel or rubber one, in order to settle crushed material. In the analyzed task, the road surface should be widened while the existing concrete base layer is narrower than the designed width of pavement. It is therefore necessary to expand the subbase construction.

To calculate costs of road works, the following road surface structure is analysed: asphalt wearing surface AC 11 S PMB 45/80-55 thk. 4 cm (15% RAP), asphalt intermediate layer AC 22 W PMB 25/55 – 60 thk. 6 cm (50% RAP), surface binder layer AC 22P 35/50, thk. 8 cm (50% RAP), base layer of

added destructure asphalt with a breaker existing surface. Cost of the works is given in table 5. Advantages, disadvantages, strong and weak sides of the alternative solution no. 2 are presented in table 6.

Rozwiązanie zamiennne nr 3. Trzecim wariantem rozwiązania jest przebudowa podbudowy betonowej z zastosowaniem technologii „rubblizingu”, czyli rozkruszenia na miejscu starej podbudowy betonowej i wbudowania nawierzchni asfaltowej. Technologia ta została w Polsce zaproponowana po raz pierwszy w 2008 r. w projekcie przebudowy drogi krajowej nr 22 na odcinku Chojnice – Tczew [18], a pierwsza realizacja, w której została zastosowana w 2016 r., to droga wojewódzka nr 801 Warszawa – Puławy (tzw. Nadwiślanka) w okolicy miejscowości Wilga. W technologii rubblizingu, po sfrezowaniu nawierzchni bitumicznej należy rozprężyć podbudowę betonową za pomocą łamacza wielogłowicowego. Po rozkruszeniu konieczne jest użycie walca wibracyjnego o bębnie ze wzorem „Z-kształtnym” w celu wyrównania i dalszego rozkruszenia płyty betonowej, a następnie walca gładkiego, stalowego lub ogumionego, aby osadzić pokruszony materiał.

Table 5. Cost of the road construction – alternative solution no. 2

Tabela 5. Koszt wykonania konstrukcji jezdni wg rozwiązania zamiennego 2

Own elaboration
Opracowanie własne

No./L.p.	Item description/Opis pozycji	Quantity/Liczba jednostkowa	Unit price/Cena jednostkowa	Total [PLN]/Wartość [zł]
1-4	Milling of asphalt and concrete road surface, transport of debris after recycling, profiling and compaction of the substrate, as in item 1, 2, 3, 5 of table 3/Frezowanie nawierzchni bitumicznej i podbudowy betonowej, wywiezienie destruktu asfaltowego, profilowanie i zagęszczanie podłoża – jak poz. 1, 2, 3, 5 w tabeli 3			334 383,66
5	Designed hydraulically bound base layer with the addition of cement (7%) from concrete milling (57%) with crushed aggregate C50/30; fr. 0/31,5 (33%) and sand 0/2 (10%); thk. 23 cm [m ²]/Warstwa podbudowy zasadniczej z mieszanki związanej cementem (7%) z frezu betonowego (57%) z kruszywem C50/30; fr. 0/31,5 (33%) i piaskiem 0/2 (10%); grubości 23 cm [m ²]	18 483,70	67,53	1 248 204,26
6	Designed surface binder layer AC 22P 35/50, thk. 8 cm, GRA 50% [m ²]/Warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego AC 22P 35/50, grubości 8 cm, GRA 50% [m ²]	17 385,20	56,77	986 957,80
7	Asphalt intermediate layer AC 22 W PMB 25/55 – 60 thk. 6 cm, RAP 50% [m ²]/Warstwa wiążąca AC 22 W PMB 25/55 – 60 grubości 6 cm, GRA 50% [m ²]	17 003,10	49,52	841 993,51
8	Asphalt wearing surface AC 11 S PMB 45/80 – 55 thk. 4 cm, RAP 15% [m ²]/Warstwa ścieralna AC 11 S PMB 45/80 – 55 grubości 4 cm, GRA 15% [m ²]	16 716,50	49,41	825 962,27
Together/Razem				4 237 501,50 zł

Table 6. SWOT analysis results for alternative solution no. 2

Tabela 6. Wyniki analizy SWOT w przypadku rozwiązania zamiennego nr 2

Own elaboration
Opracowanie własne

Opportunities (O)/Szansa	Threats (T)/Zagrożenia
<ul style="list-style-type: none"> The concrete base may be wider than the design provides (sign A1-o1)/Podbudowa betonowa może być w większej szerokości niż przewiduje projekt, o ile nie koliduje to z innymi uwarunkowaniami formalnoprawnymi (ozn. A1-o1) Building a pro-ecological image of the company (sign A2-o2)/Budowanie proekologicznego portfolio przedsiębiorstwa (ozn. A2-o2) 	<ul style="list-style-type: none"> reclaimed asphalt may contain tar, which prevents it from being used in hot recycling technology (sign A2-t1)/w destrukcie asfaltowym może znajdować się smoła, co nie pozwoli na stosowanie go w technologii na gorąco (ozn. A2-t1) as a result of milling, the concrete substructure may become too crumbly (sign A2-t2)/podczas frezowania podbudowa betonowa może się zbyt mocno rozdrobnić (ozn. A2-t2)
Strengths (S)/Silne strony	Weaknesses (W)/Słabe strony
<ul style="list-style-type: none"> Use of the old concrete substructure in place (sign A2-s1)/Wykorzystanie na miejscu starej podbudowy betonowej (ozn. A2-s1) Shorten the duration of road structure reconstruction (sign A2-s2)/Skrócenie czasu przebudowy konstrukcji (ozn. A2-s2) Extensive experience in implementing similar contracts (sign A2-s3)Duże doświadczenie wykonawcy w realizacji podobnych kontraktów (ozn. A2-s3) There is no need to use geogrid (sign A2-s4)Nie ma potrzeby stosowania georusztu (ozn. A2-s4) Improvement of local traffic conditions, due to shorter construction time (sign A2-s5)/Polepszenie warunków ruchu lokalnego w trakcie budowy, ze względu na krótszy czas budowy (A2-s5) Reduction of CO₂ emissions (sign A2-s6)/Ograniczenie emisji CO₂ (A2-s6) The grade-line does not change (sign A2-s7)/Zostaje zachowana projektowana niweleta (ozn. A2-s7) 	<ul style="list-style-type: none"> there is a risk of creating a non-homogeneous substructure (sign A2-w1)/ istnieje ryzyko wykonania niejednorodnej podbudowy podczas stabilizowana cementem (ozn. A2-w1) there is a risk that the cement-stabilized substructure will become too stiff (sign A2-w2)/istnieje ryzyko osiągnięcia przez podbudowę stabilizowaną cementem zbyt dużej sztywności (ozn. A2-w2)

C50/30 fr. 0/31.5, thk. 15 cm, substructure made of rubblized cement concrete slabs, thk. 20 cm. Cost of execution of these works is given in Table 7. Strengths, weaknesses, opportunities and threats for the alternative solution no. 3 are collected in Table 8.

Comparative analysis of solutions. For the reconstruction of the provincial road being analyzed, the designer assumed the demolition of the existing road structure. Materials obtained from demolition are to be transported from the construction site to the storage yard. 2,416 m³ of reclaimed asphalt and 2,416 m³ of concrete debris will be recovered from the demolition. In alternative solutions no.1 and no. 2, 4251 m³ of crushed aggregate C50/30 are needed to make a new base layer of unbound aggregate fraction 0/31.5. Assuming the use of a concrete debris, we can save 57% of aggregate delivered. By rebuilding the structure using rubblization technology (alternative solution no. 3), we can save 37% of aggregate delivered, as the subbase must be widened.

For making asphalt layers, 3,079 m³ of MMA is required. Using RAP in the amount, which is acceptable according to the RID I/6 project, in order to obtain mixtures with correct parameters, we can save 1305 m³ of MMA, so approx. 42%. By rebuilding the structure using rubblization technology, we save 37% of aggregate delivered.

Apart from material savings, the economic profit is also visible. The cost of implementing alternative solutions is on average 20% lower compared to the base solution, whatever the alternative solution is. This is possible by limiting the amount of materials from the excavation, aggregates and asphalt for new mineral-asphalt mixtures and reduction of transport (concrete debris is not transported) and therefore – increasing the efficiency of works. A comparison of unit costs calculated for individual solutions and differences from the base solution is shown in table 9.

All of the alternative solutions result in a similar level of cost decrease, this is why non-economic factors that take strengths, weaknesses, opportunities and threats into account, should be considered in order to select the most profitable alternative solution. To increase suitability of the analyzes being carried out, a weighting system for selected opportunities and threats, as well as strengths and weaknesses was determined. Weights

W analizowanym zadaniu poszerzona zostaje nawierzchnia jezdni, a istniejąca podbudowa betonowa jest węższa niż projektowana szerokość nawierzchni. Konieczne jest zatem wykonanie poszerzenia konstrukcji podbudowy.

Do analizy kosztów wykonania robót przyjęto następującą konstrukcję nawierzchni jezdni: warstwa ściernalna AC 11 S PMB 45/80-55 grubości 4 cm, GRA 15%, warstwa wiążąca AC 22 W PMB 25/55 – 60 grubości 6 cm, GRA 50%, warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego AC 22P 35/50, grubości 8 cm, GRA 50%, warstwa podbudowy zasadniczej z kruszywa C50/30; fr. 0/31,5; grubości 15 cm, podbudowa z kruszonych płyt z betonu cementowego w technologii rubblizingu grubości 20 cm. W tabeli 7 podano koszty wykonania robót. Szanse, zagrożenia, silne i słabe strony rozwiązania zamiennego nr 3 przedstawia tabela 8.

Analiza porównawcza rozwiązań. W analizowanej rozbudowie drogi wojewódzkiej projektant założył rozbiórkę istniejącej konstrukcji jezdni. Materiały pozyskane z rozbiórki mają zostać odwiezione z placu budowy na plac składowy. Z rozbiórki odzyska się 2416 m³ destruktu asfaltowego oraz 2416 m³ frezu betonowego. W rozwiązaniach zamiennych nr 1 i 2 do wykonania nowej podbudowy z kruszywa niezwiązanego potrzebna 4251 m³ kruszywa łamanego C50/30 frakcji 0/31,5. Zakładając wykorzystanie frezu betonowego, możemy zaoszczędzić 57% kruszywa z dowozu. Wykonując przebudowę konstrukcji w technologii rubblizingu, ze względu na konieczność poszerzenia podbudowy, możemy oszczędzić w rozpatrywanym kontrakcie 37% kruszywa z dowozu.

Do wykonania warstw bitumicznych konstrukcji przewiduje się 3079 m³ MMA. Stosując GA w ilości, jaka w ramach projektu RID I/6 została uznana za dopuszczalną, aby uzyskać mieszanki o prawidłowych parametrach, możemy zaoszczędzić 1305 m³ MMA, a więc ok. 42%. Wykonując przebudowę konstrukcji w technologii rubblizingu, oszczędzić możemy w rozpatrywanym kontrakcie 37% kruszywa z dowozu.

Poza oszczędnościami materiałowymi widoczna jest również korzyść ekonomiczna. Koszt wykonania rozwiązań zamiennych jest niższy średnio o 20% w porównaniu z rozwiązaniem bazowym. Jest to możliwe dzięki ograniczeniu ilości materiałów z dokopu, kruszyw i asfaltu do nowych mieszanek mineralno-asfaltowych oraz dzięki znacznemu ograniczeniu

Table 7. Cost of the road construction – alternative solution no. 3

Tabela 7. Koszt wykonania konstrukcji jezdni wg rozwiązania zamiennego 3

Own elaboration
Opracowanie własne

No./L.p.	Item description/Opis pozycji	Quantity/Liczba jednostkowa	Unit price/Cena jednostkowa	Total [PLN]/Wartość [zł]
1, 2	Milling of asphalt surface and transport of debris after recycling as in item 1, 2 of table 3/Frezowanie nawierzchni bitumicznej i wywiezienie destruktu asfaltowego – jak poz. 1, 2 w tabeli 3			180 148,27
3	Widening of the road base [m ²]/Wykonanie poszerzenia podbudowy [m ²]	6 399,7	55,44	354 799,37
4	Road base layer made of broken concrete slabs using rubblization technology thk. 20 cm/Podbudowa z kruszonych płyt z betonu cementowego w technologii rubblizingu grubości 20 cm [m ²]	12 084,00	25,00	302 100,00
5	Road base layer made of unbound crushed aggregate mixture C50/30; fr. 0/31,5; thk. 15 cm [m ²]/Warstwa podbudowy zasadniczej z kruszywa C50/30; fr. 0/31,5; grubości 15 cm [m ²]	17 767,30	42,95	763 105,54
6	Surface binder layer AC 22P 35/50, thk. 8 cm, GAP 50% [m ²]/Warstwa podbudowy zasadniczej z betonu asfaltowego AC 22P 35/50, grubości 8 cm, GRA 50% [m ²]	17 385,20	56,77	986 957,80
7, 8	Asphalt intermediate layer and asphalt wearing surface as in item 7, 8 of table 5/Warstwa wiążąca i ściernalna – jak w poz. 7, 8 tabeli 5			1 667 955,78
Together/Razem				4 255 066,76 zł

Table 8. SWOT analysis results for alternative solution no. 3

Own elaboration
Opracowanie własne

Tabela 8. Wyniki analizy SWOT w przypadku rozwiązania zamiennego nr 3

Opportunities (O)/Szanse	Threats (T)/Zagrożenia
<ul style="list-style-type: none"> The concrete base may be wider than the design provides (sign A3-o1)/Podbudowa betonowa może być na większej szerokości niż przewiduje projekt, o ile nie koliduje to z innymi uwarunkowaniami formalnoprawnymi (ozn. A3-o1) Building a pro-ecological image of the company (sign A3-o2)/Budowanie doświadczenia i proekologicznego portfolio przedsiębiorstwa (ozn. A3-o2) 	<ul style="list-style-type: none"> too small width of the existing concrete substructure (sign A3-t1)/niewystarczająca szerokość istniejącej podbudowy betonowej (ozn. A3-t1) the concrete substructure may be in too large fragments after being crushed (sign A3-t2)/podbudowa betonowa po rozkruszeniu może być w zbyt dużych fragmentach (ozn. A3-t2) there may be parts of the substructure that are too thin (sign A3-t3)/mogą być fragmenty podbudowy o mniejszej grubości (ozn. A3-t3) the pressure from the MHB machine may be too high (sign A3-t4)/naciski od maszyny MHB mogą okazać się za duże, podłoże może mieć niewystarczającą nośność (ozn. A3-t4) reclaimed asphalt may contain tar, which prevents it from being used in hot recycling technology (sign A3-t5)/w destrukcji asfaltowym może znajdować się smoła, co nie pozwoli na stosowanie go w technologii frezowania na gorąco (ozn. A3-t5)
Strengths (S)/Silne strony	Weaknesses (W)/Słabe strony
<ul style="list-style-type: none"> The road renovation time is shortened to the minimum compared to road surface reconstruction (sign A3-s1)/Czas przebudowy nawierzchni skraca się maksymalnie w porównaniu z odbudową nawierzchni (ozn. A3-s1) Use of the old concrete substructure in place (sign A3-s2)/Wykorzystanie na miejscu starej podbudowy betonowej (ozn. A3-s2) Improvement of local traffic conditions, due to shorter construction time (sign A3-3)/Polepszenie warunków ruchu lokalnego w trakcie budowy, ze względu na krótszy czas budowy (ozn. A3-3) Reduction of CO₂ emissions (sign A3-s4)/Ograniczenie emisji CO₂ (ozn. A3-s4) There is no need to use geogrid (sign A3-s5)/Nie ma potrzeby stosowania georusztu (ozn. A3-s5) 	<ul style="list-style-type: none"> raising the grade line by about 3 cm, it is necessary to change the elevations of exits and roadsides (sign A3-w1)/podniesienie niwelety o około 3 cm, co powoduje konieczność dostosowania rzędnych zjazdów, poboczy (ozn. A3-w1) the method is little known (sign A3-w2)/metoda mało znana (ozn. A3-w2) the method is not universal, it cannot be used for concrete substructures less than 17.5 cm thick (sign A3-w3)/metoda nie jest uniwersalna, nie można jej stosować przy grubości podbudowy betonowej mniejszej niż 17,5 cm (ozn. A3-w3)

describe the importance of particular factors for contract execution (in other words – the strength of impact on the success of a contract). The purpose of this activity is to indicate a circular technology that can bring the most benefits to the company as well as the environment of the analyzed investment (and similar investments in the future). Determining the strength of impact for individual factors is undoubtedly a helpful hint for a more complete assessment of the decisive situation being described. It should be remembered, that the analysis is made "at a given moment" and it constitutes a diagnosis of a specific decisive situation; it does not take into account changes that may occur in the case of individual factors in the perspective of three years or more. However, such approach is often used in long-term procedures of implementing system solutions in enterprises [19].

The weights in our analyzes were determined subjectively, based on our professional experience and the guidelines given by experts from one of the biggest road industry enterprises in Poland. The highest weights were assigned factors with the highest level of importance, and the lowest – to the least important factors. For each of alternative solutions being analyzed, strengths and weaknesses, as well as opportunities and threats were also assessed in the context of their impact

transportu (frez betonowy nie jest odwożony), a co za tym idzie – zwiększeniu wydajności robót. Porównanie kosztów jednostkowych poszczególnych rozwiązań i różnic względem rozwiązania bazowego pokazuje tabela 9.

Wszystkie z proponowanych rozwiązań zamiennych dają wykonawcy robót podobny poziom oszczędności, a zatem o wyborze jednego z nich decydować będą czynniki pozaekonomiczne, uwzględniające silne i słabe strony poszczególnych technologii oraz związane z ich zastosowaniem szanse i zagrożenia. W celu zwiększenia przydatności prowadzonych analiz określony został system wag dotyczący wytypowanych szans i zagrożeń oraz silnych i słabych stron, określający istotność tych czynników podczas realizacji kontraktu (siłę oddziaływania na sukces kontraktu). Celem tego działania jest wskazanie technologii, która może przynieść najwięcej korzyści dla przedsiębiorstwa i otoczenia analizowanej inwestycji (a także podobnych inwestycji w przyszłości). Określenie siły oddziaływania poszczególnych czynników jest niewątpliwie pomocną wskazówką do pełniejszej oceny sytuacji decyzyjnej. Pamiętaj, należy, że przedstawiona została analiza „na dany moment” i stanowi ona diagnozę określonej sytuacji, a nie uwzględnia zmian mogących wystąpić w przypadku poszczególnych czynników w perspektywie trzech i więcej lat. Takie

Table 9. Collective cost comparison for the base solution and its alternatives

Own elaboration
Opracowanie własne

Tabela 9. Zbiorcze porównanie kosztów rozwiązania bazowego i jego wariantów zamiennych

Road construction/Konstrukcja jezdni	The base solution/ Rozwiązanie bazowe	Alternative solution no. 1/ Rozwiązanie zamiennne nr 1	Alternative solution no. 2/ Rozwiązanie zamiennne nr 2	Alternative solution no. 3/ Rozwiązanie zamiennne nr 3
Total cost [PLN]/Koszt wykonania [zł]	5 407 024,66	4 139 568,87	4 237 501,50	4 255 066,76
Unit cost [PLN/km]/Koszt jednostkowy [zł/km]	2 684 719,29	2 055 394,67	2 104 022,59	2 112 744,17
The ratio between costs of alternative and base solution/Stosunek kosztu wykonania względem wariantu bazowego	100%	76,6%	78,4%	78,7%

on the execution of the road project. A grading scale from 1 to 5 points was used, where the number of points obtained is determined by rating: 1 – very poor, 2 – poor, 3 – average, 4 – good and 5 – very good. The higher the number of points, the better factor assessment, in the case of opportunities and strengths, and worse in the case of threats and weaknesses. In turn, the smaller the number of points means a worse assessment in the case of opportunities and strengths, and a better one – in the case of threats and weaknesses. Additionally, following Zima et al. [20], the sum of the ratings of individual factors was determined for each solution and the attractiveness of the environment (AS) was determined, which is a function of opportunities and threats, as well as internal strength (PS) and the probability of strategic success (PSS).

Knowing the weights and ratings of particular determinants, a weighted rating was calculated for individual internal factors (strengths and weaknesses) and external factors (opportunities and threats) as well. Having summed weighted ratings of opportunities, threats, weaknesses and strengths, we obtain a collective weighted assessment of opportunities, threats, strengths and weaknesses relatively. If we divide the collective weighted assessment by the highest available weighted rating for each factor (the sum of the maximum possible weighted ratings for the factor) we obtain a numerical value that indicate whether opportunities outweigh threats in a given solution, as well as whether given solution has the advantage of strengths or weaknesses. Such approach, only that in the context of risk analysis and influence forces' assessment, was presented in [21]. The calculations are presented in tables 10 – 13.

The results of SWOT analysis, presented in tables 10 – 13 and in the drawing, indicate, that the most advantageous alternative solution, in the contract being considered, is the alternative no. 2. In this solution there is the greatest (compared to the remaining) advantage of strengths (S) over weaknesses (W), with the advantage of opportunities (O) over threats (T) maintained.

podejście jest jednak często wykorzystywane w długotrwałych procedurach wdrożenia konkretnych rozwiązań systemowych w przedsiębiorstwach [19].

Wagi w prowadzonych analizach zostały ustalone subiektywnie, na podstawie naszego doświadczenia zawodowego i wytycznych ekspertów jednego z przedsiębiorstw branży drogowej w Polsce. Największe wagi przypisano czynnikom o największym poziomie istotności, a najniższe czynnikom o najmniejszym znaczeniu. W przypadku analizowanych rozwiązań zamiennych, silne i słabe strony oraz szanse i zagrożenia zostały także ocenione w kontekście ich wpływu na realizację przedsięwzięcia drogowego. Do oceny została przyjęta skala ocen od 1 do 5 punktów, gdzie liczba uzyskanych punktów określała ocenę: 1 – bardzo słaba, 2 – słaba, 3 – średnia, 4 – dobra i 5 – bardzo dobra, nadaną konkretnemu czynnikowi. Im większa liczba punktów – tym lepsza ocena czynnika w przypadku szans i silnych stron oraz gorsza ocena w przypadku zagrożeń i słabości. Z kolei mniejsza liczba punktów to gorsza ocena w przypadku szans i silnych stron oraz lepsza ocena zagrożeń i słabości. Dodatkowo, w ślad za Zimą i in. [20], wyznaczono sumę ocen poszczególnych czynników dla każdego z wariantów oraz określono oddziaływanie z otoczeniem (AS), będące funkcją szans i zagrożeń, jak również siłę wewnętrzną (PS) i prawdopodobieństwo strategicznego sukcesu (PSS).

Znając wagi i oceny, obliczono ocenę ważoną poszczególnych czynników wewnętrznych (sił i słabości) i zewnętrznych (szans i zagrożeń). Zsumowanie ocen wszystkich czynników składających się na szanse, zagrożenia, słabości i siły dało zbiorczą ważoną ocenę odpowiednio: szans; zagrożeń; słabych i silnych stron analizowanych rozwiązań zamiennych. Po podzieleniu poszczególnych sum ocen ważonych przez możliwą do osiągnięcia ocenę maksymalną (sumę maksymalnych, możliwych do uzyskania ocen ważonych dla czynnika) uzyskaliśmy wartości liczbowe, które wskazują, czy w danym rozwiązaniu przeważają szanse, czy zagrożenia, a także czy dane rozwiązanie ma przewagę silnych, czy słabych stron. Tego typu podejście, w kontekście analizy siły oddziaływania na ry-

Table 10. Aggregate weighted SWOT analysis results for the base solution

Tabela 10. Zbiorcze ważone wyniki analizy SWOT dotyczące rozwiązania bazowego

Own elaboration
Opracowanie własne

Opportunities (O)/Szanse (O)	Weight/Waga	Rate/Ocena	Weighted rating/Wartość ważona	Threats (T)/Zagrożenia (T)	Weight/Waga	Rate/Ocena	Weighted rating/Wartość ważona
B-o1	3	2	6	B-t1	3	1	3
Sum of rates/weighted average Suma ocen/średnia ważona ocen		2	6/25	sum of rates/weighted average suma ocen/średnia ważona ocen		1	3/25
Attractiveness of the environment: $AS = O/(O + T): 2/3 = 0,66$ /Oddziaływanie z otoczeniem $AS=O/(O+T): 2/3 = 0,66$							
Strengths (S)/Silne strony (S)				Weaknesses (W)/Słabe strony (W)			
B-s1	5	2	10	B-w1	4	5	20
B-s2	5	2	10	B-w2	4	4	16
				B-w3	2	2	4
Sum of rates/weighted average Suma ocen/średnia ważona ocen		4	20/50	sum of rates/weighted average suma ocen/średnia ważona ocen		11	40/75
Internal force $PS = S/(S + W): 4/15 = 0,27$ /Siła wewnętrzna $PS = S/(S + W): 4/15 = 0,27$							
Probability of strategic success: $PSS = (AS + PS)/2: (0,66 + 0,27)/2 = 0,465$ /Prawdopodobieństwo sukcesu $PSS = (AS + PS)/2: (0,66 + 0,27)/2 = 0,465$							

Table 11. Aggregate weighted SWOT analysis results for alternative solution no. 1

Own elaboration
Opracowanie własne

Tabela 11. Zbiorcze ważone wyniki analizy SWOT w przypadku rozwiązania zamiennego 1

Opportunities (O)/Szanse (O)	Weight/Waga	Rate/Ocena	Weighted rating/Wartość ważona	Threats (T)/Zagrożenia (T)	Weight/Waga	Rate/Ocena	Weighted rating/Wartość ważona
A1-o1	2	4	8	A1-t1	3	3	9
A1-o2	2	4	8	A1-t2	2	3	6
Sum of rates/weighted average/ Suma ocen/średnia ważona ocen		8	16/50	sum of rates/weighted average suma ocen/średnia ważona ocen		6	15/50
Attractiveness of the environment $AS = O/(O + T): 8/14 = 0,57$ /Oddziaływanie z otoczeniem $AS = O/(O + T): 8/14 = 0,57$							
Strengths (S)/Silne strony (S)				Weaknesses (W)/Słabe strony (W)			
A1-s1	3	4	12	A1-w1	3	4	12
A1-s2	3	3	9				
A1-s3	2	2	4				
A1-s4	3	4	12				
A1-s5	2	3	6				
A1-s6	4	5	20				
Sum of rates/weighted average/ Suma ocen/średnia ważona ocen		21	63/150	sum of rates/weighted average suma ocen/średnia ważona ocen		4	12/25
Internal force: $PS = S/(S + W): 21/25 = 0,84$ /Siła wewnętrzna $PS = S/(S + W): 21/25 = 0,84$							
Probability of strategic success: $PSS = (AS + PS)/2: (0,57 + 0,84)/2 = 0,705$ /Prawdopodobieństwo sukcesu $PSS = (AS + PS)/2: (0,57 + 0,84)/2 = 0,705$							

Table 12. Aggregate weighted SWOT analysis results for alternative solution no. 2

Own elaboration
Opracowanie własne

Tabela 12. Zbiorcze ważone wyniki analizy SWOT w przypadku rozwiązania zamiennego 2

Opportunities (O)/Szanse (O)	Weight/Waga	Rate/Ocena	Weighted rating/Wartość ważona	Threats (T)/Zagrożenia (T)	Weight/Waga	Rate/Ocena	Weighted rating/Wartość ważona
A1-o1	2	4	8	A2-t1	3	3	9
A1-o2	2	4	8	A2-t2	2	2	4
Sum of rates/weighted average/ Suma ocen/średnia ważona ocen		8	16/50	sum of rates/weighted average suma ocen/średnia ważona ocen		5	13/50
Attractiveness of the environment $AS = O/(O + T): 8/13 = 0,62$ /Oddziaływanie z otoczeniem $AS = O/(O + T): 8/13 = 0,62$							
Strengths (S)/Silne strony (S)				Weaknesses (W)/Słabe strony (W)			
A2-s1	5	4	20	A2-w1	3	4	12
A2-s2	4	3	12	A2-w2	3	3	9
A2-s3	4	4	16				
A2-s4	3	3	9				
A2-s5	3	4	12				
A2-s6	3	4	12				
A2-s7	4	5	20				
Sum of rates/weighted average/ Suma ocen/średnia ważona ocen		27	101/175	sum of rates/weighted average suma ocen/średnia ważona ocen		7	21/50
Internal force $PS = S/(S + W): 27/34 = 0,79$ /Siła wewnętrzna $PS = S/(S + W): 27/34 = 0,79$							
Probability of strategic success: $PSS = (AS + PS)/2: (0,62 + 0,79)/2 = 0,704$ /Prawdopodobieństwo sukcesu $PSS = (AS + PS)/2: (0,62 + 0,79)/2 = 0,704$							

Summary and conclusions

One way to reduce the risk associated with the lack of availability of natural aggregates is to use reclaimed materials in road infrastructure. Reclaimed material can be fully valuable and therefore can replace aggregate and asphalt. The experience of many countries clearly shows that properly prepared reclaimed asphalt applied to MMA using hot recycling method ensures the mixture to meet all the requirements that apply to ordinary mixtures.

zyka w procesie budowlanym, było prezentowane w [21]. Obliczenia prezentują tabele 10 – 13.

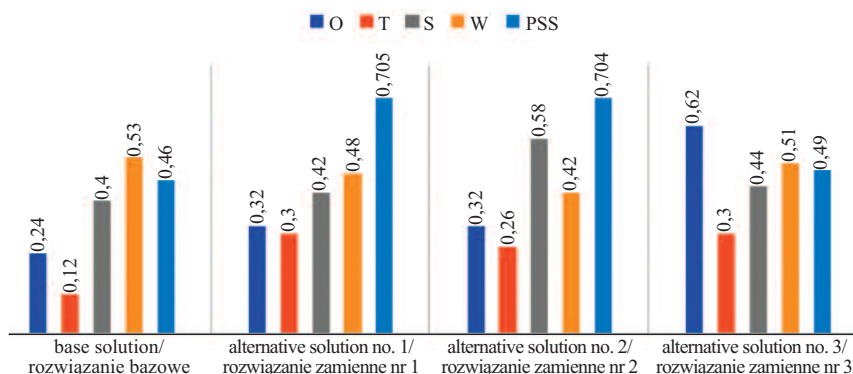
Uwzględniając wyniki analizy SWOT przedstawione w tabelach 10 – 13 i na rysunku, stwierdzono, że najbardziej korzystne do zastosowania przez przedsiębiorstwo drogowe w analizowanym kontrakcie jest rozwiązanie zamienne nr 2. W rozwiązaniu tym jest największa (w porównaniu z pozostałymi) przewaga silnych stron (S) nad słabymi (W), przy utrzymanej przewadze szans (O) nad zagrożeniami (T).

Table 13. Aggregate weighted SWOT analysis results for alternative solution no. 3

Own elaboration
Opracowanie własne

Tabela 13. Zbiorcze ważone wyniki analizy SWOT w przypadku rozwiązania zamiennego 3

Opportunities (O)/Szanse (O)	Weight/Waga	Rate/Ocena	Weighted rating/Wartość ważona	Threats (T)/Zagrożenia (T)	Weight/Waga	Rate/Ocena	Weighted rating/Wartość ważona
A3-o1	3	5	15	A3-t1	3	3	9
A3-o2	4	4	16	A3-t2	2	3	6
				A3-t3	3	4	12
				A3-t4	2	2	4
				A3-t5	2	3	6
Sum of rates/weighted average/ Suma ocen/średnia ważona ocen		9	31/50	sum of rates/weighted average/ suma ocen/średnia ważona ocen		15	37/125
Attractiveness of the environment AS = O/(O + T): 9/24 = 0,38/Oddziaływanie z otoczeniem AS = O/(O + T): 9/24 = 0,38							
Strengths (S)/Silne strony (S)				Weaknesses (W)/Słabe strony (W)			
A3-s1	5	3	15	A3-w1	3	3	9
A3-s2	3	4	12	A3-w2	4	5	20
A3-s3	2	3	6	A3-w3	3	3	9
A3-s4	2	3	6				
A3-s5	4	4	16				
Sum of rates/weighted average/ Suma ocen/średnia ważona ocen		17	55/125	sum of rates/weighted average/ suma ocen/średnia ważona ocen		11	38/75
Internal force PS = S/(S + W): 17/28 = 0,61/Siła wewnętrzna PS = S/(S + W): 17/28 = 0,61							
Probability of strategic success PSS = (A + PS)/2: (0,38 + 0,61)/2 = 0,49/Prawdopodobieństwo sukcesu PSS = (AS + PS)/2: (0,38 + 0,61)/2 = 0,49							



Collective SWOT analysis results
Zbiorcze ważone wyniki analizy SWOT

Own elaboration
Opracowanie własne

The article provides a simple example of a typical reconstruction of a provincial road, which shows that giving up the use reclaimed asphalt is an untapped opportunity to speed up road construction works and use the contract budget effectively.

Applying on-site stabilization using reclaimed aggregate (obtained by milling existing concrete base layer) mixed with crushed aggregate can bring 20 – 25% reduction of contract costs. Moreover, the solution has a positive impact on the environment, reduces emissions and all nuisances for the environment of the task being performed.

To popularize recycling technologies in road construction industry it is important to develop simple decisive systems that support the participants of the investment in analyzing potential benefits and threats, resulting from the choice of pro-ecological solutions. The catalogue of opportunities, threats, strengths and weaknesses proposed in the article regards each

Podsumowanie i wnioski

Jednym ze sposobów ograniczenia ryzyka związanego z brakiem dostępności kruszyw naturalnych jest zastosowanie w infrastrukturze drogowej materiałów pochodzących z recyklingu. Destrukt jest pełnowartościowym materiałem, który może zastąpić w znacznej części kruszywo i asfalt. Doświadczenia wielu krajów jednoznacznie wskazują, że odpowiednio przygotowany destrukt asfaltowy zastosowany w mieszankach mineralno-asfaltowych na gorąco zapewnia spełnienie wymagań, jakie są stawiane zwykłym mieszankom.

W artykule, na prostym przykładzie typowej przebudowy drogi wojewódzkiej pokazano, że rezygnacja ze stosowania destruktu asfaltowego to niewykorzystana szansa przyspieszenia wykonywanych robót oraz efektywnego wykorzystania środków finansowych. Stosowanie na miejscu stabilizacji z kruszywa betonowego uzyskanego z rozbiórki istniejącej podbudowy z doziarnieniem kruszywem łamanym może przynieść oszczędności finansowe na poziomie 20 – 25% kosztów kontraktowych. Ponadto rozwiązanie korzystnie wpływa na środowisko oraz zmniejsza emisję i uciążliwość dla otoczenia realizowanego zadania.

W upowszechnieniu technologii recyklingowych w budownictwie drogowym istotne znaczenie ma opracowanie prostych systemów, wspomagających uczestników procesu inwestycyjnego w analizowaniu potencjalnych korzyści i zagrożeń, wynikających z wyboru rozwiązań proekologicznych. Zapropnowany w artykule katalog szans, zagrożeń, silnych i słabych stron dotyczących każdego z analizowanych rozwiązań za-

of the analyzed alternative recycling-based solutions and may be used as a matrix for further planning analyses. The proposed method for assessing alternative solutions within weighted assessments can be successfully used by other investment's participants in the future.

Received: 28.06.2024 r.

Revised: 05.08.2024 r.

Published: 23.09.2024 r.

miennych, bazujących na technologii recyklingu, może stanowić matrycę do analiz planistycznych. Zaproponowana metoda oceny rozwiązań zamiennych za pomocą ważonych ocen może z powodzeniem być w przyszłości wykorzystywana przez innych uczestników procesu inwestycyjnego.

Wpłynął do redakcji: 28.06.2024 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 05.08.2024 r.

Opublikowano: 23.09.2024 r.

Literature

[1] Raport PLGBC „Jak zdekarbonizować środowisko zbudowane do 2050 r.: mapa drogowa węgla całego życia dla Polski”, <https://plgbc.org.pl/wp-content/uploads/2021/06/Mapa-drogowa-dekarbonizacji2050.pdf> [dostęp: 11.03.2022].

[2] Materiały Cyrkularne w Infrastrukturze. Raport Sweco Urban Insight, 2023.

[3] <https://www.archiwum.gddkia.gov.pl/a/36660/Destrukcja-odpad-czy-pelnowartosciowy-material>, [dostęp: 10.12.2023].

[4] <https://www.teraz-srodowisko.pl/aktualnosci/destrukcja-asfaltowy-odpad-produkt-uboczny-GOZ-8417.html>; [dostęp: 15.03.2024].

[5] Szruba M. Nowoczesne drogi asfaltowe. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne. 2019; 5 – 6.

[6] https://kongresdrogowy.pl/wp-content/uploads/files-pdf/DES_070520_WBankowski_IB_DIM.pdf; [dostęp: 20.04.2024].

[7] Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. WT-2 2014. Cz. 1. Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania techniczne. Załącznik do zarządzenia nr 47 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z 25 września 2014 r.

[8] Michalski W, Danowski M. Granulat asfaltowy – czy jesteśmy przygotowani? Nawierzchnie asfaltowe. 2014; 2: 16 – 19.

[9] Raport EAPA <https://eapa.org/asphalt-in-figures>; [dostęp: 20.04.2024].

[10] Król J. Nowe rozporządzenie w sprawie utraty statusu odpadów destrukcji asfaltowej. Drogownictwo. 2021; 11 – 12.

[11] Bańkowski W, Sybilski D, Król J, Kowalski K, Radziszewski P, Skorek P. Wykorzystanie destrukcji asfaltowej – konieczność i innowacja. Budownictwo i Architektura. 2016; 1: 157–167.

[12] Chojnacka A, Sobotka A. Podejście strategiczne we wdrażaniu innowacji. Materiały Budowlane. 2017, DOI: 10.15199/33.2017.08.29.

[13] Raport o złożach Państwowego Instytutu Geologicznego za 2022 r.

[14] Union Européenne des Producteurs de Granulats (UEPG) on circular economy. <https://uepg.testurl.fr/pages/circular-economy>. 2022.

[15] Circularity Gap Report 2022 <https://www.circularity-gap.world/2022>; [dostęp: 15.07.2023].

[16] Bargenda Ł, Karp-Kreglicka E. Transformacja budownictwa do obiegu zamkniętego. Zastosowanie materiałów z recyklingu. Inżynier Budownictwa. 2024; 2.

[17] Miszewska E, Niedostatkiwicz M. Dobór analizy strategicznej przedsięwzięć budowlanych w aspekcie zrównoważonego rozwoju. Przegląd Budowlany. 2020; 6: 21 – 25.

[18] Zapaśnik W. Remont nawierzchni z betonu cementowego metodą kruzenia udarowego (rubblizing). Drogownictwo. 2016; 9: 292 – 301.

[19] Wysocki J. Wykorzystanie analizy SWOT przy wyborze strategii na przykładzie firmy Vistula SA w: Strategie rozwoju przedsiębiorstwa. Metody analizy – przykłady, SGH, 2007 s. 213-2014.

[20] Zima K, Plebankiewicz E, Wieczorek D. A SWOT Analysis of the Use of BIM Technology in the Polish Construction Industry. Buildings. 2020, <https://doi.org/10.3390/buildings10010016>.

[21] Krawczyńska-Piechna A, Budek-Wiśniewska K. Kompleksowe podejście do prognozowania i ograniczania poziomu ryzyka w podejmowaniu zamówień na roboty w budownictwie drogowym. Materiały Budowlane. 2022; DOI: 10.15199/33.2022.12.25.