



Authors' contribution/
Wkład autorów:
A. Zaplanowanie badań/
Study design
B. Zebranie danych/
Data collection
C. Analiza statystyczna/
Statistical analysis
D. Interpretacja danych/
Data interpretation
E. Przygotowanie tekstu/
Manuscript preparation
F. Opracowanie
piśmiennictwa/
Literature search
G. Pozyskanie funduszy/
Funds collection

ECONOMIC ASPECTS OF CERAMIC WASTE RECYCLING THROUGH ITS USE AS AGGREGATE IN MINERAL-ASPHALT MIXTURES

EKONOMICZNE ASPEKTY RECYKLINGU ODPADÓW CERAMICZNYCH PRZEZ ICH WYKORZYSTANIE JAKO KRUSZYWA W MIESZANKACH MINERALNO-ASFALTOWYCH

Bartosz Zegardło^{1(A,B,C,D,F)}, **Wojciech Andrzejuk**^{2(A,B,C,D,E)},
Urszula Andrzejewicz^{3(B,C,D)}, **Jerzy Nitychoruk**^{2(C,D)}

¹Siedlce University of Natural Sciences and Humanities
Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

²Pope John Paul II State School of Higher Education in Biała Podlaska
Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej

³Przedsiębiorstwo Robót Drogowych S.A. in Biała Podlaska
Przedsiębiorstwo Robót Drogowych S.A. w Białej Podlaskiej

Zegardło B., Andrzejuk W., Andrzejewicz U., Nitychoruk J. (2017), *Economic aspects of ceramic waste recycling through its use as aggregate in mineral-asphalt mixtures/ Ekonomiczne aspekty recyklingu odpadów ceramicznych przez ich wykorzystanie jako kruszywa w mieszankach mineralno-asfaltowych*. Economic and Regional Studies, Vol. 10, No. 3, pp. 74-81.

ORIGINAL ARTICLE

JEL code: L61, L74

Submitted:
May 2017

Accepted:
June 2017

Tables: 4
Figures: 0
References: 9

ORYGINALNY ARTYKUŁ
NAUKOWY

Klasyfikacja JEL: L61, L74

Zgłoszony:
Maj 2017

Zaakceptowany:
Czerwiec 2017

Tabela: 4
Rysunki: 0
Literatura: 9

Summary

Subject and purpose of work: This article is a continuation of ongoing research; whose primary aim was to show ceramic waste as a full-value substrate for the production of mineral-asphalt mixtures. The authors, basing on the examined characteristics of aggregate obtained in the process of crushing the so-called "ceramic cullet", present the thesis that this material can be a full-fledged aggregate for concretes used in road construction. The authors emphasize ecological advantages of such a solution. The purpose of this research was to analyse whether such measures as those described above are economically justifiable. **Materials and methods:** In the article, based on business data, the costs were estimated and compared to the prices of the aggregates used by companies producing asphalt mixtures.

Results: Economic comparisons have shown that the costs of described recycling were not satisfactory. **Conclusions:** Taking into account the ecological effect, it is recommended that ceramic waste is recycled by using it for the production of mineral-asphalt mixes for general use.

Keywords: Mineral-asphalt mixes, recycling aggregates, ceramic waste

Streszczenie

Przedmiot i cel pracy: Artykuł jest kontynuacją prowadzonych prac badawczych, których celem nadrzędnym było ukazanie odpadów ceramicznych jako pełnowartościowego substratu do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych. Autorzy opierając się na zbadanych cechach powstałego z rozkruszenia tzw. „stłuczki ceramicznej” kruszywa prezentują tezę, że materia ta może być pełnowartościowym kruszywem do betonów używanych w drogownictwie. Autorzy podkreślają ekologiczne zalety takiego rozwiązania. Celem niniejszej pracy było przeprowadzenie analizy czy wymienione działania są uzasadnione ekonomicznie.

Materiały i metody: W artykule na podstawie danych z przedsiębiorstw oszacowano wymienione koszty oraz porównano je z cenami kruszyw, które wykorzystywane są przez firmy produkujące mieszanki asfaltowe.

Wyniki: Porównania ekonomiczne udowodniły, że koszty opisanego recyklingu nie były na satysfakcjonującym poziomie.

Wnioski: Biorąc pod uwagę efekt ekologiczny zarekomendowano recykling odpadów ceramicznych przez ich wykorzystanie do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych do ogólnego użycia.

Słowa kluczowe: mieszanki mineralno-asfaltowe, kruszywa recyklingowe, odpady ceramiczne

Address for correspondence / Adres korespondencyjny: dr inż. Bartosz Zegardło, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, ul. Konarskiego 2, 08-110 Siedlce, Poland; phone: +48 25 643-19-15; e-mail: bart.z@wp.pl; mgr inż. Wojciech Andrzejuk, Państwowa Szkoła Wyższa im. Papieża Jana Pawła II w Białej Podlaskiej, Wydział Nauk Ekonomicznych i Technicznych, ul. Siderska 95/97, 21-500 Biała Podlaska, Poland; phone: +48 83 344-99-08; e-mail: w.andrzejuk@dydaktyka.pswbpl

Journal indexed in/ Czasopismo indeksowane w: AgEcon Search, AGRO, BazEkon, Index Copernicus Journal Master List, ICV 2016: 92,91; Polish Ministry of Science and Higher Education 2016: 9 points/ AgEcon Search, AGRO, BazEkon, Index Copernicus Journal Master List ICV 2016: 92,91; Ministerstwie Nauki i Szkolnictwa Wyższego 2016: 9 punktów. **Copyright:** © 2017 Pope John Paul II State School of Higher Education in Biała Podlaska, Bartosz Zegardło, Wojciech Andrzejuk, Urszula Andrzejewicz, Jerzy Nitychoruk. All articles are distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International (CC BY-NC-SA 4.0) License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>), allowing third parties to copy and redistribute the material in any medium or format and to remix, transform, and build upon the material, provided the original work is properly cited and states its license.

Introduction

Issues related to rational waste management give rise to measures that are treated as priority by the contemporary civilisation. The safety of the environment becomes increasingly the topic the scientific debates. This issue is understood as a process of taking action by the international community and the society of a given country, aimed at shaping the desired state of the natural environment in order to preserve the conditions in which threats cannot arise - it increasingly focuses on deposited waste. Remedial measures proposed for implementation are increasingly focused on the problem of waste material at the time of its production. The manufacturing sector, being primarily profit-oriented and heedless of the damage it causes to the natural environment, draws on its resources producing multiple goods that turn into waste deposits after their exploitation. One could enumerate many industries whose products cannot be returned to original production, as is the case with, for example, steel products. An example of such an industry is the manufacture of ceramic products. Ceramic products, due to their specificity, cannot be reused as substrates for the production of other ceramic products, and because of that they are dumped in landfills after usage.

One of the ceramic products subject to this practice are sanitary ceramics elements. Despite the fact that these products are very durable, they are more and more often replaced, not after technical exploitation but, for example, due to aesthetic reasons. Such practice results, on the one hand, in increased production of these products and, on the other hand, it causes large quantities of this waste to appear in landfills. Due to the above-mentioned reasons, innovative solutions for their recycling are being sought.

In the article, with reference to earlier research, the authors present the possibility of utilising used elements of sanitary ceramics for the production of mineral-asphalt mixtures used in road construction. This work investigates this issue in the technical and economic perspective. Based on the analysis of data obtained from many companies dealing with waste segregation, transport and the production of mineral-asphalt mixtures, the costs which entrepreneurs undertaking such recycling would have to bear have been estimated. Prices of recycled aggregate generated by a series of adjustment processes were compared with the prices of aggregates used in conventional blends. This comparison has proven that such type of activity is not particularly advantageous economically, but considering ecological aspects, its application is recommended.

Transport infrastructure in Poland

The relatively low price and ease of producing mineral-asphalt mixtures, coupled with a number of their advantages and possibilities for widespread use, make the automotive industry a major driving force in

Wstęp

Priorytetowymi działaniami obecnej cywilizacji są zagadnienia związane z racjonalnym zagospodarowaniem odpadów. Coraz częściej tematem debat naukowych staje się bezpieczeństwo ekologiczne środowiska. Zagadnienie to rozumiane jako proces podejmowania działań przez społeczność międzynarodową i wewnątrz kraju mających na celu kształtowanie pożądanego stanu środowiska przyrodniczego w celu zachowania warunków, w których zagrożenia nie mogą się pojawić – coraz częściej skupia się na deponowanych odpadach. Działania naprawcze proponowane do wdrożenia coraz częściej skupiają się na problemie odpadowej materii już w momencie jej wytwarzania. Sektor wytwórczy, nastawiony głównie na zyski nie bacząc na szkody jakie czyni w środowisku naturalnym, czerpie z jego złóż wytwarzając wiele dóbr, które po ich wyeksploatowaniu stają się zalegającym odpadem. Można wymienić wiele gałęzi przemysłu którego produkty nie mogą wrócić do pierwotnej produkcji, tak jak np. dzieje się z wyrobami stalowymi. Przykładem takiego przemysłu jest wytwórstwo wyrobów ceramicznych. Wyroby ceramiczne ze względu na ich specyfikę nie mogą być powtórnie wykorzystane jako substrat do produkcji innych wyrobów ceramicznych dlatego też po wykorzystaniu trafiają na wysypiska.

Jednym z wyrobów ceramicznych, którego dotyczy opisany proceder są elementy ceramiki sanitarnej. Pomimo tego, że produkty te są bardzo trwałe coraz częściej wyroby te wymienia się nie po wyeksploatowaniu technicznym a np. ze względów estetycznych. Taki proceder powoduje z jednej strony nasilenie produkcji tych wyrobów, a z drugiej strony fakt pojawiania się dużych ilości tych odpadów na wysypiskach. Z powyższych powodów poszukuje się innowacyjnych rozwiązań na ich recykling.

W artykule odwołując się do wcześniejszych prac badawczych autorzy prezentują możliwość wykorzystania zużytych elementów ceramiki sanitarnej do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych używanych w drogownictwie. Praca opisuje zagadnienie pod kątem technicznym oraz ekonomicznym. Na podstawie analizy danych zaczerpniętych z wielu przedsiębiorstw zajmujących się segregacją odpadów, transportem oraz wytwarzaniem mieszanek mineralno-asfaltowych oszacowano koszty jakie musieliby ponieść przedsiębiorcy podejmujący się wspomnianego recyklingu. Ceny recyklingowego kruszywa powstałego przez kolejne procesy dostosowania porównano z cenami kruszyw stosowanymi w mieszankach tradycyjnie. Porównanie to dowiodło, że tego typu działalność nie jest szczególnie korzystna ekonomicznie jednak biorąc pod uwagę względy ekologiczne rekomenduje się jej stosowanie.

Infrastruktura komunikacyjna w Polsce

Stosunkowo niska cena oraz łatwość produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych idąca w parze z szeregiem ich zalet oraz możliwościami powszechnego stosowania sprawiają, że przemysł

the technological development of this type of product. As a result, a number of research projects are being conducted to find new solutions for manufacturing processes, new components, admixtures and additives affecting the final parameters and prices of these composites.

Road construction is one of the most dynamically developing branches of Polish economy. Among the numerous directions of the construction of transport systems, where one could list systems of sea, air, railway transport etc., particular attention should be paid to the development of all types of roads and accompanying facilities. This state of affairs is governed by a number of legal regulations. Transport investments, unlike private investments, are implemented with public funds, and the guidelines for their implementation are imposed by the government and, as is the case with local roads, by local government authorities. Special conditions for the development and improvement of existing roads are also stipulated by the European Union program guidelines.

The existing road traffic system currently covers more than 412 thousand kilometres of roads spread throughout the country (Table 1) (National road construction program for 2014-2020, 2014). All of these objects are accompanied by a number of co-creating objects which, to a large extent, also contain mineral-asphalt mixtures in their structure.

Table 1. Status of public roads in Poland - August 2014

Road category	km	share (%)
National roads	19 182	4.7
Provincial roads	28 423	6.9
County roads	125 779	30.5
Municipal roads	238 651	57.9
Altogether	412 035	100

Source: National road construction programme for the years 2014-2020.

Expenditure on road investments is one of the main items encumbering the national budget. As in the previous years (Table 2) (National Road Construction Programme for 2014-2020, 2014), future expenditure on transport investments is planned in advance and accompanied with forecasts. For example, the target shape of the national roads network was already defined by the Council of Ministers regulation of 15 May 2004 on motorways and express roads. Any road investments are subject thereto, and the planned investments contribute to successive realisation of the assumptions set out therein.

Regardless of the type of transportation roads, the main objective of the Ministry of Infrastructure is to build a coherent and modern system of roads ensuring efficient operation of passenger and freight transport. The planned extension of the network is, according to assumptions, expected to have a positive impact on the broad spectrum of factors which condition efficient functioning of the state and the development of its regions. The implementation

motoryzacyjny jest wielką siłą napędową rozwoju technologicznego tego typu produktów. W związku z powyższym prowadzone są liczne prace badawcze, których celem jest poszukiwanie nowych rozwiązań w zakresie procesów produkcji, nowych składników, domieszek, dodatków wpływających na ostateczne parametry oraz ceny tych kompozytów.

Budownictwo drogowe jest jedną z najprężniej rozwijających się gałęzi polskiej gospodarki. Spośród wielu kierunków budowy systemów transportowych, wśród których wymienić można systemy komunikacji morskiej, powietrznej, kolejowej itp. na szczególną uwagę zasługuje rozwój wszelkiego typu dróg kołowych i obiektów im towarzyszących. Ten stan rzeczy podyktowany jest szeregiem uwarunkowań prawnych. Inwestycje transportowe, inaczej niż to jest z inwestycjami prywatnymi, są realizowane ze środków publicznych, a wytyczne co do ich realizacji nakładane są przez rząd oraz jak to się dzieje w przypadku dróg lokalnych przez władze samorządowe. Szczególne uwarunkowania rozbudowy oraz poprawy stanu dróg istniejących wymuszane są również przez wytyczne programowe Unii Europejskiej.

Istniejący obecnie system komunikacyjny samych dróg kołowych to ponad 412 tysięcy kilometrów dróg rozpostartych na terenie całego kraju (Tabela 1) (Program budowy dróg krajowych na lata 2014-2020, 2014). Wszystkim tym obiektom towarzyszy szereg obiektów współtworzących, które w dużej mierze również w swej strukturze zawierają mieszanki mineralno-asfaltowe.

Tabela 1. Stan dróg publicznych w Polsce - sierpień 2014 r.

Kategoria drogi	km	udział (%)
Drogi krajowe	19 182	4,7
Drogi wojewódzkie	28 423	6,9
Drogi powiatowe	125 779	30,5
Drogi gminne	238 651	57,9
Ogółem	412 035	100

Źródło: Program budowy dróg krajowych na lata 2014-2020.

Wydatki ponoszone na inwestycje drogowe stanowią jeden z głównych elementów obciążających budżet Państwa. Podobnie jak w latach ubiegłych (Tabela 2) (Program budowy dróg krajowych na lata 2014-2020, 2014) wydatki na lata przyszłe w inwestycjach transportowych planowane są z pewnym wyprzedzeniem i prognozą. Docelowy np. kształt sieci dróg krajowych określony został już w rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 15 maja 2004 r. w sprawie sieci autostrad i dróg ekspresowych. Wszelkie inwestycje drogowe podlegają mu, a planowane inwestycje służą sukcesywnej realizacji przedstawionych w nim założeń.

Niezależnie od rodzaju dróg komunikacyjnych głównym celem, do którego dąży resort infrastruktury to budowa spójnego i nowoczesnego systemu dróg zapewniających efektywne funkcjonowanie transportu osobowego i towarowego. Planowana rozbudowa sieci połączeń ma w założeniach wpłynąć korzystnie na szerokie spektrum czynników warunkujących sprawne funkcjonowanie państwa oraz rozwój jego regionów. Realizacja planowanych w za-

of the planned investments is also intended to meet the expectations of the inhabitants regarding safe and fast transportation. The range of expenses borne by the state is aimed at reducing the infrastructure gap between EU countries and Poland.

The expenditure on communication infrastructure planned for the coming years does not depart from the figures for recent years (Table 3).

łożeniach inwestycji ma pozwolić również zaspokoić oczekiwania mieszkańców związane z bezpieczną i szybką komunikacją. Szereg ponoszonych wydatków ma na celu zmniejszenie luki infrastrukturalnej pomiędzy krajami UE a Polską.

Planowane na najbliższe lata wydatki na infrastrukturę komunikacyjną nie odbiegają tym jakie ponoszono w latach ostatnich (Tabela 3).

Table 2. Expenditure from the national budget for transportation investments in the years 2004-2013

Tabela 2. Wydatki z budżetu Państwa na inwestycje komunikacyjne w latach 2004-2013

Consecutive years / Expenditure in thousands PLN/ Kolejne lata/ Wydatki w tys. zł	National Road Fund/ Krajowy Fundusz Drogowy	The State Budget/ Budżet Państwa	TOTAL KFD BP/ RAZEMKFD +BP
2004	875 314.9	3 129 979.7	4 005 294.6
2005	2 878 383.4	2 915 398.6	5 793 782.0
2006	4 736 072.6	2 515 875.6	7 251 948.2
2007	3 080 488.2	6 684 762.8	9 765 251.0
2008	1 950 739.5	11 217 633.7	13 168 373.2
2009	10 082 491.9	7 815 828.0	17 898 319.9
2010	16 937 014.5	2 988 512.8	19 925 527.3
2011	23 650 966.1	2 573 060.4	26 224 026.5
2012	19 655 812.1	2 730 828.6	22 386 640.7
2013	10 507 274.8	2 848 180.7	13 355 455.5
TOTAL/ RAZEM	94 354 558.0	45 420 060.9	139 774 618.9

Source: National road construction programme for 2014-2020.

Źródło: Program budowy dróg krajowych na lata 2014-2020.

Table 3. Expenditure on transportation infrastructure planned for the coming years (expenditure in thousands PLN)

Tabela 3. Planowane na najbliższe lata wydatki na infrastrukturę komunikacyjną (wydatki w tys. zł)

Source of funding/ Źródło finansowania	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Expenditure in 2014-2023/ Wydatki w latach 2014-2023
The State Budget/ Budżet Państwa	5 100 000.0	5 200 000.0	5 300 000.0	5 400 000.0	5 500 000.0	5 600 000.0	5 700 000.0	48 679 679.0
KFD perspective for 2014-2020/ KFD perspektywa 2014-2020	22 802 072.1	20 601 055.1	13 162 451.2	5 809 609.9	557 346.7	60 050.0	0.0	92 747 335.3
Total/ Razem:	27 902 072.1	25 801 055.1	18 462 451.2	11 209 609.9	6 057 346.7	5 660 050.0	5 700 000.0	141 427 014.3

Source: National road construction programme for 2014-2020.

Źródło: Program budowy dróg krajowych na lata 2014-2020.

The forecasts presented allow us to assume that all types of economic enterprises accompanying the construction of transportation roads will also exhibit development tendencies. This pattern will most likely impact the market of mineral-asphalt mixture production.

Przedstawione prognozy pozwalają zatem przypuszczać, że wszelkiego typu przedsięwzięcia gospodarcze towarzyszące budowie dróg komunikacyjnych posiadać będą również tendencje rozwojowe. Schemat ten z dużym prawdopodobieństwem dotyczyć będzie również towarowego rynku produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych.

Recycling resources in transportation construction

Waste disposal by means of road construction has been the objective of research conducted for a considerable period of time (Piestrzyński 2014). A primary criterion for differentiating ways of application is introduced in connection with the specific character of the location where waste is utilised along with the role and purpose of the utilisation of recyclables.

The first field of application that has been functioning on the industrial market for a long time is the so-called widely understood land levelling. Construction of transportation facilities, in particular, (vehicle roads, railways) requires relocating large quantities of earth. It frequently happens that the mass balance for the planned section is negative. In such cases the most convenient solution is to resort to the local deposits of natural aggregates. However, if such deposits do not exist or the parameters of the aggregates present in them do not meet the expected requirements, recycled aggregates are applied. The most popular waste substance for this application is concrete rubble formed by crushing concrete elements. Slag from heat and power generating plants, carbonaceous shale, plaster waste, ceramic materials or construction rubble consisting of a mixture of those substances, however, are commonly used here (Ajdukiewicz 2009, Sadowska 2014).

Another widespread method of using waste in the transportation construction, which has been used with considerable effectiveness in Poland since the 1960s, is the use of active substances as a substitute for cement. This type of solution is usually used for stabilization and improvement of native soil with low load capacity. In these sites, pulverised fuel ash from power plants, carbide lime, ground slag from fluidized bed combustion and refinery sediments processed with burnt lime are commonly used. The validity of such solutions is largely dictated by economic considerations. The enumerated substances, despite their significantly lower efficiency, are ultimately far less expensive than cement, and contractors are eager to opt for such solutions (Atis 2015, Giergiczny 2008).

The third direction of waste disposal in the industry of transportation construction has arisen very recently as a result of public interest in ecology. It does not stem directly from market needs, but is rather a search for a way to cancel the adverse impact of industry and construction on the environment. The problem of waste management is the main topic of scientific research here. Efforts are being made to effect full management of all waste types because of energy and environment considerations. In addition to simple, non-structural applications, waste materials can also be implemented in the broader market of load-bearing materials. However, this issue is quite complex and many areas of this type of opportunity have not yet been investigated.

Substancje recyklingowe w budownictwie komunikacyjnym

Od wielu lat prowadzone są badania, które mają na celu wdrożenie utylizacji odpadów za pośrednictwem budownictwa drogowego (Piestrzyński 2014). W związku ze specyfiką miejsca wykorzystania odpadów, rolą oraz celem utylizacji substancji recyklingowych wprowadza się podstawowe kryterium podziału ich zastosowań.

Pierwszy obszar, który od dość długiego okresu czasu funkcjonuje na rynku przemysłowym to tzw. szeroko pojęta niwelacja terenu. Budowa w szczególności obiektów komunikacyjnych liniowych (drogi kołowe, kolej) wymaga przemieszczenia dużych mas ziemnych. Niejednokrotnie zdarza się tak, że bilans mas dla planowanego odcinka jest ujemny. W przypadkach takich najbardziej wygodnym rozwiązaniem jest sięganie do miejscowych złóż kruszyw naturalnych. Jeśli jednak takich złóż nie ma lub parametry występujących w nich kruszyw nie spełniają wymagań oczekiwanych sięga się po kruszywa recyklingowe. Najbardziej popularną w tym miejscu substancją odpadową jest tzw. destrukta betonowy powstały ze skruszenia elementów betonowych. Powszechnie jednak w miejscach tych są wykorzystywane również żużle z elektrociepłowni, łupki przywęglowe, odpadowe tynki, materiały ceramiczne czy będący mieszaniną tych substancji gruz budowlany (Ajdukiewicz 2009, Sadowska 2014).

Kolejną powszechną metodą wykorzystania odpadów w budownictwie komunikacyjnym, która dość skutecznie wykorzystywana jest na terenie Polski od lat 60-tych XX w. to wykorzystanie substancji aktywnych jako substytutu cementu. Tego typu rozwiązania stosuje się najczęściej przy stabilizacjach i ulepszeniach gruntów rodzimych o niskich parametrach nośności. W miejscach tych powszechnie stosowane są aktywne popioły z elektrowni, wapno pokarbidowe, rozdrobnione żużle z fluidalnego spalania czy osady porafineryjne przetworzone wapnem palonym. Zasadność tego typu rozwiązań w dużej mierze podyktowana jest ekonomią. Wymienione substancje pomimo znacznie niższej skuteczności ich działania są finalnie dużo tańsze od cementu przez co wykonawcy prac chętnie decydują się na tego typu rozwiązania (Atis 2015, Giergiczny 2008).

Trzeci kierunek utylizacji odpadów w budownictwie komunikacyjnym powstał stosunkowo niedawno w wyniku dużego zainteresowania społeczeństw tematyką ekologiczną. Nie wynika on wprost z potrzeby rynku, a jest raczej poszukiwaniem sposobu na zniesienie ujemnego wpływu przemysłu oraz budownictwa na środowisko. Problem gospodarki odpadami jest tu głównym tematem naukowych poszukiwań. Dąży się do tego aby ze względów energetyczno-ekologicznych doprowadzić do pełnego zagospodarowania wszystkich odpadów. Oprócz zastosowań prostych – nie konstrukcyjnych dąży się, aby substancje odpadowe mogły zostać wdrożone również na szerszy rynek materiałów przenoszących obciążenia. Zagadnienie to jest jednak dość skomplikowane i wiele obszarów tego typu możliwości nie zostało jeszcze zbadanych.

Economic analysis of the use of recycled ceramic aggregates for mineral-asphalt mixtures

For economic analysis, the location and price conditions for a typical city with a population of about 70 000 were adopted. In such type of a city, as indicated by statistical analyses, the production of mineral-asphalt mixtures is operated by one or two

Analiza ekonomiczna stosowania recyklingowych kruszyw ceramicznych do mieszanek mineralno-asfaltowych

Do analiz ekonomicznych przyjęto warunki lokalizacyjne oraz cenowe dla typowego miasta o liczbie mieszkańców około 70 tys. W mieście takim jak wynika ze statystycznych analiz produkcję mieszanek

Table 4. The analysis of the prices of ceramic aggregates including the cost of purchase, transport, homogenisation and additional contributions against the background of the prices of traditional aggregates

Tabela 4. Analiza cen kruszywa ceramicznego uwzględniająca koszt zakupu, transportu, ujednolicania oraz nakłady dodatkowe na tle cen kruszyw tradycyjnych

Type of aggregate / Feature/ Rodzaj kruszywa / Cecha	Unit/ Jedn.	Traditional aggregate:/ Kruszywo tradycyjne:				Aggregate obtained from recycled ceram- ics/ Kruszywo z recyklin- gu ceramiki
		dolomit	granodio- rite/ granodio- ryt	basalt/ bazalt	gabbro	Whiteware/ Ceramika szlachetna biała
Form in the deposit/ Postać w złożu	-	aggregate for direct usage/ kruszywo bezpośrednio do użycia				medium-sized ele- ments/ elementy średnio wymiarowe
Price in the deposit (gross at seller)/ Cena w złożu (brutto u sprzedawcy)	PLN/tonne/ zł/tonę	36.9 (46)	18.45 (56)	30.75 (73)	61 (75)	24.26
Estimated transport distance/ Szacunkowa odległość transportu	km	50 (20)	50 (30)	80 (160)	300 (30)	200
Transport price/ Cena transportu	PLN/tonne/ zł/tonę	12 (8)	12 (12)	19.2 (15)	72 (12)	48
The necessity of ad- justment to commodity production	yes/no/ tak/nie	no	no	no	no	yes
Type of adjustment/ Rodzaj dostosowania	-	-	-	-	-	crushing/ kruszenie
Estimated cost of adjust- ment/ Szacowany koszt dostoso- wania	PLN/tonne/ zł/tonę	-	-	-	-	20.91
Total cost at the facility producing mixtures/ Koszt całkowity w wy- twórni mieszanek	PLN/tonne/ zł/tonę	48.9 (54)	51.52 (68)	64.71 (88)	133 (87)	93.17
Special requirements for the production of concrete mix/ Wymagania specjalne w produkcji mieszanki betonowej	type/ rodzaj	-	-	-	-	Increase of the amount of binders/ zwiększenie ilości lepiszcza
Expenditure per 1 tonne of aggregate/ Koszt nakładu w skali 1t kruszywa	PLN/tonne/ zł/tonę	-	-	-	-	12.3
Total cost including ad- ditional expenditure/ Koszt całkowity z ujęciem nakładów dodatkowych	PLN/tonne/ zł/tonę	48.9 (54)	63.82 (68)	77.01 (88)	133 (87)	105.47

Source: authors' own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

production plants. The companies manufacturing such mixtures are, in overwhelming majority, supplied with aggregate by external suppliers, whose localisation is on average 200 km away from the production plant. The analysed prices of traditional aggregates in a given deposit are the average prices of the material that the buyer has to pay at the seller's outlet. On the basis of localisation analyses this work presents average distances from sites where ceramic waste substances can be obtained in unlimited quantities, i.e. sites where raw material purchase and processing facilities are located (rubble waste purchasers, demolition companies) or industrial plants producing waste (e.g. waste generated during ceramics manufacture). The final price of the aggregate, besides purchase and transport prices, includes two additional elements. The first one is the price of homogenising the material, i.e. the cost of crumbling or cleaning and crumbling, including additional expenses incurred for crumbling white pottery waste, which stems from the high hardness of this material. The second element was the additional cost incurred in the course of the industrial production of mineral-asphalt mixtures with porous aggregates, such as increased consumption of asphalt binders, as particularly recycled aggregates, which are characterised by high absorption in comparison to traditional aggregates, require this type of additional investment. The values analysed above have been listed in Table 4. Both the possible places of application and the final prices of aggregates that the commodity manufacturer must bear in order to put the aggregate into production are analysed.

When analysing the data included in the list, it is noted that the use of traditional dolomite aggregates is the most economically justified. These aggregates have the lowest price, i.e. about 54 PLN/tonne (total cost at a bulk manufacturer's facility), and the widest range of applications. A relatively low cost of acquisition was also noted for granodiorite aggregates, the cost of which was about: 68 PLN/tonne.

The presented prices of whiteware ceramic aggregates, set at 105.47 PLN/tonne, are indirect ones. It should be noted, however, that they require additional preparatory work, and currently there are no comprehensive studies yet, allowing one to implement the proposed large-scale production system.

Conclusions

As is clear from the above analysis, the usage of recycled aggregates in production process is not economically unreasonable for companies. These aggregates require additional logistics both in their acquisition, adaptation and production. Estimated costs are not significantly lower either. Some aggregates - including ceramic aggregates, require additional explorative research because the current state of knowledge is not sufficient to launch them into market production.

mineralno-asfaltowych obsługuje – jedna do dwóch wytwórni. Przedsiębiorstwa produkujące mieszanki w przeważającej większości zaopatrują się w kruszywo od dostawców zewnętrznych, których lokalizacja odległa jest od wytwórni o średnio 200 km. Analizowane ceny kruszyw tradycyjnych w złożu podano jako ceny średnie materii, które kupujący musi zapłacić za materiał na miejscu u sprzedawcy. Na podstawie analiz lokalizacyjnych przedstawiono również średnie odległości od miejsc, w których substancję ceramiczną - odpadową można pozyskać w nieograniczonych ilościach tj. miejsc, w których zlokalizowane są skupy i przetwórstwo surowców (skup gruzu, firmy rozbiórkowe) lub znajdują się zakłady przemysłowe produkujące odpad (np. odpady powstające przy produkcji ceramiki). W cenie ostatecznej kruszyw prócz ceny zakupu oraz ceny transportu uwzględniono dwa dodatkowe elementy. Pierwszym z nich była cena ujednolicenia materii tj. koszt rozkruszenia lub koszt oczyszczenia i rozkruszenia przy czym uwzględniono fakt dodatkowych nakładów ponoszonych przy kruszeniu odpadów ceramiki białej będący wynikiem dużej twardości tego materiału. Drugim składnikiem były dodatkowe koszty ponoszone przy produkcji towarowej mieszanek mineralno-asfaltowych na kruszywach porowatych takie jak np. zwiększenie zużycia lepiszcza asfaltowego. Szczególnie bowiem kruszywa recyklingowe, które cechuje dość dużą w stosunku do kruszyw tradycyjnych nasiąkliwość, wymagają tego typu dodatkowych nakładów. Powyższe analizowane wartości zestawiono w Tabeli 4. Analizie poddano zarówno możliwości miejsc stosowania jak i ceny finalne kruszyw, które wytwórnia towarowa musi ponieść, aby kruszywo wdrożyć do produkcji.

Analizując dane zawarte w zestawieniu zauważa się że najbardziej ekonomicznie uzasadnione jest stosowanie kruszyw tradycyjnych dolomitowych. Kruszywa te posiadają najniższą cenę tj. około 54 zł/tonę (całkowitych kosztów w wytwórni masy) oraz najbardziej szeroki wachlarz zastosowań. Stosunkowo niski koszt pozyskania odnotowano również dla kruszyw granodiorytowych, których koszt wynosił: około 68 zł/tonę.

Przedstawione ceny kruszyw z ceramiki białej ustalone na poziomie 105,47 zł/tonę stanowią cenę pośrednią. Należy jednak zauważyć, że wymagają one dodatkowych zabiegów przygotowawczych oraz jak na dzień obecny nie ma jeszcze kompleksowych badań, które pozwalałyby wdrożyć proponowany system do produkcji na wielką skalę.

Wnioski

Jak wynika z powyżej analizy wykorzystanie w produkcji kruszyw recyklingowych nie jest dla przedsiębiorstw procesem ekonomicznie nieuzasadnionym. Kruszywa te wymagają dodatkowej logistyki zarówno przy ich pozyskaniu, dostosowaniu jak i przy samym procesie produkcyjnym. Szacowane koszty również nie są znacząco niższe. Niektóre z kruszyw – w tym kruszywa ceramiczne wymagają dodatkowych badań poznawczych ponieważ obecny stan wiedzy nie jest wystarczający, aby wdrożyć je do produkcji rynkowej.

In pursuit of ecological goals such as management of unwanted waste or reduction of the amount of extraction of natural aggregates, one can, or even should, resort to non-economic measures. The only possibility here is perceived in the apparatus of state power. Forced, non-economic use of waste in road construction in Poland has already taken place - although, so far, only in theory. It is possible due to the cohesive system of environment protection law and the increasing activity of the environment protection ministry, provincial and local environment protection departments and departments of construction supervision. This allows, for example, for setting a condition on building permit decisions whereby local waste material must be used and executing this condition with full force of law.

In the years to come, with the disappearance of the sources of natural aggregates and the depletion of their resources, a considerable increase in their prices is anticipated. The desire to obtain aggregates from unconventional sources will be natural and will be supported by economic factors. At present, however, it is important to focus on conducting further research, which will produce the necessary knowledge so that recycled aggregates, including ceramic ones, could be implemented into the construction of concrete transportation facilities without restriction.

W dążeniu do celów ekologicznych takich jak zagospodarowanie niechcianych odpadów lub zmniejszenie ilości wydobycia kruszyw naturalnych można lub nawet należy sięgnąć do środków poza-ekonomicznych. Jedyną możliwością upatruje się tu w aparacie władzy państwowej. Wymuszone, poza-ekonomiczne stosowanie odpadów w budownictwie drogowym w Polsce ma już miejsce choć - jak dotąd tylko teoretyczne. Umożliwia to zwarty system prawa ekologicznego oraz wzrastająca aktywność resortu ochrony środowiska, wojewódzkich i lokalnych wydziałów ochrony środowiska oraz wydziałów nadzoru budowlanego. Pozwala to np. w decyzjach o pozwoleniu na budowę postawić warunek wykorzystania lokalnego materiału odpadowego i warunek ten z całą mocą prawa wyegzekwować.

W latach przyszłych wraz z zanikaniem źródeł kruszyw naturalnych i wyczerpującymi się ich zasobami przewiduje się znaczny wzrost ich cen. Naturalną więc będzie chęć czerpania kruszyw ze źródeł niekonwencjonalnych, która będzie poparta czynnikami ekonomicznymi. Obecnie jednak należy koncentrować się na prowadzeniu kolejnych prac badawczych, które przygotują niezbędny stan wiedzy do tego, aby kruszywa recyklingowe w tym ceramiczne mogły być wdrażane bez ograniczeń do budowy betonowych obiektów komunikacyjnych.

References/Literatura:

1. Ajdukiewicz A., Kliszczewicz A. (2009), *Recykling betonu konstrukcyjnego - cz. I*. Inżynier Budownictwa, nr 2, s. 65-69.
2. Atis C. (2005), *Strength properties of high - volume fly ash roller compacted and workable concrete and influence of curing condition*, Cement and Concrete Research, vol. 35, s. 1112-1121.
3. Dz. U. Nr 128, poz. 1334, z późn. zm. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 15 maja 2004 r. w sprawie sieci autostrad i dróg ekspresowych.
4. Giergiczny E., Góralna K. (2008), *Mielony granulowany żużel wielkopiecowy - dodatek do betonu typu II*, Polski Cement, s. 56-59.
5. Halicka A., Ogrodnik P., Zegardło B. (2013), *Using ceramic sanitary ware waste as concrete aggregate*, Construction and Building Materials, vol. 48, s. 295-305.
6. Piestrzyński P. (2014), *GDDKiA: Dywersyfikujemy technologię*, Budownictwo, Technologie, Architektura, nr 4 (68), s. 56-57.
7. Program budowy dróg krajowych na lata 2014-2020 z dn. 4.11.2014. Ministerstwo Infrastruktury i Rozwoju. Departament dróg i autostrad. Biuletyn Informacji Publicznej.
8. Sadowska-Buraczewska B. (2014), *Kruszywa z recyklingu w budownictwie*, Inżynieria Ekologiczna, Vol. 40, s. 74-81.
9. Sybilski D., Kraszewski C. (2004), *Ocena i badania wybranych odpadów przemysłowych do wykorzystania w konstrukcjach drogowych*, Instytut badawczy Dróg i Mostów, XI 2004, Warszawa.