

# Optymalizacja bilansowania podaży z popytem na kruszywa naturalne

## Optimization of balancing supply and demand for natural aggregates



Dr hab. inż. Marek Stryszewski\*)



Mgr inż. Dorota Łochańska\*)

**Treść:** Kruszywa naturalne (łamane i żwirowo-piaskowo) i inne surowce pospolite wykorzystywane są od lat w sposób stały w wielu dziedzinach gospodarki. Łatwe warunki występowania i eksploatacji sprawiają, że głównym składnikiem kosztów mierzonych u odbiorców jest koszt transportu wyrażany zwykle w funkcji odległości. Określenie optymalnych, z punktu widzenia odległości transportu, stref bilansowania popytu na kruszywa z podażą sprowadza się do wyznaczenia minimalnej pracy transportowej na pokrycie popytu. Niedostosowanie tych stref do siebie powoduje zbędną pracę transportową, której skutki mogą być mierzone w skali kraju. Prezentowane zagadnienie jest wynikiem wieloletnich prac autorów niniejszej publikacji i rozwiązano je w odniesieniu do kruszyw łamanych i żwirowo-piaskowych.

**Abstract:** Natural aggregates (crushed and sand-gravel) and other common raw materials have been used on permanent basis in many areas of economy for years. Easy occurrence and exploitation make the cost of transport, usually expressed as a function of distance, the main carrier of costs measured at customers. Determination of the optimal, from the point of view of transport distances, balancing zones of demand and supply for aggregate means specifying the minimal transport work to cover the demand. Maladjustment of these zones to one another causes unnecessary transport work, the effects of which can be measured in the scale of the country. The presented issue is the result of many years' work of this publication's authors and it was solved in relation to the crushed, gravel and sand aggregates.

### Słowa kluczowe:

górnictwo odkrywkowe, prawo, działalność przedsiębiorców górniczych

### Key words:

regionalization of production, demand, supply, gravel-sand aggregates, crushed aggregates, transport of aggregates

## 1. Wprowadzenie

Kruszywa są pozyskiwane od najdawniejszych czasów. Stanowią stały magazyn materiałów dla wielu dziedzin życia gospodarczego kraju. Pozyskiwane i transportowane są różnorodnymi sposobami. Koszty ich zakupu ponoszone przez odbiorców zależą od wielu czynników, a w sposób zasadniczy zależą od lokalizacji wydobycia kruszyw w stosunku do odbiorców. Przy swobodzie wyboru lokalizacji produkcji i niskich jego kosztach jednostkowych podstawowym składnikiem łącznych kosztów jest koszt transportu do odbiorców, a nie koszt produkcji. Choć istnieje stała, naturalna tendencja lokowania produkcji kruszyw blisko odbiorców, to jednak obszary ich występowania są niejednokrotnie przeznaczane na cele społeczne, rekreacyjne, kulturowe itd. Sprawia to, że zachodzi konieczność korzystania z odległych baz kruszyw,

co zwiększa koszty ich zakupu przez odbiorców. Istnieje celowość ochrony prawnej zasobów kruszyw w odniesieniu do struktury popytu, tak jak istnieje ochrona prawna gruntów rolnych i leśnych przed przeznaczeniem ich na cele nierolnicze i nieleśne, czy ochrona zasobów wód i powietrza. Niniejszy artykuł jest wynikiem wieloletnich prac autorów nad zagadnieniem lokalizacji produkcji kruszyw w odniesieniu do stref popytu.

## 2. Kruszywa łamane

### 2.1. Stan badań nad powiązaniem producentów z odbiorcami kruszyw

Problem powiązania miejsc produkcji kopalni pospolitych z odbiorcami jest równoznaczny z oceną lokalizacji kopalni i odbiorców względem siebie. Z punktu widzenia lokaliza-

\*) AGH w Krakowie, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii

cji produkcji surowców skalnych wyróżnić tu trzeba dwa jej rodzaje: lokalizację *szczegółową* i *ogólną*. Lokalizacja *szczegółowa* określa konkretne miejsca wydobycia kopaliny w stosunku do odbiorców kruszywa, zaś lokalizacja *ogólna* określa region surowcowy<sup>1</sup> w którym wydobywane są kopaliny.

W literaturze powiązanie miejsc wydobycia z odbiorcami niemal wyłącznie odnoszone jest do lokalizacji szczegółowej, licznie prezentowane są metody określające ilości produkcji wysyłanej z każdej kopalni do każdego odbiorcy według kryterium, np. minimalizacji kosztów transportu, odległości, wielkości produkcji. Cechą tych prac jest określenie, jakie wielkości produkcji należy przewieźć z kopalni do odbiorców, według wyróżnionego kryterium, bez wnikania czy lokalizacja wszystkich miejsc wydobycia w stosunku do odbiorców jest właściwa.

Lokalizacja ogólna ocenia, jaka ma być produkcja regionów względem siebie i względem odbiorców. Publikacje oceniające jakościowo bądź ilościowo powiązania kopalni z odbiorcami są sporadyczne. W opracowaniach krajowych próby ilościowej oceny powiązania kopalni z odbiorcami podjęto w pracach [1, 11 i 12]. Szersze ujęcie zagadnienia przedstawiono w [7÷10]. Z zagranicznych trzeba wymienić [5], w której autor zwraca uwagę na skutki ekonomiczne niedostosowania wydobycia kruszywa do popytu. Na uwagę zasługuje opracowanie [2] dotyczące metod oceny powiązań producentów z odbiorcami.

Kilka dziedzin życia zachowało ciągłość korzystania z zasobów od najdawniejszych czasów do obecnych. Zaliczają się do nich m.in. zasoby kopaliny powszechnie występujących i powszechnie wykorzystywanych, jak kruszywa łamane, żwirowo-piaskowe, surowce ceramiki budowlanej. Od lat istnieje ten sam sposób korzystania z nich. W pierwszej kolejności odbiorcy korzystają z najbliższych miejsc wydobycia kopaliny, a obszar zaspokajania popytu jest tym większy, im większa jest produkcja. W miarę rozrastania się ośrodków osadniczych najbliższe miejsca produkcji są wchłaniane przez miasta stając się ośrodkami rekreacji i wypoczynku. Rolę wchłoniętych kopalni przejmują inne, dalsze, zaspokajając popyt miast itd. Można więc uznać, że powiązanie odbiorców kopaliny pospolitych z miejscami wydobycia jest samoregulującym się instrumentem, który w życiu kolejnych pokoleń zachodzi w sposób naturalny i ciągły. Idealny model powiązania kopalni z odbiorcami sprowadza się do istnienia ośrodków osadniczych i skupionych wokół nich kopalni. Podstawową cechą takiego układu gniazdowego podaży – popyt jest minimalna odległość zaspokojenia popytu, a więc minimalny koszt transportu z kopalni do odbiorców. Jeśli relacje te nie są spełnione zachodzi wymiana jednorodnej produkcji. Skutkiem tego jest istnienie zbędnych przewozów: krzyżujących się (przewozy produkcji z różnych regionów przewożone są w różnych kierunkach), przeciwbieżnych (przewozy o przeciwnych kierunkach z regionu do regionu) i tranzytowych (produkcja z regionu peryferyjnego przewożona jest do odbiorców tranzytem przez inny region). Efektem ilościowym tych przewozów jest zbędna praca transportowa na pokrycie popytu. Przy znacznych ilościach przewożonego rocznie kruszywa może prowadzić do strat gospodarczych istotnych w skali kraju.

Wspomniany wyżej proces samoregulacji układu kopalni kruszywa – odbiorca kruszywa w dłuższym czasie może ulec zakłóceniu. Wynika to z tego, że obszary występowania kruszywa pełnią niejednokrotnie różnorodną rolę w życiu lokalnych społeczności, bądź całego kraju: gospodarczą, kulturową, kształcącą, lub są miejscem przeznaczonym pod

zagospodarowanie przestrzenne. Istnieje więc konflikt interesów społeczeństwa co do kierunków wykorzystania terenu. Zwykle w konflikcie tym wydobycie kruszywa przegrywa. Skutkiem tego zachodzi konieczność korzystania z dalszych od odbiorców zasobów, co zwiększa koszty kruszywa ponoszone przez odbiorców.

Ten stan rzeczy wynika z następujących przyczyn:

- kopalnie zainteresowane są jedynie sprzedażą kruszywa bez wnikania dokąd ma być przewożone;
- kupujący (odbiorcy kruszywa) kupują go tam, gdzie jest to możliwe i nie mają świadomości, że istnieją bliższe zasoby;
- braku zapisów prawnych chroniących kopaliny przed innym wykorzystaniem niż dla zaspokojenia popytu na kruszywo. Trzeba tu zauważyć, że spośród elementów środowiska przyrodniczego: atmosfery, hydrosfery i litosfery jedynie zasoby litosfery (surowców skalnych) nie są prawnie chronione przed ich wyłącznym wykorzystaniem w stosunku do potrzeb odbiorców.

## 2.2. Stan prac nad powiązaniem lokalizacji produkcji z odbiorcami kruszywa

W pracy [10] rozwiązano problem lokalizacji ogólnej kruszywa łamanych na obszarze kraju w odniesieniu do kruszywa łamanych klasy II i niższych. Stwierdzono, że skutkiem niedostosowania lokalizacji ogólnej kruszywa do struktury popytu na obszarze kraju zbędnie przewozi się 1,4 mln Mg kruszywa na średnią odległość 104,5 km, co przy umownie przyjętej wielkości jednorazowo wysłanej z kopalni do odbiorców 1 tys. Mg odpowiada 1400 składom pociągów na odległość 104,5 km.

Najlepszym rozwiązaniem dla kopalni i odbiorców jest regionalizacja produkcji kruszywa, by minimalizować odległość przewozu. Graficzne rozwiązanie tego zadania przedstawiono na rysunku 1. Zaznaczone strefy popytu na kruszywo, w odniesieniu do punktów centralnych regionów wydobywczych, wyznaczają jednoznaczne przyporządkowanie produkcji do popytu minimalizując pracę transportu na jego zaspokojenie.



Rys. 1. Strefy bilansowania podaży asortymentów tłuczni i kłębka w odniesieniu do regionów [10]

Fig. 1. Balance zones of supply of crushed stone and key aggregate in relation to the regions [10]

## 3. Kruszywa żwirowo-piaskowe

Niniejszy rozdział powstał głównie na bazie wykonywanej rozprawy doktorskiej [3] oraz prac [6], w których zamieszczono fragmenty [3].

<sup>1</sup> Pod pojęciem regionu surowcowego rozumie się obszar zwarty terytorialnie o znacznej rozciągłości, sięgający tak daleko, jak kopaliny w nim występujące.

### 3.1. Występowanie i zastosowanie kruszyw żwirowo-piaskowych

Złoże żwirowo-piaskowe zawierają podstawowy materiał budowlany zarówno dla najmniejszych i najprostszych zamierzeń budowlanych, jak i dla dużych inwestycji. Asortymenty żwirowe często stosowane są jako kruszywa do betonów zwykłych i wyższych marek, a także do innych zastosowań: w lastriko, jako materiał filtracyjny, czy jako materiał do wymiany gruntów.

Na obszarze całego kraju występują asortymenty piasku i żwirów. Pozyskiwane są one wszędzie i w każdym miejscu, ale w różnych, wzajemnych proporcjach.

Żwiry pozyskiwane są w takich ilościach, jakie zostają wydobyte ze złoża, natomiast piaski prawie wszędzie występują w nadmiarze i stanowią odpad. Obszary, na których frakcje piaszczyste są deficytowe są niewielkie i obejmują tereny góryste na południu kraju.

Kruszywo wykorzystywane jest często bezpośrednio, po wydobyciu ze złoża, lub po prostej przeróbce. W gospodarce znajdują zastosowanie wszystkie frakcje, począwszy od piaszczystej, poprzez grysy, aż do głazów narzutowych. Korzystanie z tych frakcji jest jednak zróżnicowane terytorialnie. Ogólnie można powiedzieć, że podstawową frakcją są grysy pozyskiwane na obszarze całego kraju, choć w nierównych ilościach. Najuboższa we frakcje grysove jest Polska centralna i południowo-wschodnia część kraju (Rejon Warszawy, Łodzi, Poznania, Lublina).

Jakość złóż kruszyw żwirowych jest trudna do szczegółowej oceny w odniesieniu do konkretnych miejsc wydobycia. Związana jest ona z genezą powstania tych złóż i zależna jest od składu petrograficznego. Dobrą jakością charakteryzują się złoża pochodzenia rzecznoego na Dolnym Śląsku, czy w górnym odcinku Dunajca w Karpatach.

### 3.2. Rola transportu w bilansowaniu popytu z podażą kruszyw żwirowo-piaskowych

Zaspokojenie popytu na kruszywa żwirowo-piaskowe, stosowane w budownictwie i drogownictwie, polega na korzystaniu z zasobów surowców skalnych powszechnie występujących i powszechnie stosowanych, czyli w pierwszej kolejności z zasobów bliskich i łatwych w pozyskaniu. Istnieje kilka technik wydobycia kruszyw zależnych od warunków geologicznych i wielkości frakcji oraz dwa rodzaje transportu: samochodowy i kolejowy.

O strefach bilansowania popytu z podażą decydują trzy czynniki:

- rozproszona baza surowcowa, którą tworzą osady lodowcowe i rzeczne;
- równomierna na obszarze kraju gęstość osadnicza i komunikacyjna;
- koszty transportu.

Produkcja kruszyw żwirowo-piaskowych jest dość równomiernie rozmieszczona na obszarze kraju. Osady piasków i żwirów dostępne są powszechnie i tworzą złoża o różnych frakcjach od piaszczystej, aż do grubych frakcji żwirowych. Lokalizacja złóż przyczynia się do zagospodarowywania ich tak, aby mogły one zaspokajać popyt na kruszywa lokalnych odbiorców.

Podstawowymi miejscami odbioru kruszyw żwirowych są większe skupiska ludzkie, które zaopatrują się z możliwie bliskich miejsc występowania kruszywa. Struktura podaży na kruszywa żwirowe jest ciągła na obszarze kraju, choć główne ośrodki znajdują się na południu i południowym-zachodzie.

Popyt na surowce żwirowe jest rozmieszczony równomiernie na obszarze kraju, choć ma różny charakter. Miejscami

popytu na kruszywa jest sieć osadnicza (im większa tym większy popyt) oraz drogownictwo. Popyt na kruszywa żwirowe wyraźnie ukierunkowany jest na większe aglomeracje miejskie. Odbiorcami kruszyw żwirowych są głównie większe skupiska ludzkie: im większe, tym większy popyt. Uogólniając można powiedzieć, że popyt jest ciągły na obszarze kraju, lecz różnie ukierunkowany zależnie od przeznaczenia kruszywa.

Istnieje wyraźny związek przyczynowo-skutkowy pomiędzy lokalizacją kopalń kruszyw żwirowo-piaskowych, a lokalizacją odbiorców kruszyw. Zasadą korzystania z zasobów surowców skalnych jest korzystanie z możliwie bliskich zasobów, co sprowadza się do minimalizacji odległości między miejscami wydobycia a miejscami produkcji. Oznacza to równocześnie, że bilansowanie produkcji z popytem sprowadza się do minimalizacji odległości transportu, co wiąże się ze zmniejszeniem kosztów transportu.

Istnieją dwa podstawowe rodzaje transportu zewnętrznego kruszyw do odbiorców: samochodowy i kolejowy różniące się między sobą zarówno elastycznością stosowania, jak i kosztami. Samochodowy jest powszechnie stosowany, łatwo dostosowuje się do lokalnych warunków terenowych, z reguły „od drzwi do drzwi”, bez stacji przeładunkowych. Kolejowy wymaga infrastruktury kolejowej w postaci placów przeładunkowych kruszyw. Różnią się też kosztami w całym przedziale odległości transportowych. Odległością, przy której następuje zrównanie kosztów transportu samochodowego i kolejowego, jest graniczny koszt transportu. Koszty określane są w układzie rodzajowym, ale inaczej naliczane i zależne są od sezonowości pracy w budownictwie, czy drogownictwie, wielkości jednorazowego zamówienia, bądź czasu jego trwania, przekroczenia (bądź nie) czasu załadunku. Dodatkowo w transporcie kolejowym stosowane są upusty nawet do 70%. Wszystko to sprawia, że z reguły punktów granicznego kosztu transportu jest kilka, zależnie od wymienionych czynników [6].

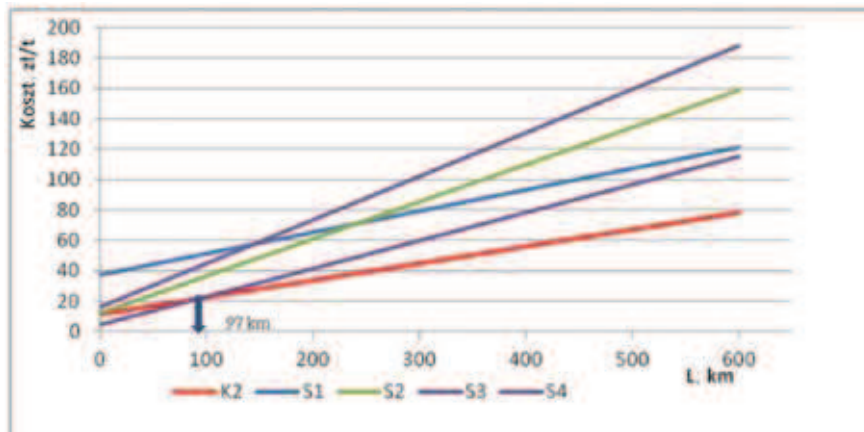
Na rysunku 2 przedstawiono przykładowo kształtowanie się kosztów jednostkowych transportu dla wielkości składu pociągu 1000÷1400 ton i kilku funkcji kosztów jednostkowych transportu samochodowego (głównie zależnego od nośności samochodu). Dla tego przykładu graniczny promień transportu wyniósł 97 km, co oznacza, że opłaca się stosować transport kolejowy (w relacji z samochodowym) od odległości 97 km. Z dotychczasowych prac autorów publikacji [6, 8, 9] wynika, że często spotykaną wielkością jest odległość około 100 km.

Uwzględniając istotę powiązań kopalni kruszyw z miejscami odbioru kruszywa, można zauważyć, że istnieje tylko jeden obszar bilansowania popytu z podażą, na którym będzie najmniejszy koszt zaspokojenia popytu mierzony u odbiorcy. Obszarem tym jest obszar województwa w granicach administracyjnych [3, 4, 6, 7].

Produkcja żwirów zaspokajająca popyt na obszarach województw jest warunkiem minimalizacji odległości transportu kruszyw żwirowych z miejsc wydobycia do odbiorców. Wówczas łączna praca transportowa na pokrycie popytu na kruszywa żwirowe będzie najmniejsza.

### 3.3. Aktualny stan powiązań kopalń z odbiorcami

Aktualny stan powiązań kopalń z odbiorcami przedstawiono graficznie na rysunku 3a i b. Rysunek 3a pokazuje, na przykładzie wybranych kopalń, kierunki i zasięg zaopatrywania odbiorców w kruszywa transportem samochodowym. Większość kopalń zaspokaja popyt lokalnie (maksymalnie do 100 km) i obejmują one swoim zasięgiem większą część kraju. Strzałki wskazują kierunki, w których zaspokajany jest popyt odbiorców kruszyw. Duży popyt na kruszywa żwirowe skupiony jest w wielkich aglomeracjach miejskich: Warszawie,



Rys. 2. Koszty jednostkowe transportu kolejowego i samochodowego przy wielkości składu 1000÷1400 t [6, 8]

Fig. 2. Unit costs of railway and motor transport with storage size of 1000÷1400 t [6, 8]

Poznaniu, Lublinie, Szczecinie, które leżą w strefie o wysokim punkcie piaskowym. Popyt tych miast nie może być zaspokojony wyłącznie wydobywaniem lokalnym i musi być uzupełniany dalekim transportem kolejowym (rys. 3b).

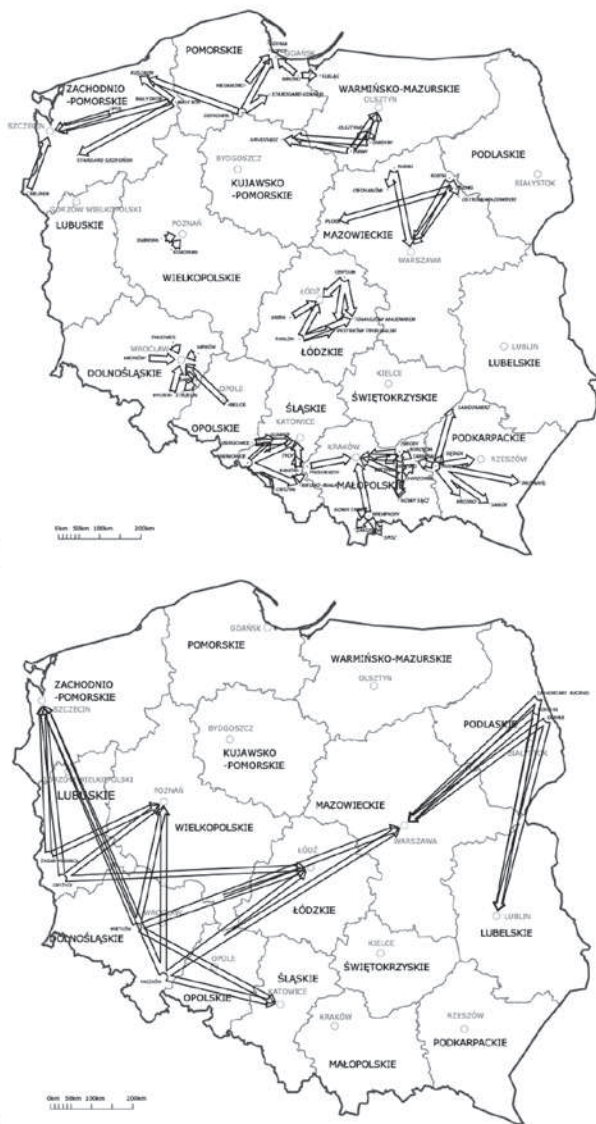
Oba rysunki (3a i 3b) są wynikami analiz wykonywanych w pracy [3]. Przy analizowaniu struktury podaży i popytu kruszyw żwirowo-piaskowych istotne są powiązania kopalń (producentów kruszywa żwirowo-piaskowego) z odbiorcami. Opierają się one na statystykach dotyczących wielkości i kierunków zamówień lokalnych, jak i ponadlokalnych kruszywa.

4. Podsumowanie

Dostosowanie stref bilansowania podaży kruszyw naturalnych do stref popytu jest warunkiem minimalizacji pracy transportowej na pokrycie popytu. Wielkości stref popytu zależą równocześnie od wzajemnego położenia regionów produkcji kruszyw i odbiorców oraz kosztów transportu kruszyw:

- zasoby pozyskiwanych kruszyw łamanych występują skrajnie peryferyjnie (na południu kraju) w stosunku do odbiorców. Optymalnie, z punktu widzenia odbiorców, strefy zaspokojenia popytu wyznaczone są przez symetryczne odcinków łączących środek ciężkości regionów (rys. 1);
- zasoby pozyskiwanych kruszyw żwirowo-piaskowych są rozproszone na obszarze kraju i bliskie odbiorcom. Optymalne, z punktu widzenia odbiorców, strefy zaspokojenia popytu wyznaczone są przez graniczne koszty transportu samochodowego w porównaniu z kolejowym i odpowiadają w przybliżeniu granicom administracyjnym województw. Kierunki i zasięg przewozów kruszyw pokazuje rysunek 3. Obszary, które nie mogą być zaspokajane produkcją lokalną kruszyw żwirowo-piaskowych zaopatrywane są z dalszych odległości transportem kolejowym (rys. 3b).

Istnieje naturalna tendencja korzystania z zasobów kopalni pospolitych z możliwie bliskich złóż. Ich potencjalne miejsca wydobywania pełnią też często różnorodne funkcje: społeczne, kulturowe, gospodarcze, rekreacyjne, co stwarza konflikt interesów co do funkcji tych obszarów w życiu kraju. Celowa jest ochrona prawna zasobów kruszyw dla minimalizacji pracy transportowej na pokrycie popytu, tak jak chronione są prawnie inne elementy środowiska przyrodniczego: woda, grunty rolne i leśne i powietrze atmosferyczne. Niedostosowanie bazy kruszyw do struktury popytu powoduje zbędną pracę transportową na pokrycie popytu, która ponoszona jest rokrocznie i której są istotne w skali kraju.



Rys. 3. Kierunki przewozu kruszywa żwirowo-piaskowego z wybranych złóż: a) transportem lokalnym (samochodowym); b) transportem ponadlokalnym (kolejowym) [3]

Fig. 3. Transport directions of gravel and sand aggregate from selected deposits: a) local transport (car); b) supra-local transport (railway) [3]

**Literatura**

1. *Barciński F.*: Problemy gospodarki surowcowo-mineralnej w Polsce. Biuletyn Komitetu Przestrzennego Zagospodarowania Kraju z 1 (3). PAN 1961
2. *Isard W.* (red.): Metody analizy regionalnej. Wprowadzenie nauki o regionach. Warszawa, PWN 1965
3. *Łochańska D.*: Metoda dostosowania regionalnego wydobycia kruszyw piaskowo-żwirowych do struktury popytu – praca doktorska w przygotowaniu
4. *Łochańska D.*: Ocena metod bilansowania popytu z produkcją surowców skalnych. *Górnictwo i Geoinżynieria* 2010, Rok 34, z. 4
5. *Robinson G.R.*: Jr – Trends In availability of aggregate Geological Survey, Mining Engineering 2004, 954 National Center, Reston, VA 20192
6. Strategie i scenariusze technologiczne zagospodarowania i wykorzystania złóż surowców skalnych. Zadania 1.3.1, 4.1.2, 6.2.6 i 6.3.5. Kraków 2009–2012 (prace niepublikowane)
7. *Strykowski M., Łochańska D.*: Metoda oceny roli i funkcji regionów surowców skalnych w gospodarce kraju, *Górnictwo i geologia* 2012, XVII
8. *Strykowski M., Łochańska D.*: Transport jako czynnik regionalizacji produkcji górniczej surowców skalnych. *Górnictwo Odkrywkowe* 2013, nr 5–6
9. *Strykowski M., Łochańska D.*: Uwarunkowania logistyczne pokrycia zapotrzebowania na surowce skalne w zależności od rodzaju, jakości oraz optymalizacji dróg i środków. *Górnictwo Odkrywkowe* 2011, nr 6
10. *Strykowski M.*: Metoda bilansowania popytu z produkcją w regionach eksploatacji surowców skalnych na przykładzie kruszyw drogowych, *Zeszyty Naukowe AGH Górnictwo* 1993, praca habilitacyjna, Nr 162
11. *Trembecki A., Kozioł W.*: Kierunki rozwoju bazy i potrzeb surowców ogniotrwałych do 1990. *Górnictwo Odkrywkowe* 1977, nr 9–10
12. *Uberman R., Kozioł W., Klęba J.*: Metodyka określenia stref dystrybucji kruszywa na przykładzie zagospodarowania złóż piaskowców województwa rzeszowskiego. *Zeszyty Naukowe AGH* 1978, *Górnictwo* z. 78.

---

***Zwiększajmy prenumeratę  
najstarszego – czołowego miesięcznika  
Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Górnictwa!***

Liczba zamawianych egzemplarzy określa zaangażowanie jednostki  
gospodarczej w procesie podnoszenia kwalifikacji swoich kadr!