

*kruszywa, transport kolejowy,  
transport samochodowy, koszty*

Lidia GAWLIK, Dominik KRYZIA, Ryszard UBERMAN\*

## **KOSZTY TRANSPORTU KOLEJOWEGO I SAMOCHODOWEGO W KONTEKŚCIE BILANSOWANIA RYNKU SUROWCÓW SKALNYCH W POLSCE**

Intensyfikowany w ostatnich latach rozwój inwestycji w budownictwie mieszkaniowym, przemysłowym i infrastrukturalnym wymaga znacznych ilości surowców skalnych.

W sytuacji znacznych niedoborów kruszyw w regionach deficytowych zachodzi potrzeba transportowania kruszyw z regionów posiadających nadmierne w stosunku do potrzeb własnych zdolności produkcyjne.

Do przewozu kruszyw wykorzystywane w Polsce są w zasadzie dwa rodzaje środków transportu, a mianowicie: kolejowy i samochodowy. Wybór rodzaju transportu jest uwarunkowany możliwościami technicznymi przewozu i względami ekonomicznymi, przy czym transport kolejowy praktycznie nie występuje jako samodzielny środek, ponieważ zwykle zachodzi konieczność dostarczenia kruszywa samochodem do rampy/bocznicy kolejowej, a później do odbiorcy.

W artykule zaprezentowano wyniki badań dotyczących kosztów przewozu kruszyw transportem samochodowym i kolejowym. Na ich podstawie określono graniczne opłacalne odległości przewozu analizowanymi środkami transportu dla różnych ładowności z uwzględnieniem ewentualnych opustów.

W podsumowaniu podkreślono konieczność wykorzystania w większym stopniu transportu kolejowego kruszyw na dalsze odległości i wskazano na niezbędne przedsięwzięcia modernizacyjne sieci kolejowej.

### **1. WPROWADZENIE**

Pomimo, że złoża surowców skalnych występują powszechnie na terenie kraju, to jednak w niektórych regionach udokumentowana i zagospodarowana baza nie jest w stanie pokryć zapotrzebowania nie tylko pod względem ilości, ale także rodzajów i sortymentów kruszyw. W sytuacji znacznych niedoborów kruszyw w regionach deficytowych zachodzi potrzeba transportowania kruszyw z regionów posiadających zdolności produkcyjne wyższe od własnych potrzeb.

---

\* Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk, Zakład Zrównoważonego Rozwoju Gospodarki Surowcami i Energią, kryzia@min-pan.krakow.pl

Do przewozu kruszyw wykorzystywane są w zasadzie dwa rodzaje środków transportu, a mianowicie: kolejowy i samochodowy. Transport wodny, popularny w krajach Europy zachodniej, w Polsce odgrywa marginalną rolę.

Celem opracowania jest określenie opłacalnych odległości przewozu dla transportu kolejowego i transportu samochodowego. W oparciu o taryfy przewozowe przewoźników kolejowych i samochodowych określono koszty przewozu dla różnych wariantów technologicznych (transport samochodowy, transport kolejowy, transport mieszany z przeładunkiem), oraz dla różnych ładowności i odległości przewozu.

Na podstawie wyestymowanych równań ustalono graniczne (opłacalne) odległości przewozu dla analizowanych sposobów transportu.

## 2. KOSZTY TRANSPORTU KRUSZYWA

Transport kruszyw na terenie Polski odbywa się przy wykorzystaniu samochodów lub kolejną. Metoda wyznaczania kosztów wymienionymi środkami transportu została zaczerpnięta z pracy [2, 3].

### 2.1. TRANSPORT SAMOCHODOWY

Przy niewielkich odległościach (do kilkudziesięciu kilometrów) i małych ilościach przewożonego kruszywa wykorzystywany jest zwykle transport samochodowy, który dzięki swej elastyczności, możliwości dopasowania się do zmiennych warunków terenowych przy załadunku i wyładunku oraz możliwości dowolnego położenia punktów nadania i odbioru kruszywa, jest chętnie stosowany. Jest on dominujący zwłaszcza w przypadku małych kopalń zaspokajających lokalny popyt.

Ceny przewozu samochodami ustalane są przez przewoźników w układzie stanowiskowym kosztów. Obowiązują różne stawki jednostkowe i zależą od: typu i nośności samochodów, wielkości zamówienia na przewóz kruszywa, odległości i czasu trwania zamówienia.

Przy transporcie samochodowym przewoźnicy ustalają cenę za transport w odniesieniu na przykład do czasu zaangażowania środka transportu i nośności, bądź w odniesieniu do aktualnej ceny paliwa. Zawsze jednak można cenę transportu przedstawić w postaci jednostkowej ceny umownej na przewiezienie jednej tony na odległość jednego kilometra  $c_{js}$  i odległości  $L$ . Cena umowna przewoźnika staje się kosztem transportu dla odbiorcy.

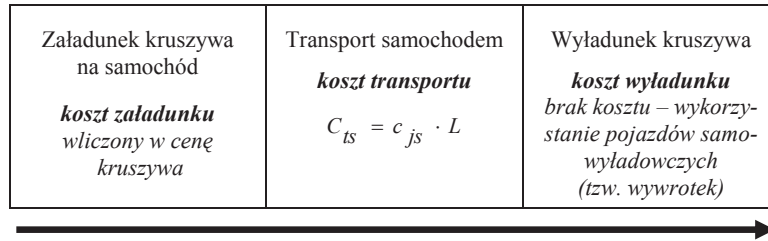
Wzór na koszt transportu samochodowego ma zatem postać

$$C_{ts} = c_{js} \cdot L \quad (1)$$

gdzie:

$C_{ts}$  – koszt transportu jednej tony, [zł/t],

- $c_{js}$  – jednostkowa cena umowna przewiezienia jednej tony na odległość jednego kilometra, [zł/tkm],  
 $L$  – odległość transportu, [km].



Rys. 1. Schemat wyznaczenia kosztów transportu kruszyw przy wykorzystaniu samochodów  
 Fig. 1. The diagram of cost calculation for aggregates transport by cars

Na rysunku 1 przedstawiono schemat wyznaczania kosztów transportu samochodowego. Chociaż składa się on z trzech operacji: załadunku, przewozu i wyładunku, to ponieważ załadunku dokonuje producent kruszywa, w kopalni wliczony jest w cenę kruszywa, a wyładunek, w przypadku wykorzystania pojazdów samowyładowczych wchodzi w czynność transportu; jego koszt pozostaje funkcją liniową przedstawioną równaniem (1).

Na rynku przewozów samochodowych funkcjonuje wiele firm. Czasami również kopalnie posiadają swoje samochody, którymi transportują kruszywo do odbiorcy. W pracy [1] dokonano przeglądu możliwości transportowych oraz tras przewozu na terenie województw: mazowieckiego, podlaskiego i warmińsko-mazurskiego<sup>1</sup>. Wyniki uzyskanych taryf transportu samochodowego, zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1

Analiza cen transportu samochodowego [zł/tkm]

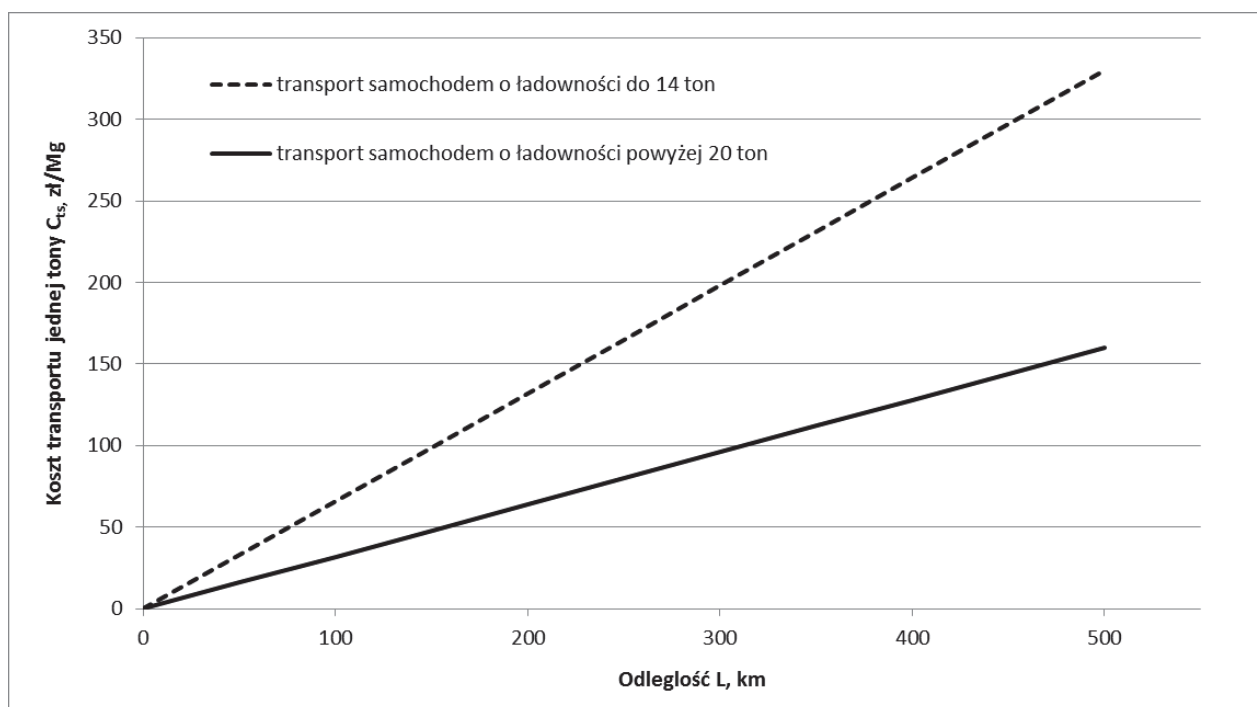
Charakterystyki	Wartości	
	dla samochodów o ładowności do 14 ton	dla samochodów o ładowności od 20 ton
liczba danych	7	21
minimum	0,45	0,26
maksimum	0,76	0,43
średnia	0,66	0,32
mediana	0,73	0,32
odchylenie standardowe	0,12	0,04

Przeprowadzona analiza uzyskanych danych pozwoliła ustalić, że średni koszt transportu samochodowego w badanych województwach wynosi: 0,66 zł/tkm – w przypadku samochodów o ładowności do 14 ton oraz 0,32 zł/tkm – w przypadku

<sup>1</sup> Dla wymienionych województw wykonano analizę bazy surowcowej do produkcji kruszyw i w oparciu o prognozę zapotrzebowania określono wielkość deficytu, który powinien być zrównoważony importem z innych regionów [1].

samochodów ładowności powyżej 20 ton. Z analizy wynika, czego należało oczekiwać, że transport samochodami o ładowności powyżej 20 ton jest tańszy niż samochodami mniejszymi.

Z rysunku 2 ilustrującego zależność kosztów transportu 1 tony kruszywa od odległości widać, że jego wielkość zależy od ładowności samochodu. Czynnikiem ten odgrywa istotną rolę w analizie opłacalności przewozu kruszyw ze względu na ograniczenia dopuszczalnej ładowności dla niektórych klas dróg.



Rys. 2. Zależność kosztu transportu jednej tony kruszywa samochodami od odległości  
 Fig. 2. Dependence of one tone aggregates transport cost by cars from a transport distance

## 2.2. TRANSPORT KOLEJOWY

W przypadku transportu znacznych ilości kruszyw, zwłaszcza na duże odległości, należy rozpatrzyć możliwość zastosowania transportu kolejowego, zwłaszcza w przypadku, gdy zakład górniczy produkujący kruszywo dysponuje bocznica kolejową lub ma dostęp do rampy kolejowej zlokalizowanej w niedalekiej odległości.

W przypadku transportu kolejowego zasady ustalania cen za usługę zamieszczone są w Regulaminie przewozu przesyłek towarowych [5]. Określa on nadawanie przesyłek, przewóz, wydawanie, zasady korzystania z bocznicy kolejowej, czas pozostawienia wagonów należących do kolei w dyspozycji nadawcy. Koszty transportu kolejowego określa Taryfa Towarowa PKP Cargo SA [4]. Zawiera ona postanowienia taryfowe, opłaty podstawowe, współczynniki opłat korygujących i opłaty dodatkowe. W wykazie zamieszczone są informacje o odległościach między stacjami kolejowymi

na terenie kraju oraz możliwości przyjmowania przesyłek towarowych. Sprzedaż usług transportowych odbywa się na podstawie Zasad sprzedaży. Są one wydawane co roku i określają zasady współpracy pomiędzy PKP a korzystającymi z usługi przewozu koleją. Całkowita cena za przewóz wyliczana jest zależnie od: odległości, czasu trwania umowy, postoj wagonu w dyspozycji do załadunku, wielkości przesyłek.

Taryfa towarowa przewiduje szereg opłat dodatkowych. Ważniejszą z nich jest opłata za postój wagonu w dyspozycji do załadunku, co jest nieuniknione, ponieważ zachodzi konieczność załadowania kruszywa na wagony na stacji nadawczej oraz rozładunku na stacji odbiorczej. Opłaty dotyczą trzech ewidencji [4]:

1) numerycznej: opłata (za wagon i godzinę) uzależniona jest od liczby osi wagonu i wynosi: – dla wagonu 2-osowego (za wagon i godzinę): 2,40 zł – do 12 godzin, 4,10 zł – do 24 godzin, 7,10 zł – do 48 godzin i 14,30 zł – powyżej 48 godzin;

– dla wagonu mającego więcej niż 2 osie (za wagon i godzinę): 3,00 zł – do 12 godzin, 4,70 zł – do 24 godzin, 10,00 zł – do 48 godzin, 20,10 zł – powyżej 48 godzin;

2) ilościowej: opłata wynosi 5,50 zł za wagon i godzinę postoju;

3) tonażowej: opłata wynosi 2,50 zł za każde 10 ton i godzinę.

Koszt transportu kolejowego można wyznaczyć z równania

$$C_{tk} = m \cdot L + n \quad (2)$$

gdzie:

$m, n$  – stałe.

Zwykle oprócz transportu kolejowego niezbędny jest również transport samochodowy, ponieważ kruszywo należy dowieźć na stację załadunkową, a następnie po wyładunku na stacji docelowej przewieźć do odbiorcy. Występuje w rzeczywistości więc transport mieszany samochodowo-kolejowy, ale głównym środkiem przewozowym jest kolej, a dowóz samochodami traktuje się jako czynności pomocnicze.

Aby obliczyć koszt transportu mieszanego należy posłużyć się wzorem

$$C_{tm} = C_{tk} + 2 C_p + C'_{ts} \quad (3)$$

gdzie:

$C_{tm}$  – koszt transportu jednej tony w cyklu mieszanym, [zł/t],

$C_{tk}$  – koszt przewozu jednej tony koleją, [zł/t],

$C_p$  – koszt przeładunku jednej tony, [zł/t],

$C'_{ts}$  – koszt transportu jednej tony samochodem z kopalni do rampy/bocznic kolejowej oraz z miejsca wyładunku kruszywa do odbiorcy, [zł/t].

Koszt dowozu z kopalni do stacji przeładunkowej i ze stacji przeładunkowej do miejsca końcowego transportu jest funkcją odległości

$$C'_{ts} = c_{js} \cdot L' \quad (4)$$

gdzie:

$c_{js}$  – jednostkowy koszt umowny przewiezienia jednej tony samochodem na odległość jednego kilometra, [zł/tkm],

$L'$  – odległość transportu z kopalni do rampy/bocznicy kolejowej oraz z miejsca wyładunku kruszywa do odbiorcy, [km].

Koszty przeładunku zależą od technologii przeładunku. Dla przykładu przyjęto, że do załadunku kruszywa wykorzystywane są ładowarki, a koszt przeładunku zależy od kosztu pracy ładowarki. Koszt pracy ładowarki określa się w układzie stanowiskowym kosztów, w odniesieniu do konkretnej ładowarki, bądź korzysta z cenników pracy sprzętu. Koszt jednostkowy przeładunku kruszywa można przedstawić w postaci

$$C_p = Z / W \quad (5)$$

gdzie:

$Z$  – koszt jednej godziny pracy ładowarki, [zł/h],

$W$  – wydajność rzeczywista ładowarki, [t/h].

Dla typowej ładowarki pracującej przy przeładunku materiałów sypkich można przyjąć koszt godziny pracy na poziomie 110 zł/h i wydajność rzeczywistą – 90 ton/h. Tym samym uzyskuje się koszt jednostkowy przeładunku kruszywa z wagonu na samochód równy 1,22 zł/tonę.

Załadunek kruszywa na samochód	Transport samochodem	Przeładunek kruszywa na wagony	TRANSPORT KOLEJĄ	Przeładunek kruszywa na samochód	Transport samochodem	Wyładunek kruszywa
<i>Koszt załadunku wliczony w cenę kruszywa</i>	<i>Koszt transportu</i> $C'_{ts} = c_{js} \cdot L'_1$	<i>Koszt przeładunku</i> $C_p$	<i>Koszt transportu</i> $C_{tj}$ <i>Koszt postoju wagonów</i> $O_p$	<i>Koszt przeładunku</i> $C_p$	<i>Koszt transportu</i> $C'_{ts} = c_{js} \cdot L'_2$	<i>Koszt wyładunku brak kosztu</i> wykorzystanie pojazdów samowyładowczych (wywrotek)

Rys. 3. Schemat wyznaczania kosztu transportu kruszyw koleją  
Fig. 3. The diagram of cost calculation for aggregates transport by rail

Koszt załadunku kruszywa na samochód, jak już wcześniej napisano, wliczony jest w cenę kruszywa, dlatego nie należy go brać pod uwagę. Zakłada się, że koszt wyładunku wliczony jest w koszt transportu (samochody samowyładowcze, tzw. wywrotki). Na rysunku 3 przedstawiono schematycznie operacje wymagane dla przetransportowania kruszywa od producenta do odbiorcy w transporcie kolejowym.

Taryfa kolejowa PKP Cargo podaje wielkości opłat za przewóz przesyłek o masie 25 ton w zależności od odległości. Dla przesyłek o innej masie stosowane są współczynniki korygujące, które sprowadzają się do tego, że opłata za przewóz jednej tony ładunku jest taka sama bez względu na ładowność wagonu. Tabela 2 zawiera ceny przewozu jednej tony dla różnych odległości transportu.

Tabela 2

Opłaty podstawowe za przewóz 1 tony ładunku  
stosowane w komunikacji krajowej i międzynarodowej

Odległość [km]	Cena [zł]	Odległość [km]	Cena [zł]	Odległość [km]	Cena [zł]
30	41,48	210	85,44	390	140,04
40	43,28	220	88,28	400	142,72
50	44,84	230	91,52	420	149,28
60	47,36	240	94,28	440	155,12
70	49,64	250	97,36	460	160,72
80	51,72	260	100,32	480	166,88
90	53,80	270	103,12	500	172,44
100	55,68	280	106,04	520	178,08
110	58,48	290	109,04	540	184,20
120	60,80	300	111,92	560	189,92
130	63,00	310	114,60	580	195,72
140	65,60	320	117,56	600	201,68
150	67,72	330	120,56	620	207,28
160	70,64	340	123,40	640	213,16
170	73,52	350	126,36	660	218,88
180	76,48	360	129,68	680	224,96
190	79,64	370	133,24	700	230,48
200	82,56	380	136,76		

Stawki opłaty za przewóz 1 tony w funkcji odległości naniesiono na wykres, a następnie metodą najmniejszych kwadratów znaleziono funkcję najlepiej opisującą zależność między ceną transportu a odległością. Funkcja ta przyjęła postać wielomianu opisanego równaniem

$$C_{ij} = 5 \cdot 10^{-10} \cdot L^4 - 9 \cdot 10^{-7} \cdot L^3 + 0,0006 \cdot L^2 + 0,1415 \cdot L + 36,74 \quad (6)$$

gdzie  $C_{ij}$  – opłata za przewóz jednej tony koleją, [zł/t].

Obok opłaty podstawowej przewozu przesyłki naliczane są jeszcze opłaty dodatkowe, z których najważniejszą jest opłata za pozostawienie wagonów na czas ładowania/wyładowania w dyspozycji nadawcy/odbiorcy. Jest ona naliczana za każdy wagon i za każdą godzinę postoju.

Przyjęto, że czas ładowania jest równy czasowi rozładowania. Standardowy skład pociągu liczy 40 wagonów. W transporcie mogą być wykorzystywane wagony o różnej ładowności i liczbie osi. Przyjęto do obliczeń, że transport jest realizowany według następujących wariantów:

- wagonami 2-osioowymi o ładowności 25 ton,
- wagonami 4-osioowymi o ładowności 40 ton,

– wagonami 4-osioowymi o ładowności 60 ton.

W tabeli 3 przedstawiono wyliczenie wysokości opłat za postój wagonów w dyspozycji nadawcy/odbiorcy.

Tabela 3

Kalkulacja wysokości opłaty za postój wagonów w dyspozycji nadawcy/odbiorcy  
przeliczona na jedną tonę ładunku w zależności od przyjętego wariantu

Rodzaj wagonu	Wagony 25-tonowe	Wagony 40-tonowe	Wagony 60-tonowe
Liczba osi	2	4	4
Liczba wagonów w składzie pociągu	40	40	40
Masa ładunku przewożonego pociągiem, [t]	1000	1600	2400
Wydajność ładowania/rozładowania, [t/h]	90	90	90
Czas ładowania/rozładowania, [h]	12	18	27
Opłata za postój – ewidencja numeryczna, [zł]	$12 \cdot 2,40 \cdot 40 = 1152$	$18 \cdot 4,70 \cdot 40 = 3384$	$27 \cdot 10,00 \cdot 40 = 10\ 800$
Opłata za postój – ewidencja ilościowa, [zł]	$12 \cdot 40 \cdot 5,50 = 2640$	$18 \cdot 40 \cdot 5,50 = 3960$	$27 \cdot 40 \cdot 5,50 = 5940$
Opłata za postój – ewidencja tonażowa, [zł]	$12 \cdot 1000/10 \cdot 2,50 = 3000$	$18 \cdot 1600/10 \cdot 2,50 = 7200$	$27 \cdot 2400/10 \cdot 2,50 = 16\ 200$
Razem opłata za postój pociągu, [zł]	6 792	14 544	32 940
Opłata za postój pociągu do dyspozycji nadawcy/odbiorcy przeliczona na jedną tonę ładunku, [zł/t]	6,79	9,09	13,70

Uwzględniając opłatę dodatkową za postój wagonów, którą płaci się dwukrotnie (w miejscu nadania i w miejscu odbioru) otrzymujemy równanie na koszty transportu kolejowego na odległość  $L$

$$C_{tk} = 5 \cdot 10^{-10} \cdot L^4 - 9 \cdot 10^{-7} \cdot L^3 + 0,0006 \cdot L^2 + 0,1415 \cdot L + 36,742 + 2 \cdot O_p \quad (7)$$

gdzie:

$C_{tk}$  – koszt transportu kolejowego, [zł/t],

$O_p$  – opłata za postój wagonu w dyspozycji nadawcy/odbiorcy, [zł/t].

W zależności od wariantu równanie przyjmuje postać:

– dla wagonów o ładowności 25 ton

$$C_{tk} = 5 \cdot 10^{-10} \cdot L^4 - 9 \cdot 10^{-7} \cdot L^3 + 0,0006 \cdot L^2 + 0,1415 \cdot L + 50,32 \quad (8)$$

– dla wagonów o ładowności 40 ton

$$C_{tk} = 5 \cdot 10^{-10} \cdot L^4 - 9 \cdot 10^{-7} \cdot L^3 + 0,0006 \cdot L^2 + 0,1415 \cdot L + 54,92 \quad (9)$$

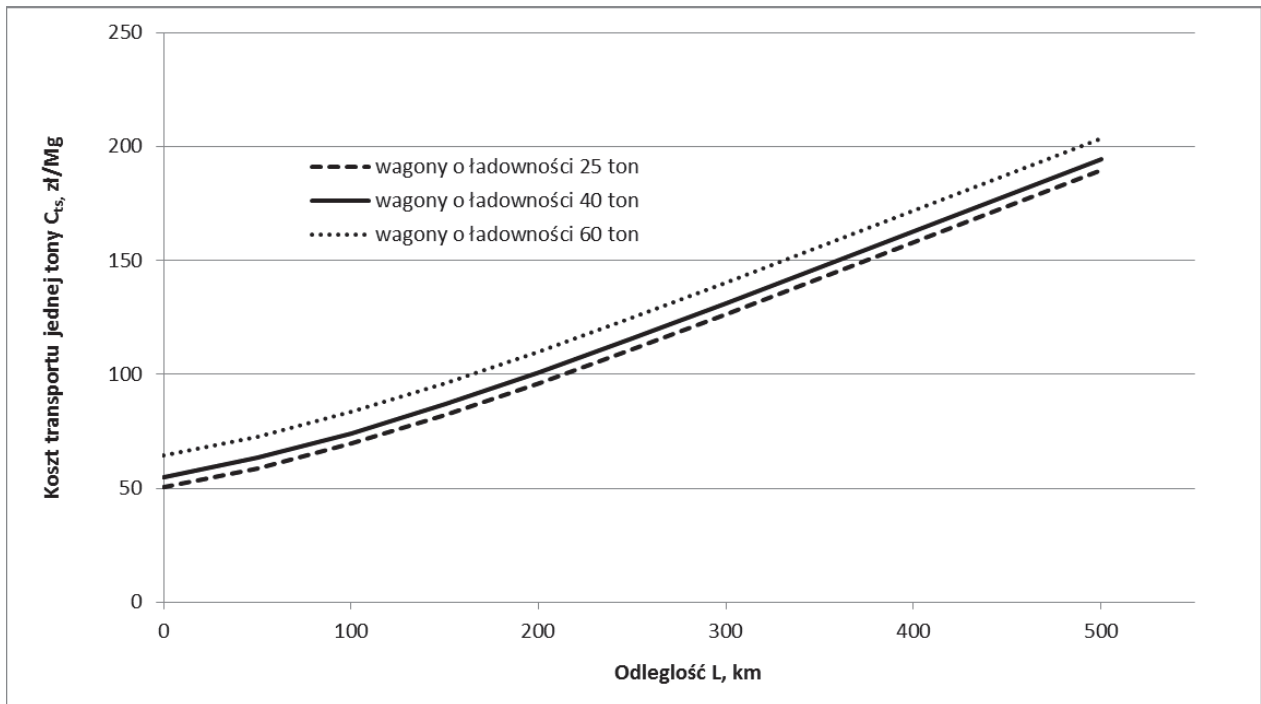
– dla wagonów o ładowności 60 ton

$$C_{tk} = 5 \cdot 10^{-10} \cdot L^4 - 9 \cdot 10^{-7} \cdot L^3 + 0,0006 \cdot L^2 + 0,1415 \cdot L + 64,18 \quad (10)$$



gdzie  $C_{tk}$  – opłata za przewóz jednej tony koleją, [zł/t].

Przedstawione powyżej zależności zilustrowano na rysunku 4.

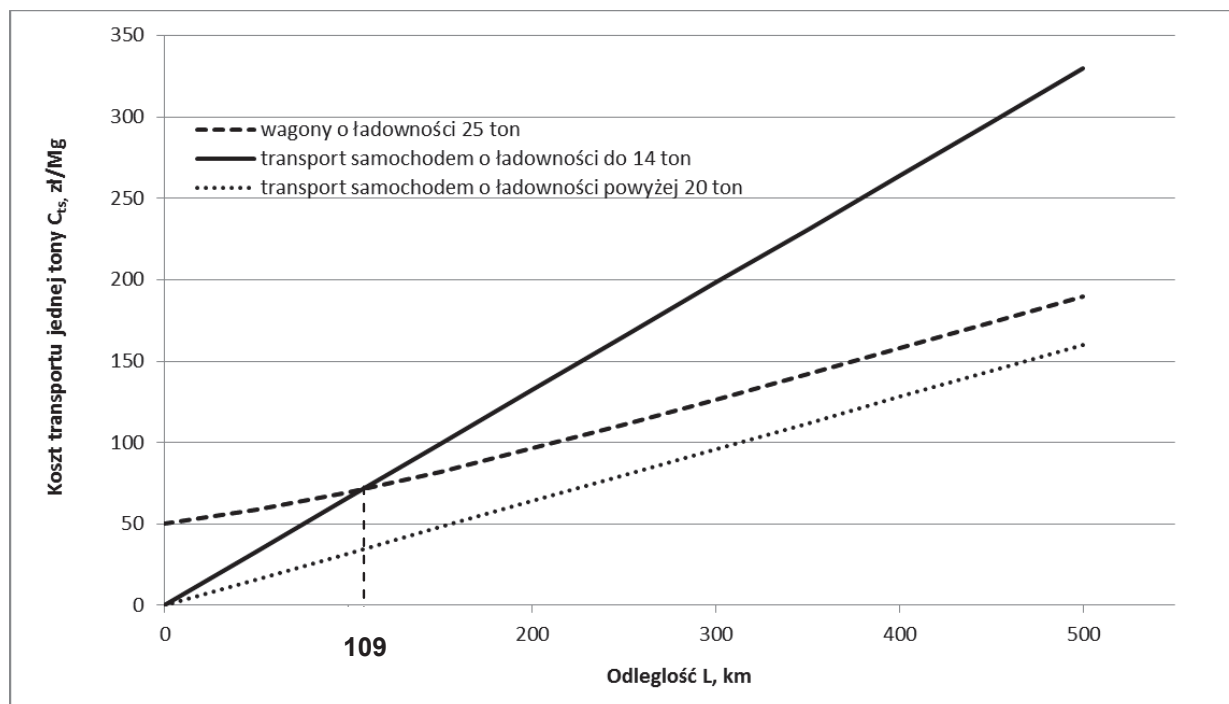


Rys. 4. Zależność kosztu transportu jednej tony kruszywa koleją od odległości  
 Fig. 4. Dependence of one tone aggregates transport cost by rail from a transport distance

Z wykonanej analizy kosztów transportu kolejowego wynika, że dla przewiezienia dużej ilości kruszywa, tańszym wariantem (choć bardzo nieznacznie) jest wykorzystanie wagonów dwuosioowych (25-t). W wagonach o wyższej ładowności wydłuża się czas załadunku, co skutkuje wzrostem ceny za postój wagonów (przy założeniu podanej wcześniej wydajności ładowarki).

Na rysunku 5 przedstawiono porównanie kosztów transportu samochodowego i kolejowego (według taryf). Wynika z niego, że dla dowolnej odległości przewozu w obrębie Polski koszty transportu kolejowego są wyższe od kosztów transportu samochodowego dużymi samochodami (o ładowności powyżej 20 ton)<sup>1</sup>. Transport kolejowy jest natomiast tańszy od transportu małymi samochodami (o ładowności poniżej 14 ton) na odległości powyżej 100 km.

<sup>1</sup> Sytuacja transportu samochodowego może ulec zmianie, jeśli uwzględni się opłaty za przejazd autostradami i drogami ekspresowymi.



Rys. 5. Porównanie kosztów transportu samochodowego z transportem kolejowym  
 Fig. 5. Comparison of costs transport by cars and rail

Uzyskane wyniki przedstawiają, że mimo wielu oczywistych zalet, w obecnych polskich warunkach, transport kolejowy surowców skalnych jest bardziej kosztowny od transportu samochodowego, zwłaszcza na większe odległości.

W dokładnych analizach opłacalności transportu należy uwzględnić różnego rodzaju opusty w stosunku do ceny taryfowej.

Powszechnym zwyczajem w transporcie kolejowym (w samochodowym także) jest stosowanie opustów cenowych dla stałych klientów. Opusty te stanowią tajemnicę handlową stron i nie są upowszechniane. Należy jednak mieć na uwadze, że opusty takie można wynegocjować, co spowoduje obniżenie kosztów transportu kolejowego i poprawę jego konkurencyjności w stosunku do transportu samochodowego.

Dla przykładu założono trzy warianty wynegocjowanych opustów cenowych dla opłaty podstawowej w przypadku umów na większe dostawy: 5%, 10% i 20%.

Wzór ogólny opisujący cenę transportu kolejowego uwzględniający opust cenowy przyjmuje postać

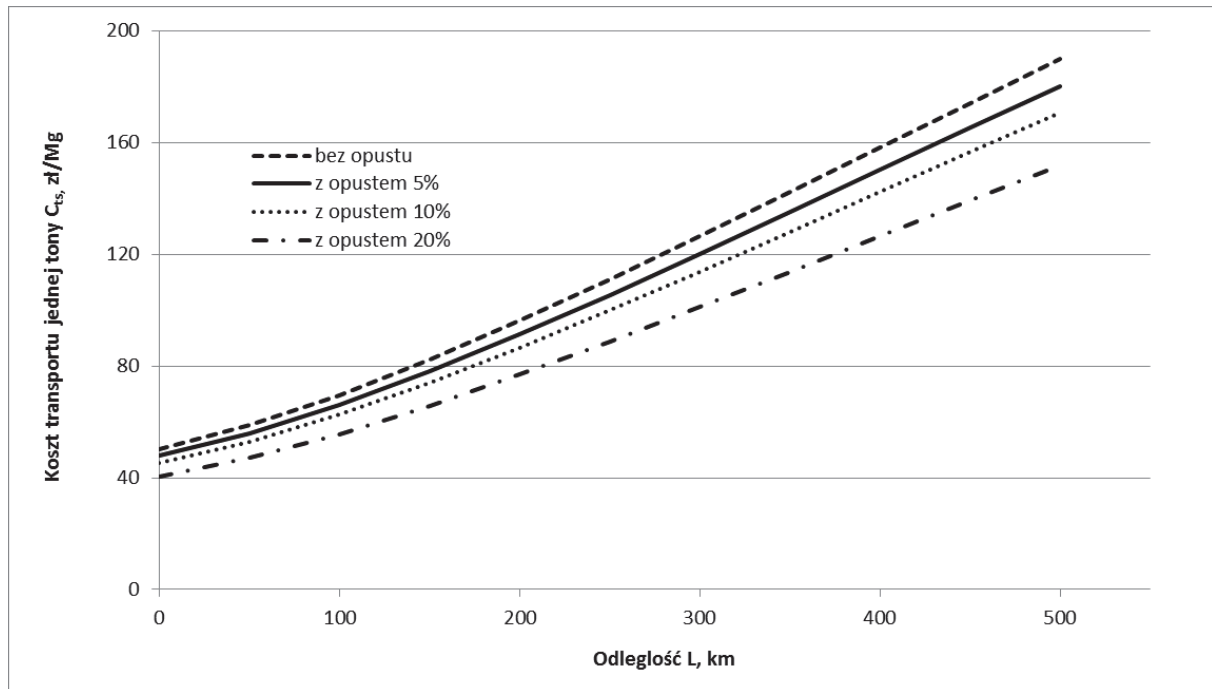
$$C_{tk} = (5 \cdot 10^{-10} \cdot L^4 - 9 \cdot 10^{-7} \cdot L^3 + 0,0006 \cdot L^2 + 0,1415 \cdot L + 36,742 + 2 \cdot Op) \cdot \left(1 - \frac{U}{100}\right) \quad (11)$$

gdzie:

$C_{tk}$  – koszt transportu kolejowego, [zł/t],

$U$  – opust, [%].

Zastosowanie opustu obniża koszty transportu kolejowego, co przedstawiono na rysunku 6.



Rys. 6. Koszty transportu kolejowego jednej tony kruszywa wagonami o ładowności 25 ton w zależności od uzyskanego opustu

Fig. 6. Cost of one tonne of aggregates transport by 25 tonnes load capacity wagons, depending on obtained discount

Jak wspomniano wcześniej transport kolejowy w czystej postaci praktycznie nie występuje, ponieważ zwykle konieczne jest dostarczenia kruszywa samochodem do rampy/bocznic kolejowej, a później na miejsce do odbiorcy.

Wzór ogólny opisujący cenę transportu mieszanego uwzględniający przewóz koleją, dowóz samochodem oraz dwa przeładunki przyjmuje postać

$$C_{tm} = C_{tk} + 2C_p + C'_{ts} \quad (12)$$

gdzie:

$C_{tm}$  – koszt transportu jednej tony w cyklu mieszanym, zł/tonę,

$C_{tk}$  – koszt transportu jednej tony koleją, zł/tonę,

$C'_{ts}$  – koszt transportu jednej tony samochodem z kopalni do rampy/bocznic kolejowej  $L_1$  oraz z miejsca wyładunku kruszywa do odbiorcy  $L_2$ , [zł/t].

Przyjęto, że długość trasy dowozu transportem samochodowym wynosi przeciętnie  $L' = (L'_1 + L'_2)$  10 km po cenie 0,32 zł/tkm. Ponadto cenę przeładunku 1 tony kruszywa przyjęto na poziomie 1,22 zł/tonę.

Ostateczna postać równania opisującego koszt przewozu transportem mieszanym:

– dla wagonów o ładowności 25 ton

$$C_{tm} = (5 \cdot 10^{-10} \cdot L^4 - 9 \cdot 10^{-7} \cdot L^3 + 0,0006 \cdot L^2 + 0,1415 \cdot L + 36,742) + 13,584 + 10 \cdot 0,32 + 2 \cdot 1,22 \quad (13)$$

– dla wagonów o ładowności 40 ton

$$C_{tm} = (5 \cdot 10^{-10} \cdot L^4 - 9 \cdot 10^{-7} \cdot L^3 + 0,0006 \cdot L^2 + 0,1415 \cdot L + 36,742) + 14,43 + 10 \cdot 0,32 + 2 \cdot 1,22 \quad (14)$$

– dla wagonów o ładowności 60 ton

$$C_{tm} = (5 \cdot 10^{-10} \cdot L^4 - 9 \cdot 10^{-7} \cdot L^3 + 0,0006 \cdot L^2 + 0,1415 \cdot L + 36,742) + 27,416 + 10 \cdot 0,32 + 2 \cdot 1,22 \quad (15)$$

gdzie:

$C_{tm}$  – koszt przewozu jednej tony realizowany transportem mieszanym, [zł/t],

$L$  – odległość transportu koleją, [km].

### 2.3. GRANICE OPLACALNOŚCI PRZEWOZU KRUSZYW SAMOCHODAMI I KOLEJĄ

Porównując wyznaczony koszt transportu kolejowego (mieszanego) z kosztem transportu samochodowego, można wskazać granice opłacalności stosowania każdego rodzaju transportu zależnie od odległości punktu nadania kruszywa do punktu odbioru.

Odległość, do której opłaca się stosować wyłącznie transport samochodowy w porównaniu z transportem mieszanym nazwano ekonomicznym promieniem przewozu. Sposób obliczania tego promienia podano w nawiązaniu do istniejących obecnie taryf przewozowych transportu samochodowego i kolejowego, uzależniając promień ekonomicznego przewozu od kosztów jednostkowych przewozu, wielkości jednorazowo przewożonego ładunku i odległości przewozu. Przy wyborze sposobu transportu uwzględnia się jego elastyczność, czyli zdolność dostosowania się do warunków terenowych oraz minimalizację prac przeładunkowych.

Porównując ze sobą koszty transportu samochodowego i kolejowego można wyliczyć graniczną odległość, przy której koszty transportu samochodowego i kolejowego zrównują się

$$c_{js} \cdot L = m \cdot L + n + 2 C_p + C'_{ts} \quad (16)$$

gdzie:

$c_{js}$  – jednostkowa cena umowna przewiezienia samochodem jednej tony na odległość jednego kilometra, [zł/tkm],

$L$  – odległość transportu, [km],

$m, n$  – stałe,

$C'_{ts}$  – koszt transportu jednej tony kruszywa samochodem z kopalni do rampy/bocznicy kolejowej oraz z miejsca wyładunku kruszywa do odbiorcy, [zł/t].

Rozwiązując powyższe równanie ze względu na  $L$  otrzymujemy wzór na graniczną odległość transportu samochodowego i mieszanego

$$L = \frac{n + 2 C_p + C'_{ts}}{c_{js} - m} \quad (17)$$

gdzie:

$c_{js}$  – jednostkowa cena umowna przewiezienia samochodem jednej tony na odległość jednego kilometra, [zł/tkm],

$m, n$  – stałe,

Wykorzystując wzór 17 wyliczono przykładowe odległości graniczne dla różnych możliwych do uzyskanych opustów. Wyniki zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4

Odległości graniczne, powyżej których transport kolejowy staje się opłacalny [km]

Ładowność wagonów kolejowych	Samochody o ładowności do 14 ton				Samochody o ładowności powyżej 20 ton
	wielkość opustu				wielkość opustu
	bez opustu	opust 5 %	opust 10 %	opust 20 %	opust 20 %
25 ton	122,27	113,41	105,16	90,15	462,46
40 ton	133,63	123,74	114,55	97,91	517,61
60 ton	157,07	144,98	133,81	113,76	633,22

Transport kolejną może być konkurencyjny dla mniejszych odległości w porównaniu z transportem samochodowym jedynie wtedy, gdy przewoźnik kolejowy udzieli opustu. Wysokość opustów, jakie muszą zostać udzielone przez przewoźnika kolejowego aby transport mieszany stał się konkurencyjny dla danej odległości zostały obliczone i zestawione w tabeli 5.

Tabela 5

Wymagana wysokość opustu w procentach dla osiągnięcia opłacalności przewozu kolejną powyżej danej odległości granicznej

Ładowność wagonów kolejowych	Samochody o ładowności powyżej 20 ton					Samochody o ładowności do 14 ton
	odległość graniczna					odległość graniczna
	100 km	200 km	300 km	400 km	500 km	100 km
25 ton	62,1	39,3	28,6	22,6	18,7	13,3
40 ton	64,5	42,1	31,1	24,8	20,6	18,7
60 ton	68,4	47,0	35,6	28,8	24,2	27,6

W przypadku przewozu kruszywa samochodami o dużej ładowności (powyżej 20 ton) to bez względu na odległość, na jaką potrzebny jest przewóz, transport kolejowy uzyska konkurencyjność dopiero po udzieleniu znaczących opustów, sięgających nawet ponad 60% dla niewielkich odległości.

Na podstawie dokonanych obliczeń można stwierdzić, że transport kolejowy jest za drogi dla przewozu kruszyw, o czym decydują zbyt wysokie taryfy i opłaty postojowe.

### 3. WNIOSKI

Z wykonanych analiz kosztów pracy transportu samochodowego i kolejowego do przewozu kruszyw wynikają następujące stwierdzenia i wnioski:

1. Do przewozu surowców skalnych – kruszyw wykorzystuje się w Polsce przede wszystkim transport samochodowy i w mniejszym stopniu transport kolejowy.
2. Główną przyczyną niedostatecznego wykorzystania transportu kolejowego jest przede wszystkim rzadka i nierównomierna rozmieszczona sieć linii kolejowych oraz ich niezadowalający stan techniczny. Istotnym powodem rezygnacji z transportu kolejowego do przewozu kruszyw jest też brak bocznic lub ramp załadunkowych w bezpośredniej bliskości zakładów górniczych.
3. Analiza kosztów transportu kolejowego i samochodowego wskazuje, że tańszym rozwiązaniem jest transport samochodowy dużymi samochodami o ładowności powyżej 20 ton. Należy mieć jednak na uwadze także, że w wielu przypadkach drogi wyprowadzane z kopalni nie pozwalają na stosowanie takich ładowności. Transport kolejowy jest droższy ze względu na wysokie taryfy, ale również z powodu konieczności dowozu kruszywa do stacji załadunkowej oraz ze stacji wyładunkowej do odbiorcy.
4. Najkorzystniejszym ekonomicznie wariantem transportu kolejowego jest przewóz przy wykorzystaniu wagonów dwuosioowych o ładowności 25 ton. W wagonach o większej ładowności wydłuża się czas załadunku przy niektórych sposobach załadunku, co skutkuje wzrostem kosztu postoju wagonów.
5. Dla uzyskania konkurencyjność transportu kolejowego nad samochodowym, co jest rozwiązaniem bardziej ekologicznym, niezbędne jest obniżenie taryf przewozowych oraz wynegocjowanie znaczących opustów na transport kolejowy.
6. Konieczna jest modernizacja linii kolejowych dla zwiększenia ich przepustowości, a w niektórych regionach budowa lub odbudowa tras przewozowych.

#### LITERATURA

- [1] GAWLIK L., UBERMAN R., KRYZIA D., MOKRZYCKI E., NEY R., *Strategie i scenariusze technologiczne zagospodarowania i wykorzystania złóż surowców skalnych. Zadanie 6. Scenariusze Technologiczne pozyskiwania i zagospodarowania surowców skalnych w głównych regionach Polski w nawiązaniu do występującego zapotrzebowania na nie. Etap 6.5. Region Mazowiecko-Mazursko-Podlaski. Temat 6.5.3. Analiza kosztów transportu surowców skalnych do odbiorców z określeniem granic transportu samochodowego i kolejowego*, IGSMiE PAN, (niepubl.), Kraków 2011.
- [2] STRYSZEWSKI M., UBERMAN R., *Określenie ekonomicznego promienia przewozu oraz stref dystrybucji węgla brunatnego z małych złóż do odbiorców*, Zeszyty Naukowe AGH, Zagadnienia Techniczno-Ekonomiczne, nr 1084, z. 36, 1987, s. 41–55.
- [3] STRYSZEWSKI M., NIEĆ M., UBERMAN R., CHULIST R., KAWULAK M., SALAMON E., *Programowanie eksploatacji i zagospodarowania terenów pogórnich złóż kruszywa naturalnego w dolinach rzek karpaccich na przykładzie Karpat Zachodnich*, Ucz. Wyd. Naukowo-Dyd., Kraków 2006.

[4] *Taryfa towarowa PKP CARGO SA*, obowiązująca od 1 stycznia 2011 r.

[5] *Regulamin sprzedaży usług przewozów towarowych przez PKP CARGO SA 2011*.

#### COSTS OF RAILWAY AND ROAD TRANSPORT IN THE CONTEXT OF ROCK MATERIALS MARKET BALANCING IN POLAND

In recent years the intensified development of investments in housing, industrial and infrastructure requires large amounts of rock materials.

In the event of significant shortage of aggregates in some regions, there occurs the necessity to transport them from the regions of excessive production capacities comparing to their own needs.

For transport of aggregates in Poland basically two types means of transport are used: trains and cars. The type of transport is usually chosen on the basis of technical possibilities and economics. Generally rail transport does not exist as such, because it is necessary to combine it with car transport to deliver the aggregates to railway siding and then to the recipient.

This paper presents the results of a study on the cost of aggregates transport by road and rail. The viable distances for each kind of transport are specified for different load capacities and the needed discounts are evaluated.

In conclusion, the need to make greater use of rail transport to deliver aggregates over long distances is emphasized, and the necessary modernization of railway network is pointed out.