



LUKASZ MACHNIAK\*

## Wskaźniki zużycia kruszyw do betonu w budynkach jednorodzinnych

### Wprowadzenie

Kruszywa znajdują szerokie zastosowanie zarówno w budownictwie liniowym jak i kubaturowym. Pod względem ilościowego zapotrzebowania, nieznacznie chłonniejszym segmentem jest budownictwo liniowe (Kabziński 2007). Szczególnie widoczne było to w ostatnich latach, napływ środków z funduszy UE spowodował znaczącą intensyfikację budowy dróg szybkiego ruchu oraz modernizację linii kolejowych. Wielkość wydobycia kruszyw naturalnych osiągnęła w szczytowym okresie (2011 r.) wartość 350 mln Mg, w tym 250 mln Mg piasku i żwiru, co w porównaniu do 2004 roku jest wartością ponad dwukrotnie większą (dla piasku i żwiru – 3-krotnie) (PIG 2014). W okresie tym, segment budownictwa kubaturowego, jako rynek dla kruszyw naturalnych, był nieco mniej widoczny, a tym samym często pomijany lub nie w pełni uwzględniany w pojawiających się prognozach zapotrzebowania na kruszywa, czy też strategiach rozwoju branży (Galos i Smakowski 2012; Galos i Kozioł red. 2013; Kawalec 2007; Kozioł i in. 2014). Po 2020 roku, kiedy „wyczerpie się” źródło finansowania dużych projektów infrastrukturalnych, znaczenie budownictwa kubaturowego będzie znacznie większe, a rynek kruszyw będzie musiał przejść transformację, dostosowując się do nowych warunków, m.in. poprzez częściową zmianę struktury odbiorców. Dla wielu producentów kruszyw segment budownictwa kubaturowego może okazać się wtedy jednym z ważniejszych kierunków zbytu. Prognozuje się, że udział

---

\* Dr inż., AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Kraków;  
e-mail: machniak@agh.edu.pl

zużycia kruszyw łamanych do produkcji betonu będzie rósł, wypierając tym samym kruszywa zwirowo-piaskowe. Mając na uwadze powyższe, ważne staje się oszacowanie ilości kruszyw potrzebnych w tej branży budownictwa oraz zidentyfikowanie głównych miejsc popytu. Osiągnięcie powyższych celów możliwe będzie – między innymi – poprzez określenie jednostkowych wskaźników ich zużycia (zapotrzebowania) względem wybranych parametrów użytkowych budynków o różnym przeznaczeniu (funkcji).

Do budownictwa kubaturowego zaliczają się budynki mieszkalne i niemieszkalne. Budynki mieszkalne to głównie budynki jednorodzinne oraz wielorodzinne. Natomiast do niemieszkalnych należy przypisać w szczególności budynki: hotelowe, biurowe, handlowo-usługowe, transportu, łączności, przemysłowe, magazynowe oraz ogólnodostępne obiekty użyteczności publicznej. Wymienione powyżej budynki, o różnej funkcjonalności, charakteryzują się zmienną „kruszywochłonnością”. Z tego też względu statystycznego określenia współzależności zużycia kruszyw względem cech konstrukcyjnych oraz parametrów użytkowych, należy dokonać odrębnie dla każdej grupy funkcjonalnej.

W niniejszym artykule zostaną przedstawione wyniki prowadzonych badań i analiz w odniesieniu do zużycia kruszyw w betonowych i żelbetowych elementach budynków jednorodzinnych. W wielu powiatach (w 132 z 380) domy jednorodzinne stanowią ponad 75% udziału w liczbie nowo wznoszonych budynków kubaturowych (GUS 2015), a więc w ujęciu lokalnych relacji popyt–podaż na materiały budowlane, mają istotne znaczenie.

## 1. Opis metodyki badań

Aktualnie wielkość zużycia kruszyw do betonu szacuje się na podstawie struktury sprzedaży cementu (Zalewski 2016). Ze względu na poziom ogólności danych możliwe jest jego oszacowanie m.in. w budownictwie mieszkaniowym (bez wyróżnienia budownictwa jednorodzinne i wielorodzinne), budownictwie niemieszkaniowym oraz infrastrukturze. Określone w ten sposób wielkości pozwalają na zidentyfikowanie globalnego zapotrzebowania, natomiast posiadają ograniczone zastosowanie w analizach regionalnych relacji popytu i podaży. Niemniej jednak, mogą stanowić punkt odniesienia (porównania), a po zidentyfikowaniu wskaźników zużycia kruszyw do betonu w różnych typach budynków kubaturowych dać podstawę alternatywnej metody obliczeń dla całego budownictwa kubaturowego, poszczególnych jego segmentów, w skali kraju, ale również na poziomie regionalnym (województw, powiatów, gmin).

Zużycie kruszyw w budynkach jednorodzinnych określono pośrednio poprzez identyfikację zużycia betonu. Natomiast ilość kruszyw w mieszance betonowej przyjęto na podstawie średniego zapotrzebowania wynikającego z receptur betonu o różnych klasach wytrzymałości. W budownictwie jednorodzinnych zazwyczaj wykorzystywany jest beton niższych klas wytrzymałościowych C8/10 (chudy beton), C12/15, C16/20 (najczęściej) oraz rzadziej C20/25. Niezależnie od klasy wytrzymałości betonu ilość potrzebnych kruszyw jest bardzo podobna, oscyluje w granicach 1800 do 2050 kg na 1 m<sup>3</sup> mieszanki betonowej (Deko-

beton, Lubanta, Murator-dom). Średnio jest to 1900 kg przy 34% udziale kruszyw o ziarnach 0–2 mm (650 kg) oraz 66% udziale kruszyw o ziarnach powyżej 2 mm (1250 kg). Powyższe wartości przyjęto za reprezentatywne i wykorzystano je do określenia zapotrzebowania na kruszywa w elementach betonowych i żelbetowych budynków jednorodzinnych. W założeniach przyjęto również, że:

- ◆ ściany fundamentowe we wszystkich domach wykonane są z betonu bądź bloczków betonowych (jako najczęściej stosowane rozwiązania),
- ◆ niezależnie od powyższych typów ścian fundamentowych zapotrzebowanie na kruszywo przyjęto takie samo (bloczki wykonywane są w technologii wibrowanego betonu, którego receptury nie różnią się znacząco od betonu towarowego).

Dane, stanowiące podstawę do wykonania analiz wskaźników zużycia kruszyw w budynkach jednorodzinnych, zebrano na podstawie ankiety wysłanej do wybranych biur projektowych oraz zestawień materiałów budowlanych, przedmiarów robót, kosztorysów, udostępnionych w serwisach internetowych firm, oferujących gotowe projekty domów. Dane charakteryzują budynki jednorodzinne wolnostojące, jako najczęściej budowane. Zidentyfikowano następujące ich cechy architektoniczne oraz użytkowe:

- 1) liczbę kondygnacji (parterowy, parterowy z poddaszem użytkowym),
- 2) podpiwniczenie (tak, nie),
- 3) powierzchnię zabudowy (PZ),
- 4) powierzchnię całkowitą (PC),
- 5) powierzchnię użytkową (PU),
- 6) kubaturę (K),
- 7) powierzchnię stropu (stropów).

Parametry od 3 do 6 są zmiennymi niezależnymi, względem których budowano statystyczne modele zużycia kruszyw dla różnych kombinacji typów architektonicznych budynków opisanych cechami o numerach 1 oraz 2.

Dla każdego budynku znajdującego się w bazie danych przypisano również zapotrzebowanie na beton. Wartość ta charakteryzuje łączne zapotrzebowanie pomniejszone o ilość betonu potrzebną na wykonanie stropu (budynki jednokondygnacyjne) lub stropów (budynki wielokondygnacyjne). Wyodrębnienie powierzchni stropu pozwoliło dodatkowo określić jednostkowe wskaźniki zużycia kruszyw w zależności od przyjętej jego konstrukcji (strop drewniany, strop żelbetowy, strop gęstożebrowy). Dla konstrukcji drewnianych nie uwzględniano dodatkowego zapotrzebowania na beton. Dla stropów żelbetowych zapotrzebowanie to określono na podstawie powierzchni stropu (stropów) oraz średniej jego grubości – przyjęto 15 cm. Z kolei dla stropów gęstożebrowych, zapotrzebowanie obliczono uwzględniając średnie jednostkowe zużycie mieszanki betonowej – przyjęto  $0,05 \text{ m}^3/\text{m}^2$  (Budownictwo polskie, Tech-bet, Wienerberger).

## 2. Korelacja zużycia kruszyw względem wybranych cech

Zbudowana baza danych pozwoliła na określenie korelacji zużycia kruszyw i cech użytkowych domów o różnej konfiguracji parametrów konstrukcyjnych i architektonicznych. Zebrane dane dotyczą różnych typów budynków w szerokim zakresie ich cech użytkowych: powierzchni zabudowy od 79 do 413 m<sup>2</sup>, powierzchni całkowitej od 79 do 541 m<sup>2</sup>, powierzchni użytkowej od 56 do 253 m<sup>2</sup>, kubatury od 349 do 2011 m<sup>3</sup>. Zużycie kruszyw dla budynków ze stropem żelbetowym zawiera się w przedziale od 80 do 424 Mg.

W celu określenia rodzaju korelacji pomiędzy zmienną zależną (zużyciem kruszyw) oraz zmiennymi niezależnymi (parametrami użytkowymi domów), przeprowadzono testy normalności ich rozkładu (tab. 1). Wyniki wszystkich testów Shapir-Wilka są istotne statystycznie, co oznacza, że rozkłady poszczególnych zmiennych nie są zgodne z rozkładem normalnym. Dodatkowo wartości skośności wskazują, że rozkłady są prawoskośne – to oznacza, że przeważają w nich wartości niskie. Z kolei dodatnie wartości kurtozy wskazują, że rozkłady mają charakter leptokurtyczny (wysmukły), co oznacza, że wartości koncentrują się silnie wokół wartości średniej, a więc, że w próbie jest mało wyników bardzo niskich i bardzo wysokich. Również wykonane testy normalności Shapir-Wilka dla zmiennych charakteryzujących zawężone typy architektoniczne domów są istotne statystycznie, a więc nie mają postaci rozkładu normalnego.

Z uwagi na to, że rozkłady zmiennych w sposób istotny statystycznie odbiegają od rozkładu normalnego, oraz że większa część analiz dotyczy podprób (typów architektonicznych domów) o niewielkiej liczebności (od  $N = 10$  do  $N = 30$ ), do zbadania korelacji pomiędzy zużyciem kruszyw i predyktorami został wykorzystany współczynnik korelacji rang  $\rho$  Spearmana (tab. 2–8), obliczony w programie Statistica 10, zgodnie z oryginalną postacią wzoru (1).

$$\rho(x, y) = \frac{\text{cov}(R_X, R_Y)}{\sigma_{R_X} \sigma_{R_Y}} \quad (1)$$

- ↳  $\rho(x, y)$  – współczynnik korelacji  $\rho$  Spearmana pomiędzy zmiennymi  $X$  i  $Y$ ,
- $R_X$  – porangowane wartości zmiennej  $X$ ,
- $R_Y$  – porangowane wartości zmiennej  $Y$ ,
- $\text{cov}(R_X, R_Y)$  – kowariancja pomiędzy zmiennymi  $R_X$  i  $R_Y$ ,
- $\sigma$  – odchylenie standardowe.

W przeprowadzonych analizach dla wszystkich budynków ( $N = 54$ ), uzyskane współczynniki korelacji są istotne statystycznie, poziom istotności statystycznej (wartość  $p$ ) osiąga wartość nie większą niż założony poziom istotności statystycznej ( $\alpha = 0,05$ ) – tabela 2, w związku z czym można teoretycznie dokonywać ich interpretacji oraz uogólnić wyniki na populację.

Tabela 1. Statystyki opisowe i testy normalności rozkładu zmiennych dla wszystkich typów budynków

Table 1. Descriptive statistics and tests the normality of the variables for all building types

N = 54	Minimum	Maksimum	M	SD	Skośność	Kurtzoza	Shapiro-Wilk	
							W	p
Powierzchnia zabudowy [m <sup>2</sup> ]	79	413	158,2	56,3	1,86	6,67	0,87	<0,001
Powierzchnia całkowita [m <sup>2</sup> ]	79	541	252,4	100,6	0,98	0,98	0,93	0,005
Powierzchnia użytkowa [m <sup>2</sup> ]	56	253	128,8	40,3	1,25	1,98	0,90	<0,001
Kubatura [m <sup>3</sup> ]	349	2 011	931,1	343,5	1,08	1,08	0,92	0,002
Kruszywa [mg]	80	424	198,9	71,9	0,97	0,62	0,92	0,002

Tabela 2. Korelacja zużycia kruszyw i cech użytkowych dla wszystkich budynków

Table 2. Correlation of consumption of the aggregates and usable features of all building types

N = 54	Zużycie kruszyw		
	$\rho$ -Spearmana	p	wsp. determinacji
Powierzchnia zabudowy	0,61	<0,001	0,37
Powierzchnia całkowita	0,75	<0,001	0,56
Powierzchnia użytkowa	0,43	0,001	0,19
Kubatura	0,89	<0,001	0,79

Zużycie kruszyw jest najlepiej skorelowane względem kubatury budynków ( $\rho = 0,89$ ). Dodatkowo siła tej korelacji jest wysoka, współczynnik determinacji wynosi 0,79. Dla pozostałych związków uzyskano mniej korzystną korelację. Współczynnik korelacji ( $\rho$ ) mieści się w przedziale od 0,43 (powierzchnia użytkowa) do 0,75 (powierzchnia całkowita), przy znacznie niższych współczynnikach determinacji od 0,19 (powierzchnia użytkowa) do 0,56 (powierzchnia całkowita).

Po zaklasyfikowaniu budynków do grup o podobnej charakterystyce architektonicznej, otrzymano wzmocnienie korelacji zużycia kruszyw względem pozostałych parametrów użytkowych (tab. 3–8). Oznacza to, że poziom zużycia kruszyw do betonu jest zależny nie tylko od wielkości budowanych domów, ale również od jego typu architektonicznego. Kubatura jest zatem parametrem bardziej uniwersalnym, przy równocześnie ustandaryzowanym sposobie jej pomiaru. Wykorzystanie pozostałych cech użytkowych należy natomiast ograniczyć wyłącznie dla budynków o znanej strukturze architektonicznej. Analizę korelacji wykonano dla następujących typów budynków:

- ◆ parterowych (podpiwniczonych i niepodpiwniczonych),
- ◆ parterowych podpiwniczonych,
- ◆ parterowych niepodpiwniczonych,
- ◆ parterowych z poddaszem użytkowym (podpiwniczonych i niepodpiwniczonych),
- ◆ parterowych z poddaszem użytkowym, podpiwniczonych,
- ◆ parterowych z poddaszem użytkowym, niepodpiwniczonych.

Tabela 3. Korelacja zużycia kruszyw i cech użytkowych budynków parterowych

Table 3. Correlation of consumption of the aggregates and usable features of one-storey buildings

N = 30	Kruszywa		
	$\rho$ -Spearmana	<i>p</i>	wsp. determinacji
Powierzchnia zabudowy	0,72	<0,001	0,52
Powierzchnia całkowita	0,96	<0,001	0,91
Powierzchnia użytkowa	0,64	<0,001	0,41
Kubatura	0,94	<0,001	0,89

Tabela 4. Korelacja zużycia kruszyw i cech użytkowych budynków parterowych podpiwniczonych

Table 4. Correlation of consumption of the aggregates and usable features of one-storey buildings with basements

N = 10	Kruszywa		
	$\rho$ -Spearmana	<i>p</i>	wsp. determinacji
Powierzchnia zabudowy	0,83	0,003	0,69
Powierzchnia całkowita	0,83	0,003	0,69
Powierzchnia użytkowa	0,96	<0,001	0,93
Kubatura	0,85	0,002	0,73

Tabela 5. Korelacja zużycia kruszyw i cech użytkowych budynków parterowych niepodpiwniczonych

Table 5. Correlation of consumption of the aggregates and usable features of one-storey buildings without basements

N = 20	Kruszywa		
	$\rho$ -Spearmana	<i>p</i>	wsp. determinacji
Powierzchnia zabudowy	0,95	<0,001	0,90
Powierzchnia całkowita	0,95	<0,001	0,90
Powierzchnia użytkowa	0,86	<0,001	0,73
Kubatura	0,96	<0,001	0,91

Tabela 6. Korelacja zużycia kruszyw i cech użytkowych budynków parterowych z poddaszem użytkowym

Table 6. Correlation of consumption of the aggregates and usable features of one-storey buildings with a utility attic

N = 24	Kruszywa		
	$\rho$ -Spearmana	p	wsp. determinacji
Powierzchnia zabudowy	0,47	0,019	0,22
Powierzchnia całkowita	0,78	<0,001	0,61
Powierzchnia użytkowa	0,47	0,021	0,22
Kubatura	0,79	<0,001	0,63

Tabela 7. Korelacja zużycia kruszyw i cech użytkowych budynków parterowych z poddaszem użytkowym, podpiwniczonych

Table 7. Correlation of consumption of the aggregates and usable features of one-storey buildings with a utility attic, with basements

N = 10	Kruszywa		
	$\rho$ -Spearmana	p	wsp. determinacji
Powierzchnia zabudowy	0,90	<0,001	0,81
Powierzchnia całkowita	0,92	<0,001	0,84
Powierzchnia użytkowa	0,91	<0,001	0,83
Kubatura	0,95	<0,001	0,91

Tabela 8. Korelacja zużycia kruszyw i cech użytkowych budynków parterowych z poddaszem użytkowym, niepodpiwniczonych

Table 8. Correlation of consumption of the aggregates and usable features of one-storey buildings with a utility attic, without basements

N = 14	Kruszywa		
	$\rho$ -Spearmana	p	wsp. determinacji
Powierzchnia zabudowy	0,67	0,008	0,46
Powierzchnia całkowita	0,55	0,044	0,30
Powierzchnia użytkowa	0,62	0,018	0,38
Kubatura	0,60	0,025	0,35

W przeprowadzonych analizach dla typowych rozwiązań architektonicznych, uzyskane współczynniki korelacji są istotne statystycznie, poziom istotności statystycznej (wartość  $p$ )

osiąga wartość nie większą niż założony poziom istotności statystycznej ( $\alpha = 0,05$ ), w związku z czym również można dokonywać ich interpretacji oraz uogólnić wyniki na populację.

Istotną zaletą korelacji *rho* Spearmana jest odporność na przypadki odstające w próbie. Rangowanie wyników powoduje, że wartości odstające nie są odstającymi. Mają one najniższą bądź najwyższą rangę, jednak wartość odstawiania danej obserwacji od zbioru wyników traci na znaczeniu.

### 3. Wskaźniki zużycia kruszyw w domach jednorodzinnych

W celu prognozowania zapotrzebowania na kruszywa do betonu w budynkach jednorodzinnych, posługiwać się możemy jednostkowym wskaźnikiem, obliczonym jako iloraz zidentyfikowanego zużycia kruszyw oraz danej cechy użytkowej domu (2). Ze względów praktycznego zastosowania, odniesienie zużycia kruszyw istotne jest względem dwóch parametrów budynków, tj. ich powierzchni użytkowej oraz kubatury. Dane te są dostępne w licznych statystykach rynku budownictwa mieszkaniowego, publikowanych przez Główny Urząd Statystyczny. Budynkom oddanym do użytkowania oraz z wydanymi pozwoleniami na budowę przypisano obie cechy. Natomiast budynkom, na budowę których wydano pozwolenie przypisano wyłącznie powierzchnię użytkową. Obliczone wskaźniki mogą zatem znaleźć zastosowanie w pracach analitycznych, dotyczących szacowania zużycia oraz struktury regionalnego popytu na kruszywa do betonu, zgodnie ze sposobem prezentowania danych o rynku budownictwa.

$$Z_{K/X} = \frac{K}{X}, \quad [\text{Mg/m}^2 \text{ lub Mg/m}^3] \quad (2)$$

- ↪  $Z_{K/X}$  – wskaźnik zużycia kruszyw względem cechy użytkowej,  
(np.  $Z_{K/K}$  – wskaźnik zużycia kruszyw na 1 m<sup>3</sup> kubatury budynku),  
 $K$  – zużycie kruszyw [Mg],  
 $X$  – cecha użytkowa (PU, m<sup>2</sup>) lub (K, m<sup>3</sup>).

Ze względu na długi okres realizacji domów jednorodzinnych, wynoszący blisko 60 miesięcy (GUS 2014b), dla prawidłowego zidentyfikowania całkowitego zużycia kruszyw, korzystniej jest wykorzystywać dane o liczbie wydanych pozwoleń budowlanych, które opisane są wyłącznie liczbą oraz ich powierzchnią użytkową. Liczba takich budynków jest zbliżona do liczby rozpoczętych budów (Machniak 2015). Zapotrzebowanie na beton (kruszywa do betonu) pojawia się w początkowej fazie budowy domu (stan surowy), który realizowany jest zazwyczaj w okresie jednego sezonu budowlanego, najczęściej od kwietnia do października. Dlatego też dane o liczbie budynków z wydanym pozwoleniem budowlanym, w większym stopniu odzwierciedlają faktyczne zapotrzebowanie na beton (kruszywa do betonu) w danym roku kalendarzowym.

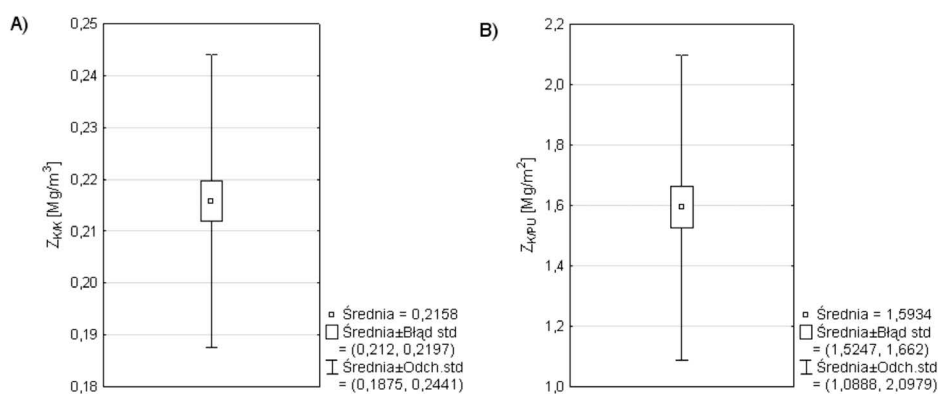


Podstawowe statystyki opisowe wskaźnika zużycia kruszyw dla wszystkich budynków przedstawiono w tabeli 9 oraz graficznie na rysunku 1.

Tabela 9. Podstawowe statystyki opisowe wskaźnika zużycia kruszyw w budynkach jednorodzinnych

Table 9. Basic statistics of unit consumption ratio of aggregates in houses

$N = 54$	Średnia	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe	Błąd standardowy	Wsp. zmienności [%]
$Z_{K/PU}$ [Mg/m <sup>2</sup> ]	1,59	0,70	2,67	0,50	0,060	31,6
$Z_{K/K}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	0,21	0,13	0,28	0,02	0,003	13,4



Rys. 1. Wykres ramka–wąsy średniej wartości wskaźnika zużycia kruszyw:

A)  $Z_{K/K}$ , B)  $Z_{K/PU}$

Fig. 1. Box and whiskers diagram of average value index of the aggregates consumption:

A)  $Z_{K/K}$ , B)  $Z_{K/PU}$

Zmienność wartości wskaźnika obliczonego względem kubatury budynków ( $Z_{K/K}$ ) wynosi 13,4%. Wartości drugiego wskaźnika ( $Z_{K/PU}$ ) są znacznie bardziej zróżnicowane, współczynnik zmienności wynosi 31,6%. Mając na uwadze wyniki przeprowadzonej analizy korelacji należy spodziewać się mniejszej zmienności, szczególnie wskaźnika  $Z_{K/PU}$ , dla wytypowanych grup budynków (tab. 10).

Zawężenie zbioru danych, do poszczególnych typów budynków, istotnie wpłynęło na mniejsze zróżnicowanie (rozpiętość) wartości wskaźników zużycia, przy porównywalnych wartościach błędu standardowego. Współczynnik zmienności kształtuje się na poziomie od 6 do 15%, a więc należy uznać, że obliczone wskaźniki charakteryzują się niską zmiennością, rozproszone są one blisko wartości średnich.

Obliczone wartości wskaźników dotyczą domów ze stropem żelbetowym. Wartości dla domów ze stropem gęstożebrowym są mniejsze o około 16%, a ze stropem drewnianym o około 19%. Niezależnie od konstrukcji stropu, błąd standardowy oraz współczynnik

Tabela 10. Statystyki wskaźnika zużycia kruszyw w typowych konfiguracjach domów

Table 10. Statistics of the aggregates consumption ratios in typical configurations of houses

	Średnia	Minimum	Maksimum	Odchylenie standardowe	Błąd standardowy	Wsp. zmienności, [%]
$N = 30$	Budynki parterowe (wszystkie)					
$Z_{K/PU}$ [Mg/m <sup>2</sup> ]	1,82	1,23	2,67	0,49	0,090	27,3
$Z_{K/K}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	0,21	0,18	0,28	0,02	0,004	12,3
$N = 10$	Budynki parterowe podpiwniczone					
$Z_{K/PU}$ [Mg/m <sup>2</sup> ]	2,47	2,19	2,67	0,15	0,047	6,0
$Z_{K/K}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	0,22	0,18	0,28	0,03	0,009	13,3
$N = 20$	Budynki parterowe niepodpiwniczone					
$Z_{K/PU}$ [Mg/m <sup>2</sup> ]	1,50	1,23	1,89	0,19	0,040	13,2
$Z_{K/K}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	0,21	0,18	0,27	0,02	0,005	11,3
$N = 24$	Budynki parterowe z poddaszem użytkowym (wszystkie)					
$Z_{K/PU}$ [Mg/m <sup>2</sup> ]	1,30	0,70	2,08	0,34	0,060	26,2
$Z_{K/K}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	0,21	0,13	0,26	0,02	0,006	14,0
$N = 10$	Budynki parterowe z poddaszem użytkowym, podpiwniczone					
$Z_{K/PU}$ [Mg/m <sup>2</sup> ]	1,63	1,27	2,08	0,24	0,070	15,0
$Z_{K/K}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	0,22	0,18	0,26	0,02	0,008	12,0
$N = 14$	Budynki parterowe z poddaszem użytkowym, niepodpiwniczone					
$Z_{K/PU}$ [Mg/m <sup>2</sup> ]	1,07	0,70	1,29	0,15	0,040	14,6
$Z_{K/K}$ [Mg/m <sup>3</sup> ]	0,20	0,13	0,25	0,03	0,008	14,7

zmienności, dla poszczególnych wskaźników zużycia i typów domów, mają porównywalną wartość do przedstawionych w tabeli 10.

Wskaźnik  $Z_{K/PU}$  może być stosowany wyłącznie dla znanych typów architektonicznych domów. Jego wartość wynosi od 1,07 Mg/m<sup>2</sup> w budynkach z poddaszem użytkowym, niepodpiwniczonych, do wartości aż 2,47 w budynkach parterowych podpiwniczonych, co generuje znaczące ryzyko popełnienia dużego błędu obliczeniowego przy szacowaniu zużycia kruszyw. Dla jego wyeliminowania, na podstawie obliczonych wskaźników (tab. 10), dla znanej, niezmienną na przestrzeni ostatnich lat struktury budowanych w kraju domów (Oferteo), określono reprezentatywną dla całego segmentu budownictwa jednorodzinnej wartość wskaźnika, która wynosi 1,22 Mg/m<sup>2</sup> (Machniak 2015). Umożliwia on szacowanie zużycia kruszyw tylko na podstawie podanych danych o nowej powierzchni użytkowej budowanych domów, bez konieczności szczegółowej analizy ich struktury architektonicznej.

## Podsumowanie

Pomimo wyodrębnienia z budownictwa kubaturowego jednorodnego budynku pod względem pełnionej funkcji – budynek jednorodzinny, można mówić o różnych jego typach. Według typologii architektury mieszkaniowej w zależności od przestrzennego usytuowania poza domami wolnostojącymi wyróżnia się dodatkowo domy: w zabudowie bliźniaczej, w zabudowie szeregowej oraz zabudowie atrialnej. Ze względu na podobne rozwiązania konstrukcyjne do ich budowy zużywa się podobne ilości kruszyw do betonu. W przeprowadzonych badaniach skupiono się wyłącznie na domach w zabudowie wolnostojącej. Jest to typ domu najczęściej wybierany i realizowany przez inwestorów (głównie indywidualnych) (GUS 2014).

Ze względu na niedużą zmienność obliczonych wskaźników zużycia w poszczególnych typach architektonicznych domów, rekomenduje się stosowanie wskaźnika obliczonego względem kubatury budynku ( $Z_{K/R}$ ), jego wartość zawiera się w przedziale od 0,20 do 0,22 Mg/m<sup>3</sup>. Wskaźnik ten jest szczególnie przydatny w sytuacji, gdy nie dysponujemy dokładnymi informacjami co do typu architektonicznego budowanych domów. Z praktycznego punktu widzenia, powinien być stosowany wskaźnik zużycia kruszyw odniesiony do powierzchni użytkowej ( $Z_{K/PU}$ ). W postaci pierwotnej ma on jednak małą uniwersalność, gdyż jego zastosowanie należy ograniczyć do wydzielonych podstawowych typów architektonicznych budynków. Dla stałej od kilku lat struktury budowanych w kraju domów, obliczone wskaźniki posłużyły do wyznaczenia wskaźnika charakterystycznego dla całego segmentu; jego wartość wynosi 1,22 Mg/m<sup>2</sup>. Porównując go do obliczonego (1,59 Mg/m<sup>2</sup>) należy stwierdzić, że struktura budynków stanowiących podstawę obliczeń nie jest tożsama (większy udział domów podpiwniczonych, brak domów o konstrukcji drewnianej) ze strukturą budynków w całej populacji. Potwierdza to przyjęte ograniczenia w wykorzystaniu obliczonych wskaźników.

Identyfikacja jednostkowych wskaźników zużycia kruszyw w segmencie budownictwa jednorodzinnego stanowi pierwszy krok do poznania zapotrzebowania na kruszywa do produkcji betonu (ale też betonu i cementu) wraz z jego rozkładem regionalnym. Możliwość regionalnego zidentyfikowania zużycia kruszyw w budownictwie kubaturowym, a w wielu regionach tylko w budownictwie jednorodzinym, może stanowić cenną przesłankę przy wyborze lokalizacji kopalń, w szczególności o niedużym wydobyciu (do 50 tys. Mg), zorientowanych na pokrycie potrzeb lokalnych.

*Praca wykonana w ramach badań statutowych nr 11.11.100.597.*

*Składam serdeczne podziękowania recenzentom za wniesione uwagi do artykułu, które pozwolą uniknąć mi podobnych błędów metodycznych w przyszłości.*

## LITERATURA

- Budownictwo polskie. *Stropy typu Fert* [Online] Dostępne w: [http://budownictwopolskie.pl/arttykul/stropy\\_typu\\_fert](http://budownictwopolskie.pl/arttykul/stropy_typu_fert) [Dostęp: 19.12.2014].
- Dekobeton. *Beton – proporcje, skład oraz wyrobienie* [Online] Dostępne w: <http://dekobeton.pl/beton-proporcje-sklad-wyrobienie> [Dostęp: 18.12.2014].
- Galos, K. i Kozioł, W. red. 2013. *Scenariusze zapotrzebowania na kruszywo naturalne w Polsce i w poszczególnych jej regionach*. Kraków-Wrocław. Wyd. Poltegor-Institut. 206 s.
- Galos, K. i Smakowski, T. 2012. Zmiany ośrodków koncentracji produkcji i zużycia kruszyw żwirowo-piaskowych w Polsce w pierwszej dekadzie XXI wieku. *Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej* 134, s. 55–70.
- GUS 2014a. *Budownictwo mieszkaniowe I–IV kwartał 2013 r.* Warszawa. Główny Urząd Statystyczny, 18 s.
- GUS 2014b. *Budownictwo – wyniki działalności w 2013 r.* Warszawa. Główny Urząd Statystyczny, 210 s.
- GUS 2015. *Bank Danych Lokalnych/Przemysł i Budownictwo/Budynki/Budynki nowe oddane do użytkowania*. Warszawa. Główny Urząd Statystyczny.
- Kabziński, A. 2007. Udział przemysłu kruszyw naturalnych w realizacji programu rozwoju infrastruktury drogowej w Polsce w latach 2007–2013. *Górnictwo Odkrywkowe* 5–6, s. 244–250.
- Kawalec, P. 2007. *Analiza produkcji i zużycia kruszyw w zależności od wybranych wskaźników wzrostu gospodarczego w Polsce i innych krajach UE*. Praca doktorska AGH Kraków.
- Kozioł i in. 2014 – Kozioł, W., Ciepłiński, A. i Machniak, Ł. 2014. Kruszywa naturalne w Unii Europejskiej – produkcja w latach 1980–2011. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi – Mineral Resources Management* 30(1), s. 53–58.
- Lubanta. *Przykładowe receptury* [Online] Dostępne w: <http://www.lubanta.pl/pl/component/content/article/87-przykladowe-receptury/95-przykladowe-receptury.html> [Dostęp: 18.12.2014].
- Machniak, Ł. 2015. Przestrzenny rozkład zapotrzebowania na kruszywa w budownictwie jednorodzinym, *Zeszyty Naukowe IGSMiE PAN* 91, s. 149–159.
- Muratorodom. *Poznaj przepis na beton zanim zaczniesz budowę domu* [Online] Dostępne w: [http://muratorodom.pl/budowa/sciany-murowane/poznaj-przepis-na-beton-zanim-zacziesz-budowe-domu,108\\_2205.html](http://muratorodom.pl/budowa/sciany-murowane/poznaj-przepis-na-beton-zanim-zacziesz-budowe-domu,108_2205.html) [Dostęp: 18.12.2014].
- Oferteo. *Jakie domy budują Polacy? – Raport 2013* [Online] Dostępne w: <http://www.oferteo.pl/zlecenia-budowlane/jakie-domy-buduja-polacy> [Dostęp: 12.02.2015].
- PIG 2014. *Bilans zasobów złóż kopalni w Polsce wg stanu na 31 XII 2013 r.* Warszawa. Państwowy Instytut Geologiczny, 468 s.
- Tech-bet. *Instrukcja montażu stropu gęstożebrowego Teriva* [Online] Dostępne w: <http://tech-bet.pl/pliki/teriva.pdf> [Dostęp: 18.12.2014].
- Wienerberger. *Parametry techniczne stropów* [Online] Dostępne w: [http://www.wienerberger.pl/sciany-i-stropy/parametry-techniczne-scian-i-stropow/stropy-porotherm/parametry-techniczne-stropow.html?sl=wb\\_pl\\_home\\_pl&lpi=1083571245282](http://www.wienerberger.pl/sciany-i-stropy/parametry-techniczne-scian-i-stropow/stropy-porotherm/parametry-techniczne-stropow.html?sl=wb_pl_home_pl&lpi=1083571245282) [Dostęp: 18.12.2014].
- Zalewski, J. 2016. Dokąd branża? Przyszłość kruszyw – szanse i zagrożenia. *Surowce i Maszyny Budowlane* 2, s. 8–13.

## WSKAŹNIKI ZUŻYCIA KRUSZYW DO BETONU W BUDYNKACH JEDNORODZINNYCH

## Słowa kluczowe

górnictwo odkrywkowe, piaski i żwiry, budownictwo jednorodzinne, zużycie betonu, zużycie kruszyw

## Streszczenie

Kruszywa znajdują szerokie zastosowanie zarówno w budownictwie liniowym jak i kubaturowym. W ostatnich latach, pod względem ilościowego zapotrzebowania, nieznacznie chłonniejszym segmentem jest budownictwo liniowe. Po zakończeniu realizacji dużych inwestycji infrastrukturalnych, współfinansowanych ze środków UE, budownictwo kubaturowe stanie się jednak największym konsumentem kruszyw. Ze względu na brak dokładnych informacji o zużyciu kruszyw w tym segmencie budownictwa, a w szczególności regionalnym jego rozkładzie, zachodzi potrzeba oszacowania jednostkowych wskaźników ich zużycia w różnych typach obiektów kubaturowych.

W pracy przedstawiono statystyczny obraz zapotrzebowania na kruszywa do produkcji betonu w zależności od wybranych cech budynków jednorodzinnych. Jako podstawę do określenia jednostkowego zużycia kruszyw przyjęto ilość betonu zestawioną w dokumentacjach projektowych oraz średnią zawartość kruszyw w mieszance betonowej. Zużycie kruszyw określono względem takich cech budynku, jak: powierzchnia zabudowy, powierzchnia całkowita, powierzchnia użytkowa, kubatura. Dokonano również oceny zużycia w zależności od rozwiązań konstrukcyjnych stropów oraz ważniejszych cech architektonicznych, tj. liczby kondygnacji nadziemnych i podziemnych. Z przeprowadzonych analiz wynika, że zużycie kruszyw zależy zarówno od wielkości budowanego domu, ale też od jego typu architektoniczno-konstrukcyjnego.

W większości przypadków zużycie kruszyw jest najkorzystniej skorelowane z kubaturą budynków. Obliczona średnia wartość wskaźnika zużycia kruszyw wynosi 0,21 Mg na 1 m<sup>3</sup> kubatury budynku, przy błędzie standardowym średniej wynoszącym 0,003 oraz współczynniku zmienności 13,4%. W przypadku poszczególnych typów budynków uzyskano wartości wskaźników charakteryzujące się niższym współczynnikiem zmienności oraz podobnymi wartościami błędu standardowego, szczególnie dla wskaźnika obliczonego względem powierzchni użytkowej. Zatem znajduje uzasadnienie wymienne wykorzystanie tych wskaźników.

Prowadzone od wielu lat statystyki rynku budownictwa mieszkaniowego – w tym jednorodzinne – uzupełnione o zidentyfikowanie wskaźniki zużycia kruszyw, umożliwiają opracowanie regionalnych scenariuszy zapotrzebowania na kruszywa, zwłaszcza zwirowo-piaskowe, stanowiące zdecydowaną większość w produkcji betonu.

## THE CONSUMPTION RATIOS FOR AGGREGATES TO CONCRETE IN SINGLE-FAMILY HOUSES

## Keywords

open-cast mining, sands and gravels, single-family construction, consumption of concrete, consumption of aggregates

## Abstract

Natural aggregates are widely used both in ribbon and volumetric construction. In respect of quantitative demand, ribbon construction has been definitely much more receptive in recent years. After completion of implementation of large infrastructural investments, co-financed by EU funds, volumetric construction will become one of major directions of sale of aggregates. Due to a lack of accurate information about consumption of aggregates in this construction segment, it is important to estimate the unit consumption ratios in different types of volumetric structures.

The thesis presents the statistical image of demand for aggregates depending on selected features of single-family buildings. The basis assumed for determining unit consumption of aggregates is the amount of concrete juxtaposed in design documentations and average content of aggregates in concrete mix. Consumption of aggregates has been defined in respect of such features of a building as: building area, total area, usable area, volume. Also, consumption was assessed depending on structural solutions of ceilings and major architectonic features: the number of storeys above ground and underground. The conducted analyses imply that consumption of aggregates varies according to not only the size of a house under construction, but also the architectural-constructional type of the building.

In most cases, the consumption of aggregates to concrete correlates most favourably with the volume of the buildings. The average value of the aggregates consumption ratio is 0.21 Mg per 1 m<sup>3</sup> of building volume, with the standard error of the mean equalling 0.003. As regards particular building types, the obtained mean values have a lower coefficient of variation, and similar values standard error, especially for the index calculated relative to the usable area. Therefore, it is justified to use these ratios interchangeably.

It is possible to prepare regional demand scenarios for aggregates, especially gravel-sand aggregates which are the primary type used to produce concrete, using statistics of the residential construction market, including detached single-family construction, which have been kept for years, supplemented with the identified aggregate consumption ratios.