

Wykorzystanie wskaźników płaskości i kształtu do oceny jakości kruszywa

Determination of geometrical properties of aggregates by the use of shape index and flakiness index for evaluation of the quality of aggregates



Mgr inż. Wojciech Miśkiewicz)*



*Dr inż. Arkadiusz Utrata**)*



*Dr hab. inż. Beata Trzaskuś-Żak**)*



*Dr hab. inż. Zdzisław Gałaś
prof. nadzw. AGH**)*

Treść: W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących oceny jakości kruszywa łamanego produkowanego przez kopalnię odkrywkową wapienia z wykorzystaniem wskaźników płaskości i kształtu. Badanie wykonano na próbce o frakcji 8/12. Badanie dotyczące oznaczenia wskaźnika płaskości zostało przeprowadzone w oparciu o normę PN-EN 933-3:1999: „Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Oznaczenie kształtu ziarn za pomocą wskaźnika płaskości”. Badanie, którego celem było oznaczenie wskaźnika kształtu przeprowadzono na podstawie normy PN-EN 933-4:1999 „Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Oznaczenie kształtu ziarn – Wskaźnik kształtu”.

Abstract: This paper presents the results of research concerning the evaluation of the quality of the aggregate surface produced by opencast mine of rock materials by the use of shape index and the test of percentage of non-cubical particles in each size fraction. The research was done on a sample of 8/12 fraction. The research, concerning the determination of percentage of non-cubical particles in each size fraction, was based on the PN-EN 933-3:1999: “Test for geometrical properties of aggregates. Determination of particle shape – Flakiness index”. The research concerning the determination of shape index was based on Test number PN-EN 933-4:1999 “Tests for geometrical properties of aggregates. Determination of particle shape – Shape index”.

Słowa kluczowe:

badania dotyczące oceny jakości kruszywa (oznaczenia kształtu ziarn), wskaźnik płaskości, wskaźnik kształtu

Key words:

research on the evaluation of the quality of the aggregate – geometrical properties of aggregates, flakiness index, shape index

*) Absolwent AGH **) AGH w Krakowie

1. Wprowadzenie

W Polsce aktualnie, jak i w latach ubiegłych, występuje duży popyt na kruszywa drogowe o różnej jakości. Na jakość kruszywa wpływa m.in. kształt ziaren kruszywa, który uzależniony jest od rodzaju skały macierzystej, ale także od sposobu przeróbki mechanicznej (stopnia rozdrobnienia ziaren). Kształt ziarna dzielimy na foremne i nieforemne. Za kruszywa o najlepszej jakości uważane są te o ziarnach kubicznych, zbliżonych kształtem do kuli lub sześciangu. Taki kształt ziaren zapewnia mały stosunek powierzchni do objętości, a tym samym zapewnia większą wytrzymałość. Niezależnie od pochodzenia w kruszywach mogą występować ziarna wydłużone i płaskie, które w dużej liczbie mogą utrudnić szczelne ułożenie mieszanek betonowych, pogarszając tym samym parametry betonu czy mieszanek mineralno-asfaltowych. Ponadto w przypadku zagęszczania betonu, pod ziarnami płaskimi wydziela się woda, która po odparowaniu daje luki obniżające wytrzymałość i szczelność betonu.

Dla każdej kopalni kruszywa istotne jest prowadzenie badań dotyczących jakości, mających na celu kontrolowanie wskaźnika kształtu. Sposób przeprowadzenia takiego badania dla kruszywa łamanego frakcji 8/12, produkowanego przez kopalnię odkrywkową dolomitu i wapienia przedstawiono w niniejszym artykule.

2. Charakterystyka przeprowadzonego badania

2.1. Założenia

Dla oznaczenia kształtu kruszywa łamanego wyznaczono wskaźniki w dwóch kategoriach:

- FI tzw. wskaźnik płaskości, który jest sumą masy ziaren przechodzących przez sита prętowe, wyrażony w % w stosunku do całkowitej masy suchych ziaren,
- SI tzw. wskaźnik kształtu, który informuje o zawartości ziaren (długości – L i grubości – E) większym niż 3 (ziarna w których stosunek wymiarów $L/E > 3$), wyrażony w % całkowitej masy badanych ziaren.

Całkowity wskaźnik płaskości (FI) oblicza się z następującego wzoru

$$FI = \frac{M_2}{M_1} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:

- M_1 – jest sumą mas frakcji o wymiarach ziarn d_i/D_i , g,
- M_2 – jest sumą mas frakcji o wymiarach ziarn przechodzących przez odpowiednie sита o szerokości szczeliny $D_i/2$, g.

Całkowity wskaźnik płaskości FI podaje się z dokładnością do najbliższej liczby całkowitej.

Wskaźnik płaskości dla każdej frakcji FI_i oblicza się, z następującego wzoru

$$FI_i = \left(\frac{m_i}{R_i} \right) \cdot 100 \quad (2)$$

gdzie:

- R_i – jest masą frakcji o wymiarach ziarn d_i/D_i , g,
- m_i – jest masą materiału z tej samej frakcji d_i/D_i która przeszła przez odpowiednie sита prętowe o szerokości szczeliny $D_i/2$, g.

Całkowity wskaźnik kształtu SI oblicza się z następującego wzoru:

$$SI = \frac{M_2}{M_1} \cdot 100 \quad (3)$$

gdzie:

- M_1 – masa próbki analitycznej, g,
- M_2 – masa ziarn nieforemnych, g.

2.2. Etapy oznaczania wskaźnika płaskości

Przebieg badań powinien być zgodny z normą PN-EN 933-3:1999/A1 „Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Oznaczenie kształtu ziarn za pomocą wskaźnika płaskości” [3]. Norma ta podaje procedurę oznaczania wskaźnika płaskości kruszyw naturalnych (czyli kruszyw pochodzenia mineralnego, które poza obróbką mechaniczną, czyli kruszeniem, przesiewaniem i płukaniem, nie zostało poddane żadnej innej obróbce) i pochodzenia sztucznego (kruszywo pochodzenia mineralnego, uzyskane w wyniku procesu przemysłowego obejmującego termiczną lub inną modyfikację, np. wypalane z glin pęczniących, kruszywa z odpadów przemysłowych), łącznie z kruszywami lekkimi (kruszywa pochodzenia mineralnego o gęstości ziarn nie większej niż 2000 kg/m^3 ($2,0 \text{ Mg/m}^3$) lub gęstości w stanie luźnym nie większej niż 1200 kg/m^3 ($1,2 \text{ Mg/m}^3$)). Przeprowadzone badanie nie ma zastosowania w odniesieniu do ziarn o wymiarach mniejszych niż 4 mm lub większych niż 80 mm. Badanie zostało wykonywane na próbce o frakcji 8/12 [3, 8].

2.2.1. Pierwszy etap – przesiewanie przez sита o otworach kwadratowych

Na początku badania próbka analityczna o masie M_0 , dobrana zgodnie z normami PN-EN 933-1[2] oraz PN-EN 933-4:1999 [4] (tabl. 1) przesiana została przez sита o otworach kwadratowych, z następującymi wymiarami otworów: 80 mm, 63 mm, 50 mm, 40 mm, 32,5 mm, 25 mm, 16 mm, 12,5 mm, 10 mm, 8 mm, 6,3 mm, 5 mm i 4 mm.

Tablica 1. Dobór masy próbki analitycznej

Table 1. Selection of the sample's mass

Wymiar ziarn kruszywa D_i (maksimum), mm	Masa próbki analitycznej, M_0 (minimum), kg
63	45
32	6
16	1
8	0,1

Źródło: [4]

Source: [4]

Wszystkie ziarna przechodzące przez sита o wymiarze 4 mm i pozostające na sicie 80 mm zostały odrzucone. Podsumowując, masa próbki analitycznej wyniosła 2687,6 g. Masa próbki nie przechodzącej przez sита 80 mm wyniosła 0 g oraz masa próbki przechodzącej przez sита 4 mm wyniosła 5,2 g. Zatem suma mas odrzuconych wyniosła 5,2 g.

2.2.2. Drugi etap badania – przesiewanie za pomocą sit prętowych

W kolejnym etapie przeprowadzonego badania, kruszywo przesiewano ręcznie za pomocą sit prętowych (rys. 1) ułożonych w odpowiedniej kolejności zawartej w normie (tabl. 2). Takie przesiewanie należy uznać za zakończone, gdy pozostający na sicie materiał nie zmienia się więcej niż 1 % po 1 minucie przesiewania.

Tablica 2. Ustawienie sit prętowych
Table 2. Setting of test sieves

Wymiary frakcji ziarn d_i/D_i mm	Szerokość szczeliny w sitach prętowych mm
63/80	40±0,5
50/63	31,5±0,5
40/50	25±0,4
31,5/40	20±0,4
25/31,5	16±0,4
20/25	12,5±0,4
16/20	10±0,2
12,5/16	8±0,2
10/12,5	6,3±0,2
8/10	5±0,2
6,3/8	4±0,15
5/6,3	3,15±0,15
4/5	2,5±0,15

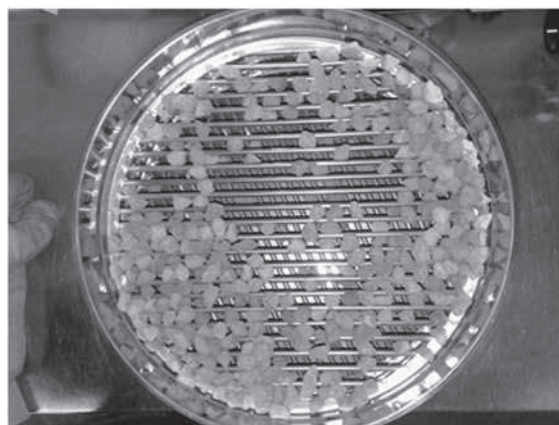
Źródło: [3]

Source: [3]

2.2.3. Trzeci etap – ważenie i obliczenia

Po przesianiu kruszywa przez każde sito, zważono masę kruszywa pozostałego na każdym sicie osobno i przystąpiono do obliczeń.

Jeżeli suma mas R_i łącznie z masami każdej z odrzuconych frakcji o danym wymiarze ziarn różni się więcej niż 1% od masy M_0 (masa próbki analitycznej), badanie należy powtórzyć na innej próbce analitycznej. Otrzymane wyniki zamieszczono w tablicy 3.



Rys. 1. Sita prętowe podczas przesiewania

Źródło: Opracowanie własne

Fig. 1. Test sieves during sieving.

Source: Own elaboration

2.3. Oznaczenie kształtu ziarn za pomocą wskaźnika kształtu

W kolejnym kroku, kierując się normą PN-EN 933-4:1999 „Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Oznaczenie kształtu ziarn – Wskaźnik kształtu” [4], badanie zostało wykonane na próbce o frakcji 8/12. Próbkę analityczną przesiewa się, w taki sposób, aby wszystkie ziarna przechodzące przez sito o wymiarze 4 mm i pozostające na sicie 63 mm zostały odrzucone. Masa próbki analitycznej została określona wg tablicy 1.

Po oddzieleniu z próbki analitycznej dominującej frakcji przesiewając zgodnie z PN-EN 933-1 [2], odrzucono

Tablica 3. Wyniki uzyskane po przeprowadzeniu badania (etap I)

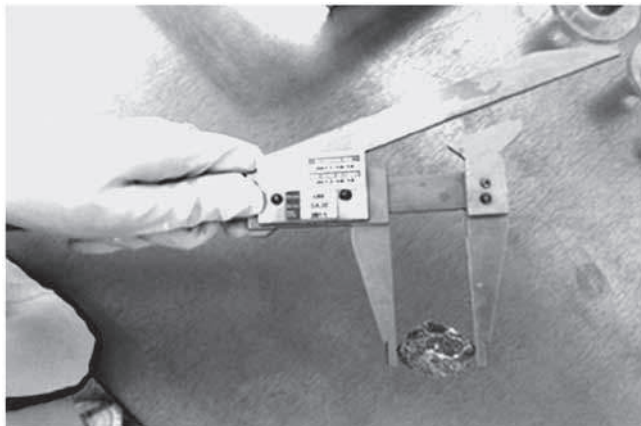
Table 3. Results after leading across the research (stage 1)

Sita badawcze		Przesiewanie na sitach prętowych						
Frakcja o wymiarach ziarn d_i/D_i mm	Masy frakcji o wymiarach ziarn d_i/D_i , R_i g	Nominalna szerokość szczelin sita prętowego, mm	Masa pozostająca na sicie prętowym g	Masa przechodząca przez sito prętowe g	Masa pozostająca na sicie po 1 min. przesiewania g	Masa przechodząca przez sito po 1 min. przesiewania m_i g	Zmiana masy %	= %
63/80		40,0						
50/63		31,5						
40/50		25,0						
31,5/40		20,0						
25/31,5		16,0						
20/25		12,5						
16/20		10,0						
12,5/16	26,4	8,0	23,2	3,2	23,2	3,2	0,0	12
10/12,5	905,3	6,3	863,3	42,0	863,3	42,0	0,0	5
8/10	1240,1	5,0	1184,4	55,5	1184,4	55,5	0,0	4
6,3/8	470,9	4,0	443,3	27,5	443,3	27,5	0,0	6
5/6,3	37,6	3,15	36,0	1,7	36,0	1,7	0,0	5
4/5	2,2	2,5	1,7	0,3	1,7	0,3	0,0	14
$M_1 = \sum R_i$	2682,5		2551,9	130,2	$M_2 = \sum m_i$	130,2		
							0,0%	< 1%
Badana właściwość				Wynik				
Całkowity wskaźnik płaskości: $FI = \frac{M_2}{M_1} \cdot 100 \%$				8%				

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own elaboration

wszystkie ziarna mniejsze niż 8 i większe niż 12. Masa próbki analitycznej wyniosła $M_1=410,2$ g. Oceniono długość L i grubość E każdego ziarna używając suwmiarki (rys.2). Ziarna klasyfikowane jako nieforemne odsunięte zostały na bok. Są to ziarna w których stosunek wymiarów $L/E > 3$.



Rys. 2. Sprawdzanie kształtu ziarna

Źródło: Opracowanie własne

Fig. 2. The control of the shape of the grain

Source: Own elaboration

Masa ziarn nieforemnych jaka została odrzucona wyniosła $M_2=26,4$ g. Zatem wskaźnik kształtu wynosi 6 %:

3. Podsumowanie

Jakość kruszywa jest określana na podstawie różnego rodzaju wskaźników zawartych w normach i wpływa na stopień i kierunek jego wykorzystania. W laboratoriach badających jakość kruszywa (zakładowa kontrola jakości) przeprowadzana jest ocena zgodności, czyli systematyczne badanie, w jakim stopniu wyrób spełnia określone wymagania. Systemy oceny zgodności kruszywa w zależności od jego zastosowania określone są m.in. w normach PN-EN 13043 [6] i PN-EN 13242 [7] oraz w wymaganiach technicznych WT-1 [9]: Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utrwaleń na drogach krajowych.

W dokumencie WT-1, systemy oceny zgodności kruszywa w zależności od jego zastosowania zostały podzielone na dwie grupy [9]:

- system 2+, w którym jest wymagany udział strony trzeciej, dzieli kruszywo na następujące kategorie ruchu (KR), ze względu na obciążenie ruchem drogowym: KR3-KR6 dotyczy kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych stosowanych na gorąco, przeznaczonych do wykonywania warstwy ścieralnej, wiążącej, wyrównawczej, wzmacniającej (do dróg obciążonych ruchem); KR5-KR-6 (do podbudowy dróg obciążonych ruchem); KR1-KR6 (do wykonywania powierzchniowych utrwaleń na drogach obciążonych ruchem oraz jako wypełniacz do mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco, przeznaczonych do wykonywania warstwy ścieralnej dróg obciążonych ruchem),
- system 4, w którym nie jest wymagany udział strony trzeciej, dzieli kruszywo na następujące kategorie ruchu (KR): KR1-KR2 (do mieszanek mineralno-asfaltowych stosowanych na gorąco, przeznaczonych do wykonywania warstw: ścieralnej, wiążącej, wyrównawczej i wzmacniającej), KR1-KR3 (do podbudowy dróg obciążonych ruchem), KR1-KR6 (wypełniacz do mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco, przeznaczonych do wykonywania

warstwy podbudowy wiążącej, wyrównawczej i wzmacniającej dróg obciążonych ruchem).

Wynik przeprowadzonego badania można odnieść do wymagań właściwości kruszyw o ciągłym uziarnieniu do podbudowy z betonu asfaltowego, do warstwy wiążącej, wyrównawczej, wzmacniającej i ścieralnej, oraz do warstwy ścieralnej z mieszanki SMA (mieszanka mastyksowo-grysowa) i BBTM (beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw), jak również do warstwy wiążącej i ścieralnej z asfaltu porowatego zawartych w normach [6], [7] i [9]. Według wymienionych dokumentów badana frakcja kruszywa 8/12 spełnia wymagania kategorii ruchu KR3-KR4 oraz KR5-KR6.

Przydatność kruszywa (jakość kruszywa) do produkcji betonu jest określana na podstawie właściwości kruszywa określonych w normie PN-EN 12620: Kruszywa do betonu [5]. Norma ta wyróżnia trzy podstawowe grupy właściwości: geometryczne, fizyczne oraz chemiczne. Do właściwości geometrycznych zaliczamy; wymiar kruszywa (opisywany jako d/D), natomiast stosunek D/d nie powinien być mniejszy niż 1,4), uziarnienie (na jego podstawie określana jest kategoria kruszywa) oraz kształt kruszywa. Dla oznaczenia kształtu kruszyw grubych używany jest wskaźnik płaskości kruszywa (FI) oraz wskaźnik kształtu kruszywa (SI), w zależności od wartości wskaźnika płaskości (kształtu) określa się odpowiednią kategorię FI (SI) dla badanego kruszywa według normy PN-EN 12620 (tabl. 4 i 5) [5].

Tablica 4. Określenie kategorii ze względu na FI

Table 4. Category assignation for FI

Wskaźnik płaskości	Kategoria FI
≤ 15	FI_{15}
≤ 20	FI_{20}
≤ 35	FI_{35}
≤ 50	FI_{50}
> 50	$FI_{\text{deklarowane}}$
brak wymagań	FI_{NR}

Źródło: [5]

Source: [5]

Tablica 5. Określenie kategorii dla SI

Table 5. Category assignation for SI

Wskaźnik kształtu	Kategoria SI
≤ 15	SI_{15}
≤ 20	SI_{20}
≤ 40	SI_{40}
≤ 55	SI_{55}
> 55	$SI_{\text{deklarowane}}$
brak wymagań	SI_{NR}

Źródło: [5]

Source: [5]

Uzyskane wyniki przeprowadzonego badania wskazują, że badane kruszywo znajduje się w kategorii FI_{15} , ze względu na wskaźnik płaskości oraz w kategorii SI_{15} ze względu na wskaźnik kształtu. Wskaźnik kształtu SI informuje o procentowej zawartości ziaren nieforemnych, a jak już wcześniej wspomniano najlepsze do produkcji betonu są kruszywa o ziarnach foremnych, tzn. kubicznych, zbliżonych kształtem do kuli lub sześcianu.

Tablica 6. Deklaracja kopalni X dla kruszywa o frakcji 8/12**Table 6. Declaration of mine X for the aggregates of the fraction 8/12**

Kruszywo naturalne grube 8/11,2				
Badane własności	Rodzaj oznaczenia	PN-EN 13043	PN-EN 12620	PN-EN 13242
Wskaźnik płaskości, FI	Kategoria	FI10	FI15	FI20
Wskaźnik kształtu, SI	Kategoria	SI15	SI20	SI20

Ziarna nieforemne w dużej ilości tworzą stos okruszowy kruszywa o małej szczelności, dają beton trudny do zagęszczenia, nasiąkliwe, o obniżonej mrozoodporności i o małej wytrzymałości. Wytrzymałość ziaren nieforemnych jest mniejsza niż kubicznych, ziarna takie mają większą powierzchnię w stosunku do objętości co powoduje konieczność zwiększenia ilości cementu [1].

Otrzymane wyniki świadczą o tym, że zawartość ziaren nieforemnych wynosi tylko 6 %, w związku z czym badana frakcja kruszywa posiada 94 % ziaren foremnych, co oznacza, że nadaje się do wykorzystania do betonu. Otrzymane wyniki badania jakości kruszywa można odnieść również do deklarowanych przez kopalnię właściwości sprzedawanego kruszywa. W przypadku analizowanej kopalni zadeklarowane warunki dotyczące wskaźników *SI* oraz *FI* dla badanej frakcji 8/12 zamieszczono w tablicy 6.

Reasumując można stwierdzić, że badane kruszywo spełnia zadeklarowane, jak i wymagane przez zacytowane normy wymagania dotyczące kształtu kruszywa.

Publikację wykonano w AGH w Krakowie w 2015 r. w ramach badań statutowych, umowa nr: 11.11.100.693, zadanie 5

Literatura

1. *Błażejewicz T.*, Kruszywa do betonu, Wydział Inżynierii WAT, <http://pl.scribd.com/doc/85520987/15-kruszywa#scribd>.
2. PN-EN 933-1: Badanie geometrycznych właściwości kruszyw. Oznaczenie składu ziarnowego. Metoda przesiewania.
3. PN-EN 933-3:1999/A1 „Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Oznaczenie kształtu ziarn za pomocą wskaźnika płaskości”.
4. PN-EN 933-4:1999 „Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Oznaczenie kształtu ziarn – Wskaźnik kształtu.
5. PN-EN 12620: Kruszywa do betonu.
6. PN-EN 13043: Kruszywo do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu.
7. PN-EN 13242: Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym.
8. www.ip.projekt.put.poznan.pl, Oznaczenie kształtu ziarn - wskaźnik płaskości kruszywa.
9. WT-1 Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utwaleń na drogach krajowych 2010.