

*Łukasz Bednarek\*, Jakub Mazurek\**

## OCENA WPŁYWU DOMIESZEK DO KRUSZYWA 0–63 MM NA POPRAWĘ JEGO WSKAŹNIKA NOŚNOŚCI NA PODSTAWIE WYNIKÓW BADAŃ WŁASNYCH

---

### 1. Wprowadzenie

Podbudowa jest jednym z najważniejszych elementów nawierzchni drogowej. Jest to fundament, na którym układane są kolejne warstwy budowanej drogi. Za najlepsze kruszywo stosowane na podbudowę uważa się skały pochodzenia magmowego. Jednakże kruszywo bazaltowe, czy inne pochodzenia magmowego, należy do bardzo ograniczonej bazy surowców. Coraz chętniej wykorzystuje się do tego celu kruszywa piaskowcowe.

Kruszywa piaskowcowe nie zawsze jednak spełniają wymagania, jakie stawia norma, a jest to niezbędne aby mogły być wykorzystane jako materiał w budownictwie drogowym. Należy dodać, że od jakości kruszywa uzależniona jest jakość dróg, koszty budowy, a także koszty ich remontów.

Jednym z bardzo istotnych parametrów decydującym o przydatności kruszywa jako materiału na podbudowę jest wskaźnik nośności, który odpowiada kalifornijskiemu wskaźnikowi CBR (*California Bearing Ratio*). Norma PN-S-06102:1997 *Drogi samochodowe: Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie* [5] zaleca, aby wartość tego wskaźnika była nie mniejsza niż 60%. Niektóre rodzaje kruszyw mogą nie spełniać tego wymogu, dlatego wymieniona norma przewiduje możliwość stosowania domieszek mających na celu poprawę wartości wskaźnika. Wspomniana norma zaleca wykorzystanie czterech rodzajów domieszek tj.: wapno, cement, popioły lotne lub żużel granulowany.

### 2. Charakterystyka kruszywa

Przedmiotem badań była mieszanka kruszywa łamanego o granulacji 0–63 mm — kruszywo piaskowcowe, pochodzące z kamieniołomu w rejonie Nowego Sącza. W celu rozpoznania

---

\* Katedra Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków,

przydatności kruszywa 0–63 mm i oceny wpływu domieszek na poprawę wskaźnika nośności wykonano szereg badań. Badania zostały przeprowadzone w Laboratorium Badania Własności Skał i Wyrobów Kamieniarskich Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej, akredytowanym przez Polskie Centrum Akredytacji — certyfikat akredytacji AB 298. Wszystkie badania wykonano w okresie od marca do maja 2010 roku. Wyniki badań zestawiono w tabeli 1.

TABELA 1  
Zestawienie wyników z przeprowadzonych oznaczeń

Wyszczególnienie właściwości	Materiał podstawowy, kruszywo 0-63 mm	Wymagania wg PN-S-06102:1997[5]	
		Podbudowa zasadnicza	Podbudowa pomocnicza
Zawartość ziarn mniejszych niż 0,075 mm	4,4%	2-10%	2-10%
Zawartość nadziarna	0%	≤ 5%	≤ 10%
Zawartość ziarn nieforemnych	$SI = 44\%$ $FI = 53\%$	≤ 35%	≤ 40%
Wskaźnik piaskowy	20,8%	30–70%	30–70%
Odporność na ścieranie w bębnie mikro – Devala	38%	—	—
Nasiąkliwość	2,4%	≤ 3%	≤ 5%
Gęstość objętościowa ziarn	2,7 [Mg/m <sup>3</sup> ]	—	—
Wilgotność optymalna	5,3%	—	—
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego	1,977 [g/cm <sup>3</sup> ]	—	—

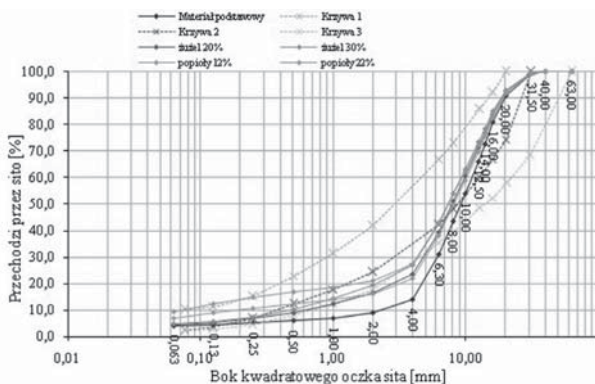
W celu określenia własności fizyko–mechanicznych mieszanki wykonano następujące badania: skład ziarnowy, wskaźnik kształtu, wskaźnik płaskości, wskaźnik piaskowy, odporność na ścieranie w bębnie mikro — Devala, gęstość ziarn i nasiąkliwość, wilgotność optymalną. Otrzymane wyniki porównano z wartościami kryterialnymi zawartymi w normie PN-S-06102:1997 [5].

Oznaczenie składu ziarnowego wykazało, że zawartość ziarn mniejszych niż 0,075 mm mieści się w wymaganym przedziale. Badane kruszywo nie zawierało nadziarna. Badanie kształtu ziarn wykazało, że kruszywo zawiera niemal połowę ziarn nieforemnych, nie spełniając przy tym wymagań normy. Wskaźnik piaskowy mieszanki w stanie naturalnym wynosił 20,8% i był niższy aniżeli zalecana wartość normowa. Norma PN-S-06102:1997 [5] zaleca, aby nasiąkliwość była nie większa od 3% lub 5% w zależności od przeznaczenia kruszywa. Z badań wynikało, że nasiąkliwość wynosiła 2,4%, natomiast gęstość objętościowa ziarn wynosiła 2,7 Mg/m<sup>3</sup>. Oznaczenie wilgotności optymalnej nie jest wymagane przez normę. Znajomość wartości wilgotności optymalnej jest jednak niezbędna do oznaczenia

wskaźnika nośności  $w_{nos}$ . Należy go określać na kruszywie o wilgotności zbliżonej do wilgotności optymalnej.

Poza mieszanką 0–63 mm przedmiotem badań były także popioły lotne o granulacji 0–6,3 mm i żużel wielkopiecowy o granulacji 0–12,5 mm. Wymienione materiały oraz wapno były stosowane jako domieszki w celu polepszenia właściwości materiału podstawowego.

Dodanie domieszek do mieszanki podstawowej zmieniało jej skład ziarnowy. Dysponując składem ziarnowym mieszanki podstawowej oraz domieszek: popiołów lotnych i żużlu, obliczono skład ziarnowy mieszanki doziarnionej. Na rysunku 1 przedstawiono krzywe składu ziarnowego: materiału podstawowego oraz materiału doziarnionego popiołami i żużlem.



Rys. 1. Krzywe uziarnienia doziarnionej mieszanki

Z rysunku 1 wynika, że doziarnienie kruszywa 0–63 mm popiołami oraz żużlem poprawiło skład ziarnowy nowej mieszanki. Krzywa składu ziarnowego mieszanki podstawowej w przedziale granulacji 0,25–6,3 mm bardzo znacznie wychodziła poza przedział dobrego uziarnienia. Po dodaniu domieszek wzrosła zawartość frakcji drobnej. Kruszywo doziarnione popiołami i żużlem miało ciągle krzywe uziarnienia, które niemal w całości mieściły się w wymaganym przedziale.

### 3. Wskaźnik nośności

Wskaźnik nośności (CBR) mieszanki 0–63 mm (materiał podstawowy) porównano z wartościami jakie otrzymano po dodaniu do niej wymienionych wyżej domieszek. W tabeli 2 zamieszczono wartości wskaźników nośności ze wszystkich oznaczeń.

Norma PN-S-06102:1997 *Drogi samochodowe: Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie* [5] zaleca, aby jako miarodajną przyjmować wartość większą  $w_{nos}$ , dlatego wartości te zaznaczono w tabeli czcionką pogrubioną.

Analizując otrzymane wyniki zestawione w tabeli 2 można stwierdzić, że kruszywo 0–63 mm bezpośrednio po zagęszczeniu posiadało bardzo niską wartość wskaźnika nośności wynoszącą około 12,6. Po czterech dobach moczenia wskaźnik ten osiągnął wartość oko-

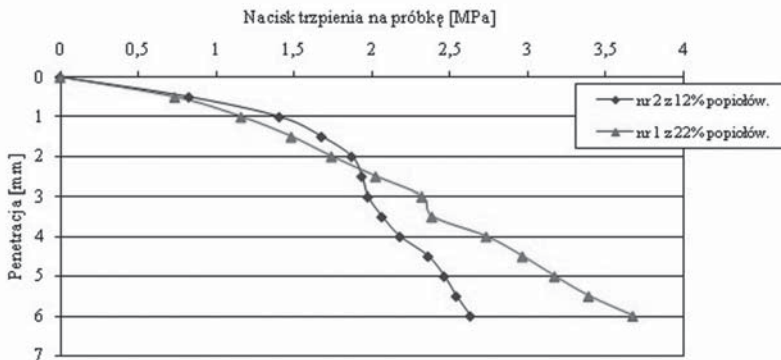
TABELA 2

Zestawienie wyników z przeprowadzonych oznaczeń wskaźnika nośności  $w_{nos}$ 

	Wskaźnik nośności $w_{nos}$ [%]			
	bezpośrednio po zagęszczeniu		po czterech dobach nasączenia wodą	
	2,5 mm	5,0 mm	2,5 mm	5,0 mm
Materiał podstawowy, próbka nr 1	12,1	<b>12,6</b>	12,1	<b>14,6</b>
Materiał podstawowy, próbka nr 2	11,9	<b>12,6</b>	10,1	<b>14,4</b>
Materiał z zawartością 12 % popiołów lotnych	<b>27,6</b>	24,6	13,8	<b>15,1</b>
Materiał z zawartością 22 % popiołów lotnych	28,8	<b>31,6</b>	13,8	<b>14,8</b>
Materiał z zawartością 20 % żużłu granulowanego	19,1	<b>19,7</b>	19,8	<b>19,9</b>
Materiał z zawartością 30 % żużłu granulowanego	<b>21,1</b>	20,6	<b>24,4</b>	23,8
Materiał z zawartością 3 % wapna	18,0	<b>20,6</b>	33,5	<b>28,9</b>
Materiał z zawartością 6 % wapna	18,5	<b>19,3</b>	20,4	<b>21,1</b>

ło 14,5. Badanie wskaźnika po czterech dobach nasączenia wodą ma na celu ustalenie wrażliwości badanego materiału na zmiany wilgotności. W celu sprawdzenia wpływu domieszek na poprawę wskaźnika nośności, zastosowano trzy rodzaje domieszek: wapno, popioły lotne oraz żużel granulowany.

Pierwszym rodzajem zastosowanej domieszki były popioły lotne, które dodano w ilości 22% i 12% w stosunku do masy suchej mieszanki kruszywa. Bezpośrednio po zagęszczeniu



Rys. 2. Krzywe penetracji mieszanki 0–63 mm stabilizowanej popiołami lotnymi, bezpośrednio po zagęszczeniu

tak otrzymanych prób wartość wskaźnika nośności wynosiła około 30 i w obydwu przypadkach była ponad dwukrotnie większa od wartości wskaźnika nośności mieszanki podstawowej, a średnio o 55% wyższa od wartości wskaźnika mieszanki stabilizowanej wapnem. Na rysunku 2 przedstawiono krzywe penetracji trzpienia w zagęszczony materiał z dodatkiem popiołów lotnych.

Po czterodobowym nasączeniu próbek w wodzie, wskaźnik nośności zmniejszył się dwukrotnie (do 15), ale jego wartość nadal była o około 20% wyższa od wskaźnika mieszanki w stanie podstawowym. Zastosowane popioły lotne z Elektrociepłowni w Krakowie nie miały właściwości wiążących.

Żużel granulowany był kolejnym rodzajem domieszki. Żużel dodano do materiału podstawowego w ilości 30% i 20% w stosunku do masy kruszywa. Bezpośrednio po zagęszczeniu wskaźnik nośności był niemal dwa razy wyższy od wartości tego wskaźnika otrzymanego dla mieszanki podstawowej o granulacji 0-63 mm. Po czterech dobach moczenia w wodzie mieszanki doziarnionej 30% żużlu wartość wskaźnika wzrosła jeszcze o 15%. Natomiast moczenie materiału zawierającego 20% żużlu granulowanego praktycznie nie spowodowało wzrostu wskaźnika nośności. Z uwagi na występujące w żużlu pory absorpcja wody, która jest wyższa niż dla kruszyw naturalnych, mogła wpłynąć na utrzymującą się niemalże stałą wartość tego wskaźnika.

Przy dodatku wapna, który wynosił kolejno 3% i 6%, uzyskano największy wzrost wskaźnika  $w_{nos}$ . W obydwu przypadkach wzrósł on średnio o 60% osiągając wartość około 20. Po czterodobowym okresie nasączania w wodzie  $w_{nos}$  ponownie wzrósł i dla próbki o zawartości wapna 3% wynosił 33,5, co stanowiło 2,5-krotność wartości tego wskaźnika uzyskanej dla materiału podstawowego. W tabeli 3 zestawiono wyniki oznaczeń wskaźnika nośności badanych prób przy znanym dodatku wapna, z wartościami kryterialnymi dla podłoża dróg wymienionych w normie PN-S-96011:1998 Drogi samochodowe. Stabilizacja gruntów wapnem do celów drogowych [6]. Z zestawienia w tabeli 3 wynika, że wskaźnik nośności kruszywa z zawartością 3% wapna wynoszący 33,5 spełniał wymagania wspomnianej normy w przypadku stabilizacji wapnem górnej warstwy podłoża i wstępnego ulepszenia gruntu przeznaczonego do dalszej stabilizacji.

TABELA 3

**Zestawienie wyników z oznaczenia wskaźnika nośności wnos materiału ulepszanego wapnem, po czterodobowym nasączeniu wodą z wartościami określonymi przez normę PN-S-96011:1998 [6]**

Wartość wskaźnika nośności (CBR) gruntów stabilizowanych wapnem przeznaczonych na			Wartość wskaźnika nośności (CBR) materiału	
górną warstwę ulepszanego podłoża drogi	podbudowę pomocniczą dla dróg o ruchu bardzo lekkim	wstępne ulepszenie gruntów przeznaczonych do dalszej stabilizacji lub na dolne warstwy ulepszanego podłoża	zawierającego 3% wapna	zawierającego 6% wapna
≥ 25	≥ 40	≥ 15	33,5	21,1

#### 4. Wnioski i uwagi końcowe

Przedstawione wyniki badań umożliwiają sformułowanie następujących wniosków:

- badane kruszywo 0–63 mm nie powinno być stosowane jako materiał na podbudowę stabilizowaną mechanicznie ponieważ nie spełnia wszystkich zaleceń określonych przez normę;
- doziarniając materiał podstawowy popiołami oraz żużlem zmienił się jego skład ziarnowy w sposób korzystny — krzywe uziarnienia mieściły się w wymaganym przedziale;
- wskaźnik nośności materiału z domieszką popiołów z EC Kraków po czterech dobach moczenia znacznie zmalał w porównaniu z wartością jaką posiadał bezpośrednio po zagęszczeniu — popioły te nie mają właściwości wiążących;
- ulepszenie mieszanki 0–63 mm domieszkami w każdym przypadku spowodowało wzrost wskaźnika nośności, a w próbce zawierającej 3% wapna wzrost ten wynosił nawet 2,5 razy.

Badania zostały wykonane w ramach pracy dyplomowej jednego z autorów.

#### LITERATURA

- [1] *Kalabińska M. i in.*: Technologia materiałów i nawierzchni drogowych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2003
- [2] *Mazurek J., Wałach D.*: Wpływ domieszek na wskaźnik nośności CBR kruszywa z przepalanej hałdy kopalnianej. XXV ZIMOWA SZKOŁA MECHANIKI GÓROTWORU. Kraków, 2002. s. 485–492
- [3] *Olejnik J.*: Podbudowy z kruszyw o uziarnieniu ciągłym w budownictwie drogowym. 2010. <http://www.pkd.org.pl>
- [4] *Pilat J., Radziszewski P.*: Nawierzchnie asfaltowe. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 2004
- [5] PN-S-06102:1997. Drogi samochodowe. Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie
- [6] PN-S-96011:1998. Drogi samochodowe. Stabilizacja gruntów wapnem do celów drogowych