

*wskaźnik piaskowy, ocena jakości pyłów, mieszanki niezwiązane,
kruszywa stabilizowane mechanicznie*

Michał SIEMIENIUK, Monika ZIĘBA¹

OCENA JAKOŚCI PYŁÓW W KRUSZYWIE. BADANIE WSKAŹNIKA PIASKOWEGO

Producenci kruszyw do podbudów niezwiązanych mają trudności z wyprodukowaniem materiału spełniającego wymagania odnośnie wskaźnika piaskowego. Nie ma znaczenia czy badanie wykonywane jest według wycofanej normy BN-64/8931-01, ale nadal obecnej w licznych specyfikacjach, czy też aktualnego wydania normy europejskiej PN-EN 933-8. W 2012 roku opublikowano nowe wydanie normy do badania wskaźnika piaskowego, w której wprowadzono inny sposób przygotowania próbek dla frakcji 0-2 mm niż w wydaniu z 2001 roku. Głównym celem wykonywanych badań było porównanie wyników uzyskanych dla kruszyw badanych na różnych frakcjach (0-2 mm i 0-4 mm), przy wykorzystaniu roztworów zgodnych z polską i europejską normą oraz przy uwzględnieniu nowego sposobu przygotowania próbki, według ostatniej nowelizacji tej normy.

1. WPROWADZENIE

Kruszywa używane do podbudów niezwiązanych powinny spełniać szereg wymagań, m.in. charakteryzować się odpowiednią zawartością pyłów o określonych właściwościach. Oceny stopnia wysadzinowości materiału (kruszywa), a według nowego nazewnictwa wrażliwości na mróz, dokonuje się na podstawie badania wskaźnika piaskowego, definiowanego jako procentowy udział stosunku objętości frakcji piaskowej (i po części frakcji grubszych) do objętości tych frakcji kruszywa wraz z cząstkami występującymi w formie zawiesiny przygotowanej w sposób określony w normie badawczej. Pośrednio jednak wskaźnik piaskowy określa zawartość frakcji drobniejszych. Największym zagrożeniem dla wykonanej warstwy konstrukcyjnej

¹ TPA Sp. z o.o., Laboratorium Badawcze w Pruszkowie, Pruszków
michal@siemieniuk.pl monika.zieba@tpaqi.com

z kruszywa w nawierzchni drogowej jest zawartość frakcji ilastych, czyli ziaren mających średnicę mniejszą od 0,002 mm, wykazujących tendencję do zatrzymywania wody i zwiększania objętości.

Wymagania normy PN-EN 13242:2013 stanowią, że jakość pyłów powinna być określona, jeżeli ich zawartość w kruszywie o ciągłym uziarnieniu przekracza 3%. Dokonać tego można na podstawie badania wskaźnika piaskowego (norma PN-EN 933-8:2012) lub badania błękitem metylenowym (PN-EN 933-9:2013). Polski dokument techniczny WT-4:2010 dopuszcza jednak tylko pierwszą metodę. W wytycznych technicznych zapisano, że badanie wskaźnika piaskowego należy wykonywać na mieszanke po pięciokrotnym zagęszczeniu metodą Proctora (PN-EN 13286-2). Analogiczny zapis pojawił się również w normie PN-S-06102:1997, w której było odwołanie do badania wskaźnika piaskowego wg BN-64/8931-01. Pomimo tego, że norma branżowa na badanie wskaźnika piaskowego została wycofana – nadal jest przywoływana w wielu specyfikacjach technicznych.

2. WYMAGANIA W POLSCE

Obecnie w kraju funkcjonują równolegle dwa dokumenty, na podstawie których tworzone są specyfikacje techniczne do wykonywania podbudów z kruszyw niezwiązanych.

Pierwszym z nich jest norma PN-S-06102:1997, wg której wymagana wartość wskaźnika piaskowego powinna zawierać się w zakresie 30–70, a samo badanie wykonywane jest wg normy BN-64/8931-01. Badanie to wykonuje się na frakcji 0-4, a uzyskany wynik określa się mianem WP.

Drugim dokumentem, coraz częściej używanym przy tworzeniu specyfikacji technicznych, jest WT-4:2010. Zgodnie z nim wartość wskaźnika piaskowego SE powinna wynosić co najmniej 40 dla podbudowy pomocniczej oraz 45 dla podbudowy zasadniczej. Przywołaną normą na badanie wskaźnika piaskowego jest PN-EN 933-8:2001. Na podstawie obowiązującej normy z 2012 roku badanie to może być wykonywane na frakcji 0-2 (SE(10)) lub na frakcji 0-4 (SE₄).

Aktualnie trwają prace nad Ogólnymi Specyfikacjami Technicznymi (OST). W opracowywanym na zlecenie GDDKiA dokumencie *Specyfikacja techniczna dotycząca wykonania i odbioru robót związanych z wykonywaniem warstw konstrukcyjnych nawierzchni z mieszanek kruszyw niezwiązanych, zagęszczanych mechanicznie* przedstawiono propozycje wymagań wartości wskaźnika piaskowego co najmniej 30 dla podbudowy pomocniczej KR1÷KR4 i podbudowy zasadniczej KR1÷KR2 oraz co najmniej 35 dla podbudowy pomocniczej KR5÷KR7 i podbudowy zasadniczej KR3÷KR7. Badaniem wskazanym w OST jest badanie wskaźnika piaskowego wg normy PN-EN 933-8:2012 na frakcji 0-4 (SE₄).

3. PROGRAM BADAŃ

Głównym celem projektu badawczego prowadzonego w Laboratorium Badawczym TPA w Pruszkowie było określenie korelacji pomiędzy różnymi metodami badawczymi do oceny jakości pyłów, na podstawie badania wskaźnika piaskowego w kruszywach o ciągłym uziarnieniu do podbudów niezwiązanych. Do badań wykorzystano sześć mieszanek 0-31,5 mm (bazalt, dolomit, gablo, granit, melafir i wapień).

3.1. PRZYGOTOWANIE PRÓBEK DO BADAŃ

Dla każdego kruszywa wykonane zostało badanie Proctora (PN-EN 13286-2:2010) w celu określenia maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu kruszywa oraz wilgotności, przy której gęstość ta została osiągnięta. Następnie pięciokrotnie przekruszono drugą próbkę przy uzyskanej wilgotności optymalnej. Przekruszeniu poddano taką ilość materiału, która całkowicie mieściła się w cylindrze podczas zagęszczania. Po podsuszeniu materiał przesiano przez sita o boku oczka kwadratowego #2 mm lub #4 mm.

Roztwór do badania wskaźnika piaskowego przygotowano wg polskiej oraz europejskiej normy. Składniki wykorzystywane do wykonywania roztworu stężonego w obu przypadkach są takie same, różnią się nieznacznie proporcjami. W normie PN-EN-933-8:2012 wprowadzono inny sposób przygotowania próbek o uziarnieniu 0-2 mm, niż w wydaniu z 2001 roku. Badanie wskaźnika piaskowego na frakcji 0-4 mm wg normy z 2001 r. i z 2012 r. wykonywane jest analogicznie.

3.2. PORÓWNANIE ROZTWORÓW DO BADANIA WSKAŹNIKA PIASKOWEGO

Na potrzeby badań dokonano porównania ilości poszczególnych składników potrzebnych do przygotowania roztworów stężonych oraz określenia gęstości roztworów do przemycania w badaniu wskaźnika piaskowego zgodnych z PN-EN 933-8:2012 i BN-64/8931-01. Poszczególne składniki zestawiono w tabeli 1.

Tab. 1. Składniki stężonych roztworów do badania wskaźnika piaskowego

Tab. 1. Components of the concentrated solution for sand equivalent test

Składnik	PN-EN 933-8:2012	BN-64/8931-01
bezwodny chlorek wapnia CaCl_2	111 g	112 g
woda destylowana lub dejonizowana	350 $\pm$ 50 ml	500 cm ³
gliceryna	480 $\pm$ 5 g	510 g
formaldehyd	12,5 $\pm$ 0,5 g	12 g

Roztwór do przemywania powstaje poprzez rozcieńczenie 125 ml roztworu stężonego do objętości 5000 ml przy użyciu wody destylowanej lub demineralizowanej. Gęstości roztworów przedstawiono w tabeli 2.

Tab. 2. Gęstość roztworów do przemywania zgodnych z PN-EN 933-8 oraz BN-64/8931-01

Tab. 2. Density of washing solution according to PN-EN 933-8 and BN-64/8931-01

Gęstość roztworu do przemywania [g/cm ³]					
wg PN-EN 933-8			wg BN-64/8931-01		
1,0032	1,0031	1,0033	1,0024	1,0023	1,0020
$\rho_{sr} = 1,0032$			$\rho_{sr} = 1,0022$		

3.3. WSKAŹNIK PIASKOWY WG PN-EN 933-8:2012 NA FRAKCJI 0-2

W normie PN-EN 933-8:2012 wprowadzono inny sposób przygotowania próbki do badania dla frakcji 0-2 mm niż w normie z 2001 r. Do badania należy wydzielić dwie podróbki tej frakcji. Pierwszą podróbkę należy podzielić na dwie porcje. Jedną waży się, a następnie suszy w temperaturze $110 \pm 5^\circ\text{C}$ do uzyskania stałej masy. Na podstawie różnicy mas pomiędzy materiałem wilgotnym i suchym oblicza się wilgotność (w). Drugą porcję płucze się przez sito 0,063 mm w celu określenia procentowej zawartości pyłów. Z drugiej podróbki wydziela się dwie próbki analityczne. Jeżeli zawartość pyłów w odsianej próbce frakcji 0-2 mm jest większa niż 10%, próbkę analityczną należy doprowadzić do zapylenia 10% poprzez wymieszanie próbki o naturalnej wilgotności oraz próbki przepłukanej i wysuszonej.

4. WYNIKI BADAŃ

Zestawiono wyniki badań wskaźnika piaskowego dla mieszanek różnych kruszyw o frakcji deklarowanej 0-31,5 mm, po 5-krotnym przekruszeniu w aparacie Proctora (tab. 3–8).

W kolumnie „poziom spełnienia wymagań” symbolika oznacza:

„+” – spełnienie wymagania podanego w PN-S-06102,

„+ / +” – spełnienie wymagania podanego w WT-4 dla podbudowy pomocniczej / podbudowy zasadniczej,

„+ / +, + / +” – spełnienie wymagania podanego w OST dla podbudowy pomocniczej KR1÷KR4 / KR5÷KR7, podbudowy zasadniczej KR1÷KR2 / KR3÷KR7

„–” w dowolnym miejscu oznacza niespełnienie wymagań wg określonego dokumentu,

„brak wymagań” – badanie na danej frakcji nie było przewidziane w żadnej normie badawczej. Oznaczenie i badanie wprowadzone na potrzeby programu badawczego; norma BN-64/8931-01 nie przewiduje badania na frakcji 0-2 mm.

Tab. 3. Zestawienie wyników badania wskaźnika piaskowego – bazalt 0-31,5 mm

Tab. 3. Sand equivalent test results – basalt 0-31,5 mm

Lp.	Norma	Oznaczenie	Frakcja [mm]	Wynik	Poziom spełnienia wymagań
1	PN-EN 933-8:2012	SE(10)*	0-2	65	WT-4 (+/+)
2	PN-EN 933-8:2001	SE	0-2	59	WT-4 (+/+)
3	PN-EN 933-8:2001 lub 2012	SE ₄	0-4	65	WT-4 (+/+), OST (+/+,+/+)
4	BN-64/8931-01	WP	0-4	66	+
5	BN-64/8931-01	WP ₂	0-2	58	brak wymagań

* Ilość pyłów określona dla frakcji 0-2 wynosiła 15,0% (dokonano korekcji pyłów do wartości 10%)

Tab. 4. Zestawienie wyników badania wskaźnika piaskowego – dolomit 0-31,5 mm

Tab. 4. Sand equivalent test results – dolomite 0-31,5 mm

Lp.	Norma	Oznaczenie	Frakcja [mm]	Wynik	Poziom spełnienia wymagań
1	PN-EN 933-8:2012	SE(10)*	0-2	46	WT-4 (+/+)
2	PN-EN 933-8:2001	SE	0-2	23	WT-4 (-/-)
3	PN-EN 933-8:2001 lub 2012	SE ₄	0-4	30	WT-4 (-/-), OST (+/-, +/-)
4	BN-64/8931-01	WP	0-4	30	+
5	BN-64/8931-01	WP ₂	0-2	22	brak wymagań

* Ilość pyłów określona dla frakcji 0-2 wynosiła 25,1% (dokonano korekcji pyłów do wartości 10%)

Tab. 5. Zestawienie wyników badania wskaźnika piaskowego – gabbro 0-31,5 mm

Tab. 5. Sand equivalent test results – gabbro 0-31,5 mm

Lp.	Norma	Oznaczenie	Frakcja [mm]	Wynik	Poziom spełnienia wymagań
1	PN-EN 933-8:2012	SE(10)*	0-2	46	WT-4 (+/+)
2	PN-EN 933-8:2001	SE	0-2	20	WT-4 (-/-)
3	PN-EN 933-8:2001 lub 2012	SE ₄	0-4	27	WT-4 (-/-), OST (-/-, -/-)
4	BN-64/8931-01	WP	0-4	30	+
5	BN-64/8931-01	WP ₂	0-2	22	brak wymagań

* Ilość pyłów określona dla frakcji 0-2 wynosiła 27,2% (dokonano korekcji pyłów do wartości 10%)

Tab. 6. Zestawienie wyników badania wskaźnika piaskowego – granit 0-31,5 mm
 Tab. 6. Sand equivalent test results – granite 0-31,5 mm

Lp.	Norma	Oznaczenie	Frakcja [mm]	Wynik	Poziom spełnienia wymagań
1	PN-EN 933-8:2012	SE(10)*	0-2	53	WT-4 (+/+)
2	PN-EN 933-8:2001	SE	0-2	38	WT-4 (-/-)
3	PN-EN 933-8:2001 lub 2012	SE ₄	0-4	45	WT-4 (+/+), OST (+/+, +/+)
4	BN-64/8931-01	WP	0-4	42	+
5	BN-64/8931-01	WP ₂	0-2	36	brak wymagań

* Ilość pyłów określona dla frakcji 0-2 wynosiła 16,9% (dokonano korekcji pyłów do wartości 10%)

Tab. 7. Zestawienie wyników badania wskaźnika piaskowego – melafir 0-31,5 mm
 Tab. 7. Sand equivalent test results – melaphyre 0-31,5 mm

Lp.	Norma	Oznaczenie	Frakcja [mm]	Wynik	Poziom spełnienia wymagań
1	PN-EN 933-8:2012	SE(10)*	0-2	53	WT-4 (+/+)
2	PN-EN 933-8:2001	SE	0-2	31	WT-4 (-/-)
3	PN-EN 933-8:2001 lub 2012	SE ₄	0-4	44	WT-4 (+/-), OST (+/+, +/+)
4	BN-64/8931-01	WP	0-4	45	+
5	BN-64/8931-01	WP ₂	0-2	34	brak wymagań

* Ilość pyłów określona dla frakcji 0-2 wynosiła 17,8% (dokonano korekcji pyłów do wartości 10%).

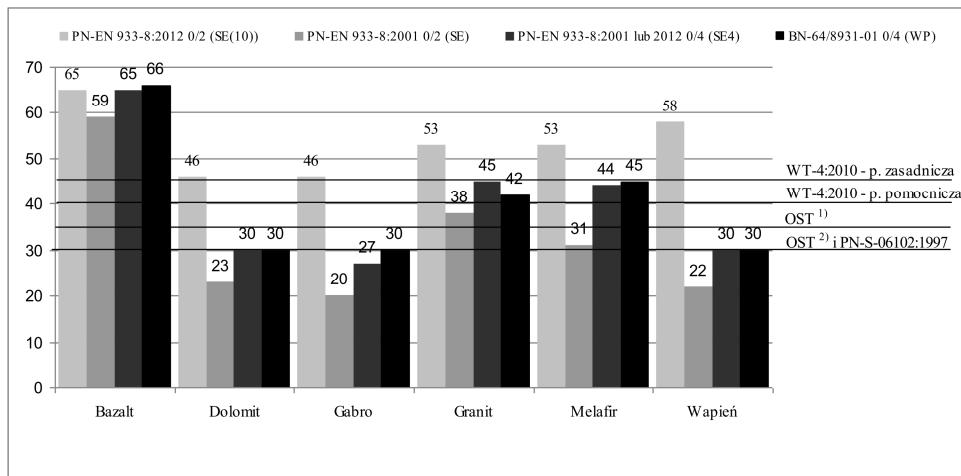
Tab. 8. Zestawienie wyników badania wskaźnika piaskowego – wapień 0-31,5 mm
 Tab. 8. Sand equivalent test results – limestone 0-31,5 mm

Lp.	Norma	Oznaczenie	Frakcja [mm]	Wynik	Poziom spełnienia wymagań
1	PN-EN 933-8:2012	SE(10)*	0-2	58	WT-4 (+/+)
2	PN-EN 933-8:2001	SE	0-2	22	WT-4 (-/-)
3	PN-EN 933-8:2001 lub 2012	SE ₄	0-4	30	WT-4 (-/-), OST (+/-, +/-)
4	BN-64/8931-01	WP	0-4	30	+
5	BN-64/8931-01	WP ₂	0-2	22	brak wymagań

* Ilość pyłów określona dla frakcji 0-2 wynosiła 30,0% (dokonano korekcji pyłów do wartości 10%)

5. PODSUMOWANIE WYNIKÓW BADAŃ

Na wykresie 1 zestawiono wyniki badań wskaźnika piaskowego wg normy PN-EN 933-8 (różne wydania) oraz normy BN-64/8931-01



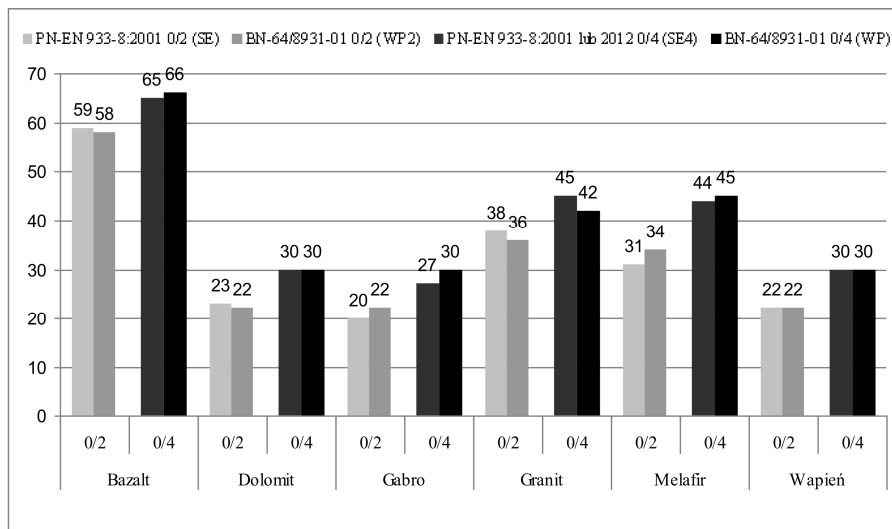
Wykres 1. Wyniki badania wskaźnika piaskowego i wymagania norm PN-S 06102:1997, WT-4:2010 i OST
 OST¹⁾ – podbudowa pomocnicza KR5 : KR7, podbudowa zasadnicza KR3 : KR7
 OST²⁾ – podbudowa pomocnicza KR1 ÷ KR4, podbudowa zasadnicza KR1 ÷ KR2
 Graph 1. Summary sand equivalent test results compared with PN-S 06102:1997, WT-4:2010 or OST requirements

Najwyższe wymagania odnośnie wartości wskaźnika piaskowego zostały określone w WT-4:2010. Wymagania do podbudowy pomocniczej i zasadniczej spełniają wszystkie materiały przebadane na frakcji 0-2 mm z korektą ilości pyłów (SE(10)). W badaniu na frakcji 0-4 mm (SE₄) uzyskano wynik pozytywny tylko dla bazaltu i granitu w przypadku podbudowy zasadniczej oraz dodatkowo dla melafiru w zastosowaniu do podbudowy pomocniczej. Wymagana wartość wskaźnika piaskowego wg WT-4:2010 w przypadku badania wykonanego wg normy PN-EN 933-8:2001 na frakcji 0-2 mm (SE) jest spełniona tylko dla bazaltu.

Tylko dla gabra nie uzyskano wymaganej wartości wskaźnika piaskowego zaproponowanej w OST. Pozostałe materiały mogą być zastosowane do wybranych warstw oraz kategorii, gdzie ustalono wartość SE₄ na co najmniej 30 (wapień oraz dolomit) lub bez ograniczeń w przypadku spełnienia warunku SE₄ ≥ 35 (bazalt, granit, melafir).

Wartość wskaźnika piaskowego, badanego wg BN-64/8931-01, wymagana w normie PN-S-06102:1997 została uzyskana dla wszystkich materiałów.

Na wykresie 2 przedstawiono porównanie wyników uzyskanych dla roztworów zgodnych z PN-EN 933-8 oraz BN-64/8931-01.



Wykres 2. Porównanie wyników badań dla roztworów zgodnych z PN-EN 933-8 i BN-64/8931-01
 Graph 2. Comparison of results for solution according to PN-EN 933-8 and BN-64/8931-01

6. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań wskaźnika piaskowego wg różnych norm z użyciem frakcji 0-2 mm oraz 0-4 mm i różnych roztworów do badania, można wyciągnąć następujące wnioski:

- Najwyższe wyniki badań uzyskano w przypadku wykonywania badania wg PN-EN 933-8:2012 – oznaczenie SE(10). Dla frakcji 0-2 mm w każdym z przypadków ilość pyłów przekraczała znacznie wartość 10% (nawet trzykrotnie dla wapienia). Na podstawie normy PN-EN 933-8:2012 konieczne jest wykonanie korekcji do ilości pyłów równej 10%. Wyniki zestawione na wykresie 1 w porównaniu ze starym wydaniem normy PN-EN 933-8:2001 dają nawet dwukrotną zmianę wartości (gabbro, dolomit, wapień).
- Wyniki badania wskaźnika piaskowego wykonanego na różnych frakcjach (0-2 mm lub 0-4 mm) dają inne wartości. W badaniu wykonanym wg PN-EN 933-8:2001 na frakcji 0-2 otrzymujemy niższe wartości niż w badaniu dla frakcji 0-4. Zależność ta jest odwrotna w przypadku wykonywania badań wg aktualnego wydania normy PN-EN 933-8:2012.
- Wyniki uzyskane dla roztworów zgodnych z normami BN-64/8931-01 i PN-EN 933-8:2012 są zbliżone. W trakcie programu badawczego określono gęstość

roztworów przygotowanych wg obu norm. Różnica w gęstościach jest na poziomie 0,1%. W obu przypadkach do przygotowania roztworów stężonych używa się takich samych składników, ale w nieco innych proporcjach.

- Wymagania określone w dokumencie WT-4 2010 są zawyżone w stosunku do wymagań obowiązujących od wielu lat w Polsce, co znacznie ogranicza potencjalną bazę materiałów kamiennych. Zostało to skorygowane w projekcie OST, co będzie skutkowało możliwością używania materiałów, które na podstawie wieloletnich doświadczeń są stosowane do budowy warstw podbudów nawierzchni drogowych.

LITERATURA

BN-64/8931-01, *Drogi samochodowe. Oznaczanie wskaźnika piaskowego.*

PN-EN 933-8:2001, *Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Część 8: Ocena zawartości drobnych cząstek. Badanie wskaźnika piaskowego.*

PN-EN 933-8:2012, *Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Część 8: Ocena zawartości drobnych cząstek. Badanie wskaźnika piaskowego.*

PN-EN 933-9:2013, *Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Część 9: Ocena zawartości drobnych cząstek. Badanie błękitem metylenowym.*

PN-EN 13242:2013, *Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym.*

PN-EN 13286-2:2010, *Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym. Część 2: Metody określania gęstości w odniesieniu do zawartości wody – Zagęszczanie metodą Proctora.*

PN-S-06102:1997, *Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie.*

PROJEKT OST, *Specyfikacja techniczna dotycząca wykonania i odbioru robót związanych z wykonywaniem warstw konstrukcyjnych nawierzchni z mieszanek kruszyw niezwiązanych, zagęszczanych mechanicznie.*

WYMAGANIA TECHNICZNE, *Mieszanki niezwiązane do dróg krajowych*, WT-4, 2010, GDDKIA, Warszawa.

ESTIMATION OF STONE DUST QUALITY UPON SAND EQUIVALENT TEST

The main aim of project was correlation between different methods used for estimation of stone dust quality in unbound aggregate mixtures for road subbases. The program builds on the six unbound mixtures 0-31,5 (basalt, dolomite, gabbro, granite, melaphyre and limestone). Sand equivalent test was executed on the fractions 0-2 mm and 0-4 mm after five times crumbling in Proctor apparatus. The solution for sand equivalent test will be prepared according to Polish and European standards (reagents used for preparation of concentrated solution are the same in both cases, but there are different proportions). On this basis it can be concluded if both test (according to PN and PN-EN) give similar results. In many of the technical specifications, the sand equivalent test is still required according to old Polish standard, which has been replaced by PN-EN. In PN-EN 933-8:2012 there is another method of preparation of the sample than in 2001 edition.