

RAFAŁ PIECH

Laboratorium  
Inżynierii Lądowej  
Labotest Sp. z o.o.



JADWIGA WILCZEK

Instytut Badawczy  
Dróg i Mostów  
jwilczek@ibdim.edu.pl



CEZARY KRASZEWSKI

Instytut Badawczy  
Dróg i Mostów  
ckraszewski@ibdim.edu.pl

## Ocena zawartości drobnych cząstek w kruszywach drogowych na podstawie wskaźnika piaskowego

Jednym z kryteriów oceny wrażliwości gruntów i kruszyw na oddziaływanie mrozu w budownictwie drogowym jest wskaźnik piaskowy. W przypadku gruntów, właściwość tę nazywamy wysadzinowością, natomiast odnośnie kruszyw mówimy o ocenie pyłów. Wskaźnik piaskowy jest to procentowy stosunek objętości ziaren gruntu lub kruszywa (osadu) do objętości tych frakcji wraz z cząstkami występującymi w formie zawiesiny przygotowanej w sposób określony normą [1], [2], [3].

Wskaźnik piaskowy w zasadzie określa zawartość frakcji piaskowej i częściowo żwirowej, pośrednio określa również zawartość frakcji drobniejszych w badanej próbce i charakteryzuje materiał pod względem podatności na oddziaływanie mrozu. Wartość wskaźnika piaskowego uzależniona jest bezpośrednio od składu ziarnowego badanego materiału. Według przyjętej w Polsce terminologii, zgodnie z normą [3], wskaźnik piaskowy określa zawartość drobnych cząstek w kruszywie, chociaż z bezpośredniego tłumacze-

nia tytułu tejże normy wynika, że chodzi o ocenę pyłów. Dotychczas oznaczanie wskaźnika piaskowego  $WP$  dotyczyło zarówno gruntów, jak i kruszyw i było wykonywane wg normy BN-64/8931-01 [2]. Wprowadzona w 2001 r., a następnie zmodyfikowana w 2012 r. norma PN-EN 933-8 [3] dotyczy oznaczania wskaźnika piaskowego  $SE$  wyłącznie dla kruszyw. Normy dotyczącej oznaczania wskaźnika piaskowego dla gruntów w normalizacji europejskiej dotychczas brak.

W związku z tym powstaje problem przyjęcia właściwej metodyki i interpretacji badań do oznaczania wskaźnika piaskowego, zarówno dla gruntów, jak i kruszyw.

W wydanych w 2014 r. katalogach nawierzchni [5] i [6] oznaczanie wskaźnika piaskowego ( $WP$ ) jako kryterium wysadzinowości gruntów przyjęto zgodnie z normą BN-64/8931-01 [2]. W tych samych katalogach zastosowano również oznaczenie  $SE$  wg normy PN-EN 933-8 [3], odnoszące się do wskaźnika piaskowego dla kruszyw, nie precyzując dokładnie, o który wskaźnik  $SE$  chodzi.

Wprowadzona bowiem w 2012 r. zmiana do normy [3] wyróżnia dwie metody oznaczania wskaźnika piaskowego:  $SE(10)$  – dla próbek przesianych przez sito 2 mm i  $SE_4$  – dla

próbek przesianych przez sito 4 mm. Norma nie precyzuje kiedy należy stosować metodę oznaczania wskaźnika piaskowego  $SE(10)$ , a kiedy  $SE_4$ .

### Krajowe kryteria podatności na mróz gruntów i kruszyw na podstawie wskaźnika piaskowego

W drogownictwie wskaźnik piaskowy stosuje zarówno dla gruntów, jak i kruszyw (mieszanek). Szczególnie, wskaźnik piaskowy jest używany do określania podatności materiałów niespoistych lub małospoistych na działanie mrozu.

Obecnie w Polsce funkcjonuje kilka dokumentów (katalogi, normy, wymagania techniczne WT, ogólne specyfikacje techniczne – OST), w których podano wymagania, co do wartości wskaźnika piaskowego ( $WP$  lub  $SE$ ) wg starych i nowych norm. Wymagania te w kilku przypadkach są ze sobą sprzeczne. Wg katalogów [5] i [6] dla gruntów stosowany jest wskaźnik piaskowy  $WP$  badany wg normy BN-64/8931-01. Wartością wskaźnika piaskowego określającą grunt niewysadzinowy jest  $WP > 35$ .

Dla mieszanek niezwiązanych w podbudowach wg normy PN-S-06102 [7] wartość wskaźnika piaskowego powinna zawierać się w zakresie  $WP = 30 \div 70$ , oznaczanego wg starej normy branżowej [2]. Wg Wymagań Technicznych WT-4 [8] dla mieszanek kruszyw niezwiązanych przyjęto wartości  $SE = 40$  dla podbudów pomocniczych i  $SE = 45$  dla podbudów zasadniczych, oznaczając wskaźnik piaskowy wg normy PN-EN 933-8 z 2001 r. Ostatnim, najbardziej aktualnym dokumentem jest Ogólna Specyfikacja Techniczna (OST) [9], w którym podczas prac nad jej projektem uwzględniono już różnice w przygotowywaniu próbek do badań wskaźnika piaskowego. Ostatecznie w OST dla mieszanek kruszyw przyjęto wskaźnik piaskowy oznaczany na frakcji 0/4 mm ( $SE_4$ ) o wartości min. 35.

Przyjęcie takiej wartości jest rozsądne, biorąc pod uwagę dotychczasowe kryteria wysadzinowości ( $WP > 35$ ) dla gruntów oraz metodykę badania  $WP$  i  $SE_4$  przedstawioną w dalszej części artykułu.

### Metoda oznaczania wskaźnika piaskowego

Ogólnie sposób oznaczania wskaźnika piaskowego  $WP$  zarówno dla gruntów i kruszyw według polskiej normy branżowej BN-64/8931-01 [2], jak i oznaczania  $SE$  według normy europejskiej PN-EN 933-8 [3] jest podobny.

Odpowiednio przygotowaną próbkę materiału z niewielką ilością roztworu flokulacyjnego przenosi się do cylindra z podziałką i miesza w celu usunięcia otoczek gliniastych z grub-

szych ziaren w próbce analitycznej. Następnie z użyciem dodatkowej porcji roztworu flokulacyjnego, kruszywo jest przemywane, w wyniku czego drobne cząstki przenoszą się do zawiesiny. Po ustalonym czasie wartość wskaźnika piaskowego jest obliczana jako wysokość osadu, wyrażona w procentach, całkowitej wysokości osadu i zawiesiny.

Norma Europejska zmodyfikowała skład roztworu flokulacyjnego, ale w sposób nieznaczny. W normie branżowej BN-64/8931-01 [2] próbka przygotowywana była poprzez odsianie materiału na sicie o wymiarze oczka okrągłego 5 mm i przy wilgotności zbliżonej do naturalnej. W Normie Europejskiej PN-EN 933-8 [3] próbka jest przygotowywana przez odsianie materiału na sicie o wymiarach oczka kwadratowego #2 mm do oznaczenia wskaźnika piaskowego  $SE(10)$ , przy wilgotności mniejszej niż 2%, lub na sicie #4 mm ( $SE_4$ ), przy wilgotności mniejszej niż 8%(m/m). Wyjątek stanowią czwartorzędowe polodowcowe osady rzeczne (np. z basenu Morza Bałtyckiego), dla których wilgotność próbki powinna wynosić 5%(m/m).

## Zasadnicze różnice w oznaczaniu $SE(10)$ i $SE_4$

Różnice w oznaczaniu  $SE(10)$  i  $SE_4$  w normie PN-EN 933-8 z 2012 r. polegają zasadniczo na sposobie przygotowywania próbek. Dotyczy to przypadków, gdy zawartość frakcji poniżej 0,063 mm materiału frakcji 0/2 mm jest większa niż 10%(m/m). Przy mniejszej zawartości pyłów, próbki do oznaczenia  $SE(10)$  i  $SE_4$  przygotowuje się tak samo, przesiewając kruszywo odpowiednio przez sito 2 lub 4 mm, a wyniki oznaczeń są zbliżone. Natomiast w przypadku zawartości frakcji pyłów (0,063 mm) większej od 10%(m/m) w materiale frakcji 0/2mm należy do przygotowanej próbki dodać kruszywo korygujące w celu zredukowania ilości pyłów do 10%(m/m). Oznacza to, że wskaźnik  $SE(10)$  dla kruszyw o zawartości pyłów większej od 10%(m/m) jest zawsze wskaźnikiem dla kruszywa o zawartości pyłów równej 10%(m/m), co potwierdziły przedstawione w dalszej części artykułu badania. Ta sama norma PN-EN 933-8, ale z roku 2001 nie definiowała zawartości pyłów, co oznaczało zupełnie inny wynik badania w porównaniu do obecnie obowiązującej normy z roku 2012.

## Wyniki badań laboratoryjnych

Badania laboratoryjne wykonano w celu porównania wyników oznaczeń wskaźników piaskowych  $SE(10)$  i  $SE_4$  oraz do-

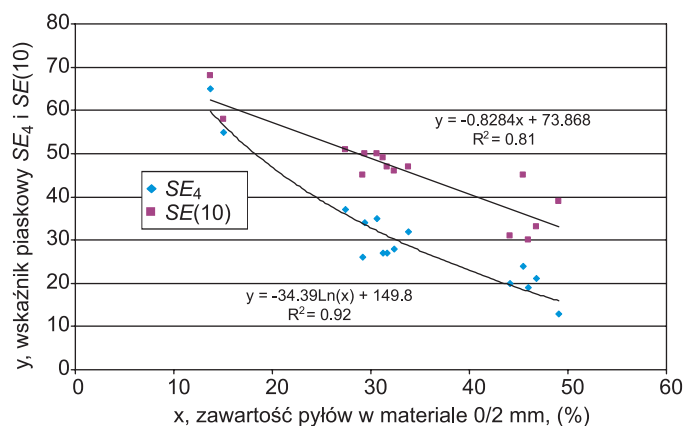
konania analizy zależności wartości wskaźnika piaskowego  $SE(10)$  od zawartości pyłów w kruszywie.

Dla porównania wyników oznaczeń wskaźników piaskowych  $SE(10)$  i  $SE_4$  do badań laboratoryjnych wybrano różne mieszanki kruszyw naturalnych (dolomit, wapień) i sztucznych (łupek przywęglowy, żużel stalowniczy) o zawartości pyłów większej od 10%(m/m). Badane mieszanki kruszyw posiadały różne zawartości pyłów, wynoszące ok. 15%(m/m), 30%(m/m) i 50%(m/m) w materiale 0/2 mm. Łącznie zbadano 14 mieszanek kruszyw.

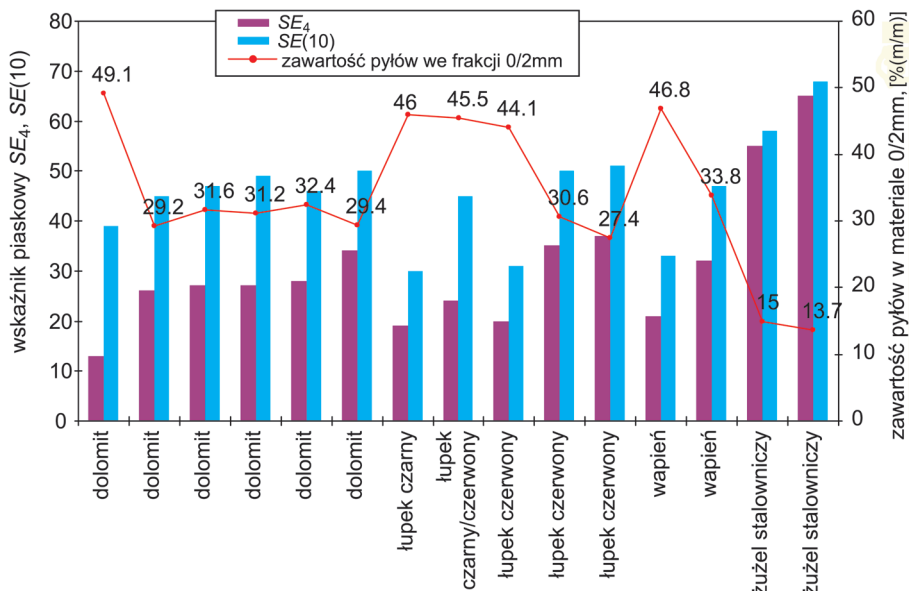
Zestawienie wyników badań przedstawiono w tabeli nr 1 oraz na rys. nr 1.

Tabela 1. Wyniki oznaczeń wartości wskaźników piaskowych  $SE_4$  i  $SE(10)$  dla różnych rodzajów mieszanek kruszyw

Rodzaj kruszywa	Zawartość frakcji < 0,063 mm w kruszywie, [% (m/m)]	Zawartość frakcji < 0,063 mm we frakcji 0/2 mm, [% (m/m)]	$SE_4$	$SE(10)$	Różnica, [%]
kruszywo łamane dolomitowe 0/11	37,5	49,1	13	39	200.0
kruszywo z łupka nieprzpalonego – czarnego 0/63	18,9	46	19	30	57.9
kruszywo z łupka przpalonego – czerwonego 0/31,5	25,4	44,1	20	31	55.0
kruszywo łamane wapienne 0/31,5	18,9	46,8	21	33	57.1
mieszanka kruszyw z łupka czarnego i czerwonego 0/63	13	45,5	24	45	87.5
kruszywo łamane dolomitowe 0/31,5	9,2	29,2	26	45	73.1
kruszywo łamane dolomitowe 0/31,5	9,1	31,6	27	47	74.1
kruszywo łamane dolomitowe 0/16	24,9	31,2	27	49	81.5
kruszywo łamane dolomitowe 0/31,5	6,9	32,4	28	46	64.3
kruszywo łamane wapienne 0/31,5	10,1	33,8	32	47	46.9
kruszywo łamane dolomitowe 0/31,5	8,6	29,4	34	50	47.1
kruszywo z łupka czerwonego 0/63	5,2	30,6	35	50	42.9
kruszywo z łupka czerwonego 0/8	23,2	27,4	37	51	37.8
kruszywo z żużla stalowniczego 0/11	10,4	15	55	58	5.5
kruszywo z żużla stalowniczego 0/16	8,4	13,7	65	68	4.6



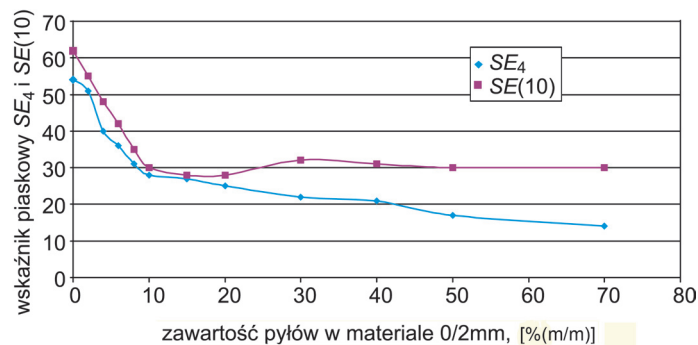
Rys. 1. Wyniki oznaczeń wartości wskaźników piaskowych  $SE_4$  i  $SE(10)$  w zależności od zawartości pyłów dla różnych kruszyw pod względem rodzaju



Rys. 2. Wyniki oznaczeń wartości wskaźników piaskowych SE<sub>4</sub> i SE(10) i zawartości pyłów dla mieszanek pogrupowanych wg rodzaju skały

Próbki do określenia zależności wartości wskaźnika piaskowego SE(10) od zawartości pyłów na przykładzie wybranego kruszywa przygotowano w następujący sposób:

- próbkę laboratoryjną kruszywa z czerwonego łupka przepalonego o uziarnieniu 0/8 podzielono na trzy części,
- pierwszą część próbki odsiano „na sucho” na sicie 0,063 mm w celu uzyskania odpowiedniej ilości frakcji pyłowej 0/0,063 do dalszego „doziarniania” kruszywa,
- drugą część próbki przesiano przez sito 2 mm, a następnie przemyto na sicie 0,063 mm, w celu uzyskania kruszywa korygującego,
- trzecią część próbki przesiano przez sito 2 mm, przemyto na sicie 0,063 mm i podzielono na 12 próbek analitycznych, przeznaczonych do oznaczania wartości wskaźnika piaskowego SE(10),



Rys. 3. Wyniki oznaczeń wartości wskaźników piaskowych SE<sub>4</sub> i SE(10) na przykładzie kruszywa z łupka przepalonego 0/8 mm o różnej zawartości pyłów

Tabela 2. Wyniki oznaczeń wartości wskaźników piaskowych SE<sub>4</sub> i SE(10) na przykładzie jednego kruszywa o różnej zawartości pyłów

Rodzaj kruszywa	Zawartość frakcji < 0,063 mm w kruszywie, [%(m/m)]	Zawartość frakcji < 0,063 mm we frakcji 0/2 mm, [%(m/m)]	SE <sub>4</sub>	SE(10)	Różnica, [%]
Kruszywo z łupka przepalonego 0/8 mm	0	0	54	62	14.8
	1	2	51	55	7.8
	1,9	4	40	48	20.0
	2,9	6	36	42	16.7
	3,8	8	31	35	12.9
	4,8	10	28	30	7.1
	7,2	15	27	28	3.7
	9,6	20	25	28	12.0
	14,4	30	22	32	45.5
	19,2	40	21	31	47.6
	24	50	17	30	76.5
	33,7	70	14	30	114.3

## Analiza wyników badań

W przypadku mieszanek z różnych kruszyw pod względem rodzaju skały, przy zawartości pyłów większej od 10%(m/m) (w materiale 0/2mm) zauważa się znaczne różnice w wartościach wskaźników piaskowych SE<sub>4</sub> i SE(10) dla tych samych mieszanek (tab. 1).

Dostrzega się zależność – im większa zawartość pyłów, tym większe występują różnice w oznaczonych wartościach SE<sub>4</sub> i SE(10) z zasadą, że wartość SE(10) w każdym przypadku jest większa od wartości SE<sub>4</sub> (rys. 1). W przypadku niskiej zawartości pyłów, ok. 15%(m/m) obserwuje się niewielkie różnice w wartościach SE<sub>4</sub> i SE(10) do 5%(m/m). Przy większej zawartości py-

tów, 30 i 50%(m/m) różnica ta wynosi nawet 200%, wyliczona wg formuły:  $SE(10) - SE_4 / SE_4 \times 100$ .

Analiza wyników badań przedstawionych na rys. 1 i 2 pozwala na stwierdzenie, że wartość wskaźnika piaskowego  $SE_4$  i  $SE(10)$  wynika bezpośrednio z zawartości pyłów w mieszance. Zależność  $SE(10)$  od zawartości pyłów jest funkcją liniową o współczynniku determinacji  $R^2=0,81$ , natomiast dla  $SE_4$  uzyskano zależność logarymiczną o  $R^2=0,92$ .

Mieszanki o zbliżonej zawartości pyłów, ale z różnych skał, mogą wykazywać różnice w oznaczanych wartościach wskaźnika piaskowego (rys. 2).

Przykładem tego są wyniki badań kruszywa dolomitowego, kruszywa z tępka czerwonego i wapienia. Przy praktycznie takiej samej zawartości pyłów ok. 30%(m/m) wartości wskaźnika piaskowego różnią się w zależności od rodzaju skały, przy czym najniższe wartości wskaźnika piaskowego oznaczono w przypadku kruszywa dolomitowego. Zauważyć należy, że większe zróżnicowanie w wynikach, przy zbliżonej zawartości pyłów obserwuje się w przypadku badania  $SE_4$ , w przypadku  $SE(10)$  różnice są znacznie mniejsze, biorąc pod uwagę rodzaj skały. Wyjaśnienie tej kwestii wymagałoby przeprowadzenia szerszych badań, na większej ilości kruszyw pod względem pochodzenia i rodzaju skały, gdyż na wynik badania może mieć wpływ również skład mineralny kruszywa.

W przypadku wybranej do analiz mieszanki kruszywa 0/8 mm (łupek przepalony), dla której oznaczenia wykonywane były przy zawartości pyłów od 0 do 70%(m/m) we frakcji 0/2 mm (rys. 3), zauważono również różnice w wartościach oznaczanych wskaźników  $SE_4$  i  $SE(10)$ , podobnie jak w badaniach 15 różnych kruszyw. Wartość  $SE(10)$  jest w każdym przypadku wyższa niż  $SE_4$  z zasadą, czym mniejsza zawartość pyłów w materiale tym wartości wskaźnika piaskowego  $SE_4$  i  $SE(10)$  są do siebie bardziej zbliżone.

Przy zawartości pyłów do 15% różnice pomiędzy wartościami  $SE_4$  i  $SE(10)$  wynoszą do 20%(m/m), natomiast wyraźnie zwiększa się ta różnica dla większych zawartości pyłów (rys. 3). Przy czym im większa zawartość pyłów, tym większa różnica pomiędzy wartościami  $SE_4$  i  $SE(10)$ . Przy zawartości pyłów we frakcji 0/2 równej 70%(m/m), wartość wskaźnika  $SE(10)$  jest nawet ponad dwukrotnie większa od wartości wskaźnika  $SE_4$  (114%). Jest to rezultat korygowania uziarnienia próbek zawierających powyżej 10%(m/m) pyłów, jak przewidziano w procedurze badania  $SE(10)$ . W rezultacie tej korekty wskaźnik  $SE(10)$  oznaczany jest w kruszywie zawierającym co najwyżej 10%(m/m) pyłów, a nie jak  $SE_4$ , na kruszywie z rzeczywistą zawartością pyłów.

## Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań oraz ich analiza pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

- Pomimo tego, że norma PN-EN 933-8:2012 [3] nie podaje informacji kiedy należy zastosować procedurę oznaczania wskaźnika piaskowego  $SE_4$ , a kiedy  $SE(10)$ , nie można tych metod traktować alternatywnie.
- Bardzo duże różnice w wartościach wskaźników piaskowych  $SE_4$  i  $SE(10)$  dla kruszyw o zawartości pyłów powyżej 10%(m/m) we frakcji 0/2 mm nie pozwalają na ocenę wrażliwości na mróz tych kruszyw na podstawie wartości  $SE(10)$ .

- Praktycznie wskaźnik  $SE(10)$  jest zawsze oznaczeniem wskaźnika piaskowego dla kruszywa o zawartości pyłów  $\leq 10\%$ , niezależnie od ich rzeczywistej zawartości.
- Ocena wrażliwości na mróz kruszyw na podstawie wskaźnika  $SE(10)$  może prowadzić do bardzo poważnych konsekwencji wykonawczych.
- Mieszanki o zbliżonej zawartości pyłów, lecz pochodzące z różnych skał mogą wykazywać różnice w oznaczanych wartościach wskaźnika piaskowego; większe różnice stwierdzono w wynikach badań  $SE_4$ , mniejsze w przypadku oznaczania  $SE(10)$ .
- Procedura badania wskaźnika piaskowego  $SE_4$  wg PN-EN 933-8 jest analogiczna do dotychczas stosowanej w Polsce metody oznaczania wskaźnika piaskowego  $WP$  na podstawie normy BN64/ 8931-01 [2]. Przemawia to za przyjęciem  $SE_4$  do oceny zarówno gruntów, jak i kruszyw w Polsce, co będzie zbliżone do dotychczasowej praktyki i kryteriów oceny.

## Bibliografia

- [1] Z. Witul „Zarys geotechniki” WKŁ Warszawa 1976, 2003
- [2] BN64/ 8931-01 Drogi samochodowe. Oznaczanie wskaźnika piaskowego
- [3] PN-EN 933-8:2001 i 2012 Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Ocena zawartości drobnych cząstek. Badanie wskaźnika piaskowego (oryg.)
- [4] PN-EN 13242:2004 Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym
- [5] Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych Załącznik do zarządzenia Nr 31 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16.06.2014 r.
- [6] Katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych, Załącznik do zarządzenia Nr 30 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16.06.2014 r.
- [7] PN-S-06102:1997 Drogi samochodowe. Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie.
- [8] Mieszanki niezwiązane do dróg krajowych WT-4. Wymagania techniczne 2010 Załącznik Nr 3 do Zarządzenia Nr 102 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 19 listopada 2010 r.
- [9] Ogólne Specyfikacje Techniczne (OST). Warstwy konstrukcyjne nawierzchni z mieszanek kruszywa niezwiązanych zagęszczanych mechanicznie – 2014 r. GDDKiA

## Z serwisu GDDKiA

### Rozpoczął się Generalny Pomiar Ruchu 2015

22 stycznia br. rozpoczął się Generalny Pomiar Ruchu (GPR 2015) na wszystkich drogach krajowych zarządzanych przez GDDKiA (oraz wojewódzkich – *dopisek TS*), który jest realizowany cyklicznie co 5 lat. Wyniki generalnych pomiarów ruchu są podstawowym źródłem informacji o ruchu drogowym w Polsce i wykorzystywane są m.in. do podejmowania decyzji o budowie nowych dróg, przebudowie istniejących, czy opracowywania projektów drogowych, projektów organizacji ruchu, a także przez inne instytucje w realizowanych przez nie zadaniach, m.in. policję, samorządy, GITD, GUS, uczelnie, jednostki naukowe.

Natężenie ruchu drogowego na drogach krajowych będzie mierzone w wybranych dniach stycznia, marca, maja, lipca, sierpnia, października i grudnia na 1954 odcinkach pomiarowych, w ramach pomiarów 16-godzinnych (6.00–22.00) lub 24-godzinnych (od 6.00 do 6.00 dnia następnego). Tegoroczny pomiar natężenia ruchu będzie wykonywany w sposób ręczny i automatyczny, przy jednoczesnym dużym wykorzystaniu kamer video. W ponad 1,5 tys. punktach na odcinkach pomiarowych obserwatorzy będą mierzyli natężenie ruchu ręcznie. Liczba obserwatorów uczestniczących w pomiarze każdego dnia pomiarowego wyniesie od 10 do 15 tys. osób, czyli ok. 5 tys. obserwatorów na zmianę.

Osoby dokonujące pomiaru będą zapisywać pojazdy przejeżdżające drogą z podziałem na: motocykle, samochody osobowe, lekkie samochody dostawcze, samochody ciężarowe bez przyczep, samochody ciężarowe z przyczepami lub naczepami, autobusy i ciągniki rolnicze oraz rowery.

Wyniki Generalnego Pomiaru Ruchu 2015 roku zostaną opublikowane w przyszłym roku.

Opracował: TS