

# Korelacje pomiędzy wytrzymałościami na ściskanie i rozciąganie dla betonów do nawierzchni dwuwarstwowych z eksponowanym kruszywem

Małgorzata Konopska-Piechurska<sup>1</sup>, Wioletta Jackiewicz-Rek<sup>2</sup>,  
Paweł Łukowski<sup>3</sup>

<sup>1</sup> TPA Sp. z o.o., Laboratorium badawcze w Pruszkowie,  
e-mail: malgorzata.konopska-piechurskai@tpaqi.com

<sup>2,3</sup> Politechnika Warszawska, e-mail: <sup>1</sup>w.jackiewicz-rek@il.pw.edu.pl, <sup>2</sup>p.lukowski@il.pw.edu.pl

**Streszczenie:** W referacie przedstawiono wyniki badań betonów stosowanych do nawierzchni dwuwarstwowych z eksponowanym kruszywem. Przeprowadzono badania wytrzymałościowe: wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na zginanie metodą obciążenia dwupunktowego oraz metodą obciążenia centrycznego (jednopunktowego), wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu na próbkach sześciennych oraz próbkach cylindrycznych. Badania wykonano dla dwóch betonów o maksymalnym nominalnym górnym wymiarze ziarn kruszywa  $D_{max}$  8 mm (beton stosowany do górnej warstwy nawierzchni betonowej - GWB) oraz  $D_{max}$  22 mm (beton używany do dolnej warstwy - DWB). Po analizie wykonanych badań ustalono korelacje pomiędzy wytrzymałością na ściskanie a wytrzymałością na rozciąganie określoną metodą wytrzymałości na zginanie oraz wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu dla badanych betonów stosowanych do nawierzchni betonowych dwuwarstwowych nawierzchni z eksponowanym kruszywem w zależności od zastosowanego  $D_{max}$ .

**Słowa kluczowe:** wytrzymałość na rozciąganie, wytrzymałość na zginanie, zależności wytrzymałości betonu, dwuwarstwowe nawierzchnie betonowe z eksponowanym kruszywem

## 1. Wprowadzenie

W ostatnim czasie obserwuje się wzrost zainteresowania wykonywaniem autostrad i dróg ekspresowych w technologii dwuwarstwowej z eksponowanym kruszywem. Beton z eksponowanym kruszywem (z ang. EAC Exposed Aggregate Concrete), nazywany również „betonem płukanym”, charakteryzuje się szczególnym sposobem obróbki i wykończenia powierzchni betonu. Główne etapy wykonywania nawierzchni betonowych w technologii dwuwarstwowej, obejmują:

- Układanie mieszanki betonowej w dwóch warstwach za pomocą rozścielaczy,
- Pokrycie górnej warstwy betonu środkiem powierzchniowo czynnym - opóźniaczem wiązania,
- Teksturowanie powierzchni – mechaniczne usunięcie zaczynu cementowego z powierzchni za pomocą mechanicznych szczotek oraz rozpoczęcie pielęgnacji (preparatem powłokowym zabezpieczającym beton przed odparowaniem wody),
- Nacinanie, czyszczenie i wypełnianie szczelin dylatacyjnych [1].

Podstawowymi wymaganiami stawianymi betonom do nawierzchni drogowych są wymagania wytrzymałościowe [2]. Kluczowym parametrem nawierzchni betonowych decydującym o jej trwałości zmęczeniowej jest wytrzymałość betonu na rozciąganie.

Projektowanie nawierzchni betonowych w Polsce w znaczącej mierze opiera się na wymiarowaniu grubości płyty betonowej, porównując obliczone naprężenia rozciągające od obciążenia kołem i od różnicy temperatur z naprężeniami dopuszczalnymi, określonymi na podstawie wytrzymałości betonu na rozciąganie przy zginaniu oraz współczynnika bezpieczeństwa dla obciążeń powtarzalnych [3]. Dlatego bardzo ważną rolę na tym etapie odgrywa prawidłowe określenie wytrzymałości na rozciąganie. Zgodnie z Eurokodem 2 [4] i klasyfikacją podaną w normach PN-EN 13877-1 [5] i 13877-2 [6] rozróżnia się trzy sposoby określenia wytrzymałości na rozciąganie: wytrzymałość na rozciąganie osiowe (metoda nie znormalizowana), wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu (wg PN-EN 12390-5 [7]), wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu (wg PN-EN 12390-6 [8]).

Norma na nawierzchnie betonowe PN-EN 13877-1 [5] rozróżnia 10 klas ze względu na wytrzymałość na zginanie (od F2 do F10) i 15 klas ze względu na wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu (od S1,3 do S6). Jednocześnie norma nie wskazuje żadnych korelacji pomiędzy tymi parametrami, jak również w odniesieniu do wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 206-1 [9].

W literaturze spotykamy liczne próby określenia korelacji pomiędzy wytrzymałością na ściskanie, a wytrzymałościami na rozciąganie, jednak są to na ogół materiały przestarzałe, niedoprecyzowane (rodzaj próbek, metody badawcze), które były opracowywane ponad 20 lat temu. W związku z postępem technologii wytwarzania surowców, projektowania, produkcji mieszanki betonowej oraz wbudowywania i wykańczania powierzchni nawierzchni betonowej, istnieje potrzeba weryfikacji dotychczasowych modeli.

## 2. Zakres i metodyka badań

Głównym celem badań było określenie zależności pomiędzy wytrzymałością na rozciąganie przy zginaniu i rozłupywaniu, a wytrzymałością na ściskanie betonów stosowanych do nawierzchni dwuwarstwowych z eksponowanym kruszywem.

Uzyskanie aktualnych korelacji w tym zakresie, znacznie ułatwiłoby projektantom specyfikowanie właściwości parametrów jakościowych betonu oraz mogłoby poprawić i usprawnić kontrolę jakości.

Projektowanie i wykonywanie nawierzchni dwuwarstwowych z eksponowanym kruszywem jest zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju. Wykonanie nawierzchni w technologii dwóch warstw pozwala zróżnicować wymagane cechy betonu w zależności od warstwy. W związku z bezpośrednim oddziaływaniem czynników agresywnych na beton, takich jak: ścieranie, cykliczne zamrażanie i rozmrażanie, także w obecności środków odladzających – wysokie wymagania są stawiane betonowi przeznaczonemu do warstwy górnej nawierzchni (GWB). Wyższe wymagania dotyczące składu i oczekiwanych cech betonu wiążą się z wyższym kosztem produkcji, co jest zbędne w przypadku betonu do warstwy dolnej nawierzchni [1]. Dodatkowo różne grubości warstw nawierzchni w tej technologii, determinują maksymalne uziarnienie kruszywa, jakie może być zastosowane (GWB o grubości ok. 5 cm -  $D_{max}$  do 8 mm, DWB o grubości ok. 28 cm -  $D_{max}$  22 mm).

Zależności wytrzymałości na ściskanie i wytrzymałości na rozciąganie mogą się różnie kształtować w zależności od kruszywa zastosowanego w danej warstwie  $D_{max}$ , w związku z tym dla takich dwóch typów mieszanek wykonane zostały badania.

W celu jak najlepszego odzwierciedlenia warunków panujących podczas produkcji badania wykonano na wytwórni mieszanki betonowej o produkcji ciągłej. Próbkę mieszanki betonowej do badań pobierano wg PN-EN 12350-1 [10] z bieżącej produkcji mieszanki betonu nawierzchniowego na drogę ekspresową. Badania wykonano dla dwóch rodzajów

betonu stosowanego do dolnej warstwy o maksymalnym wymiarze kruszywa do 22 mm i do górnej warstwy o maksymalnym wymiarze kruszywa do 8 mm. Dla każdego betonu wykonano pięć niezależnych pobranych i kompletów badań mieszanki betonowej:

- konsystencji metodą stopnia zagęszczalności wg PN-EN 12350-4 [11],
- zawartości powietrza metodą ciśnieniomierza wg PN-EN 12350-7 [12].

Po zaformowaniu próbki zostały spryskane środkiem zabezpieczającym przed odparowaniem wody, takim samym jaki jest używany do pielęgnacji nawierzchni. Następnie po 20 godzinach próbki były rozformowywane i umieszczane w wodzie w temperaturze  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ , gdzie były pielęgnowane do 28 dnia wg PN-EN 12390-2 [13].

Po 28 dniach od zaformowania zostały wykonywane badania betonu w poniższym zakresie:

- wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 12390-3 [14], na próbkach sześciennych o wymiarze  $\# 150$  mm,
- wytrzymałości na zginanie metodą obciążenia dwupunktowego oraz obciążenia centrycznego wg PN-EN 12390-5 [7], na próbkach prostopadłościennych o wymiarach  $150 \times 150 \times 700$  mm,
- wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu na próbkach sześciennych o wymiarze  $\# 150$  mm i walcowych o wymiarach  $150 \times 300$  mm wg PN-EN 12390-6 [8].

### 3. Założenia projektowe i składy mieszanek betonowych

Założenia projektowe oparte były na wymaganiach stawianych betonom do nawierzchni dwuwarstwowych z eksponowanym kruszywem i pokrywały się z wymaganiami Specyfikacji Technicznych dla drogi szybkiego ruchu wykonanej w tej technologii.

Założenia dla recepty do górnej warstwy betonu (GWB):

- klasa wytrzymałości - C35/45,
- klasa konsystencji - C1/C2,
- klasy ekspozycji - XF4, XM2,
- maksymalny wymiar kruszywa do 8mm,
- min. zawartość cementu  $420 \text{ kg/m}^3$ .

Założenia dla recepty do dolnej warstwy betonu (DWB):

- klasa wytrzymałości - C35/45,
- klasa konsystencji - C1/C2,
- klasy ekspozycji - XF4,
- maksymalny wymiar kruszywa do 22 mm,
- min. zawartość cementu  $380 \text{ kg/m}^3$ .

W receptach zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5N-HSR/NA, kruszywo granitowe (frakcji 2/5 mm, 2/16 mm) i amfibolitowe (frakcji 5/8 mm, 16/22 mm) oraz domieszki upłynniające i napowietrzające. Mieszanki charakteryzowały się stosunkiem wodno-cementowym  $w/c = 0,35$ .

### 4. Wyniki badań

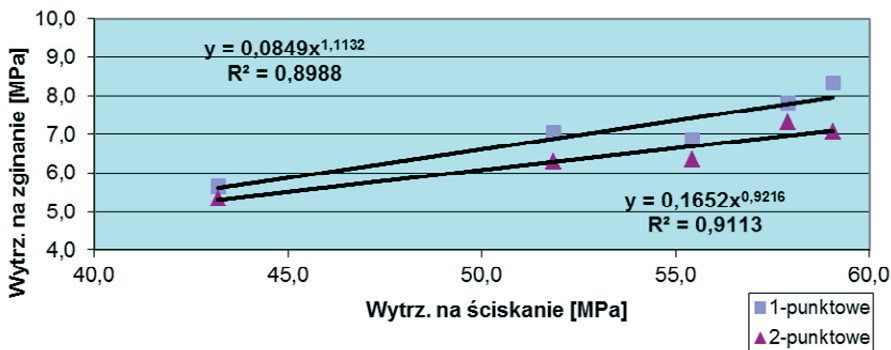
Wyniki badań mieszanki betonowej w trakcie trwania produkcji kształtowały się na poziomie:

- dla GWB o  $D_{\max} 8$  mm – zawartość powietrza od 3,0% do 6,8 %, konsystencja C1/C2,

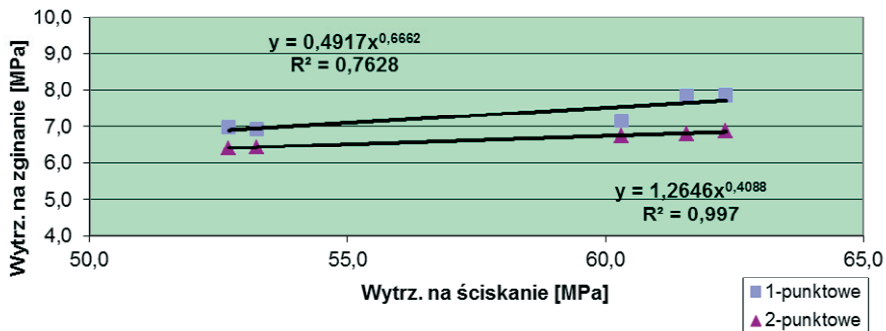
- dla DWB o  $D_{\max}$  22 mm– zawartość powietrza od 3,6 % do 4,6%, konsystencja C1/C2.

Uzyskane duże rozrzuty zawartości powietrza z produkcji w mieszance betonowej miały bezpośredni wpływ na parametry wytrzymałościowe badanych betonów. Mieszanki betonowe o zawartości powietrza innej niż wymaganej w Specyfikacji Technicznej (poniżej 4,0% i powyżej 6,0% ), nie były użyte do wykonywania nawierzchni, ale były dobrym materiałem w programie badawczym.

W wyniku przeprowadzonych badań określono zależność pomiędzy wytrzymałością na ściskanie a wytrzymałością na zginanie dla metody obciążenia centrycznego (1- punktowej) oraz dwupunktowej, które można było opisać funkcją potęgową. Uzyskane korelacje zestawiono na rysunku 1 dla betonu o  $D_{\max}$  8 mm (GWB) oraz na rysunku 2 dla betonu o  $D_{\max}$  22 mm (DWB).

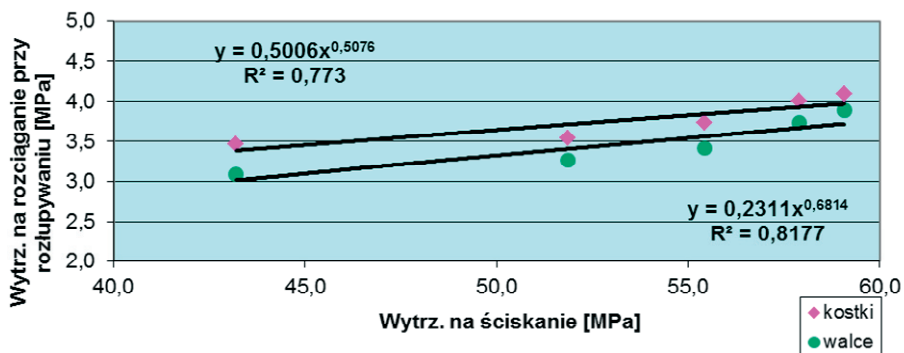


Rys. 1. Korelacje pomiędzy wytrzymałością na zginanie a wytrzymałością na ściskanie betonu o  $D_{\max}$  8 mm (GWB)

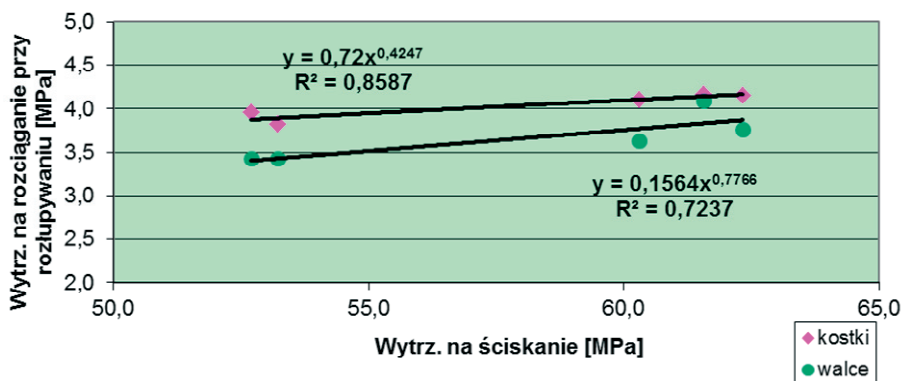


Rys. 2. Korelacje pomiędzy wytrzymałością na zginanie a wytrzymałością na ściskanie betonu o  $D_{\max}$  22 mm (DWB)

W wyniku przeprowadzonych badań określono również zależności pomiędzy wytrzymałością na ściskanie a wytrzymałością na rozciąganie przy rozłupywaniu dla próbek sześciennych 150 mm oraz próbek cylindrycznych 150 x 300 mm, które również można było opisać funkcją potęgową. Uzyskane korelacje zestawiono na rysunku 3 dla betonu o  $D_{\max}$  8 mm (GWB) oraz na rysunku 4 dla betonu o  $D_{\max}$  22 mm (DWB).

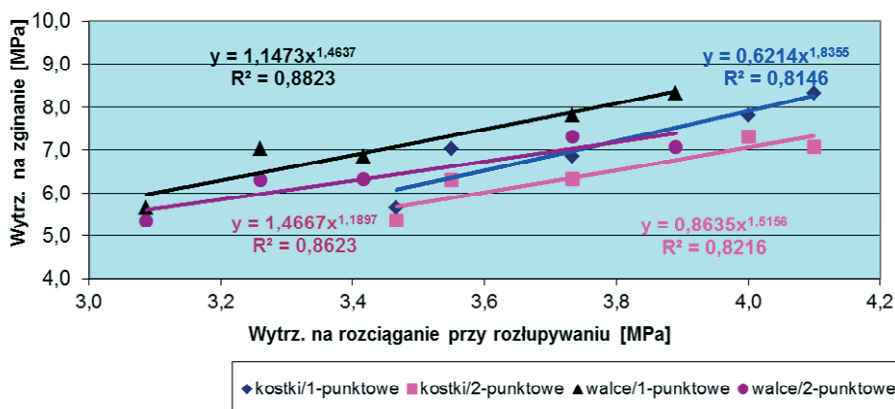


Rys. 3. Korelacje pomiędzy wytrzymałością na rozciąganie przy rozłupywaniu a wytrzymałością na ściskanie na betonie o  $D_{\max}$  8 mm (GWB)

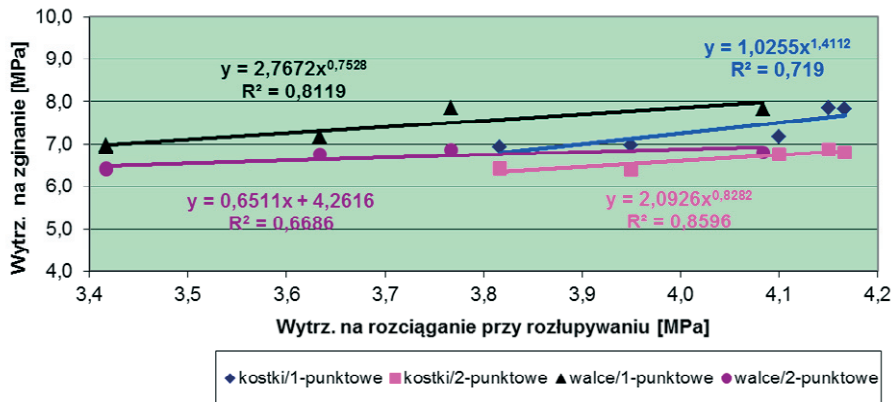


Rys. 4. Korelacje pomiędzy wytrzymałością na rozciąganie przy rozłupywaniu a wytrzymałością na ściskanie betonu o  $D_{\max}$  22 mm (DWB)

Przeanalizowano również wpływ wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu do wytrzymałości na zginanie. Uzyskane korelacje potęgowe w zależności od zastosowanej metody badawczej (zginanie metoda obciążenia centrycznego lub dwupunktowego) oraz rodzaju próbek (próbki sześciennie lub cylindryczne) zostały przedstawione na rys. 5 dla recepty o  $D_{\max}$  8 mm (GWB), oraz rys. 6 dla recepty o  $D_{\max}$  22 mm (DWB).



Rys. 5. Korelacje pomiędzy wytrzymałością na zginanie a wytrzymałością na rozciąganie przy rozłupywaniu betonu o  $D_{\max}$  8mm (GWB)



Rys. 6. Korelacje pomiędzy wytrzymałością na zginanie a wytrzymałością rozciągania przy rozłupywaniu na beton o  $D_{max}$  22 mm (DWB)

Każdy przedstawiony punkt na wykresach jest średnią wytrzymałością uzyskaną podczas dnia produkcji mieszanki betonowej. Różnice pomiędzy poszczególnymi średnimi wynikami badań obrazują zmienny charakter produkcji na który wpływa zmienność parametrów składników, wilgotność, panujące warunki atmosferyczne oraz dokładności metod badawczych.

Uzyskane powyżej korelacje dla badanych betonów pokazują, iż wytrzymałość na rozciąganie badana różnymi metodami (rozciąganie przy rozłupywaniu, zginanie jedno- i dwupunktowe), jest w dużym stopniu skorelowana z wytrzymałością na ściskanie. Dlatego specyfikując cechy dla betonu użytego do nawierzchni z eksponowanym kruszywem, każdorazowo należy analizować poziom wymagań. Zwiększenie wymagań dotyczących wytrzymałości na rozciąganie wiąże się tym samym ze zwiększeniem wytrzymałości na ściskanie. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na metodę badania wytrzymałości na rozciąganie, która nie zawsze jest jednoznacznie określona przez projektanta. Najwyższe wyniki wytrzymałości dla tego samego betonu uzyskuje się dla wytrzymałości na zginanie metodą centryczną, zgodnie z normą [7] ok 13 % wyższe niż w przypadku metody obciążenia dwupunktowego. Wyniki wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu są niższe niż wyniki wytrzymałości na zginanie i dodatkowo zgodnie z normą [8] wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu na próbkach sześciennych 150 mm są ok. 10% wyższe niż na próbkach cylindrycznych.

## 5. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań wytrzymałości betonów stosowanych do nawierzchni dwuwarstwowych z eksponowanym kruszywem można wstępnie wnioskować, iż istnieją ściśle korelacje pomiędzy badanymi parametrami. W powyższej pracy przedstawiono dwie serie badań dla betonów w zależności od zastosowanego maksymalnego nominalnego górnego wymiaru ziarn kruszywa  $D_{max}$  8 mm oraz  $D_{max}$  22 mm. Korelacje określone w ramach niniejszego programu badawczego dotyczą jedynie standardowego zakresu wytrzymałości betonu użytego do budowy nawierzchni. Istnieje potrzeba rozszerzenia zakresu badań celem określenia korelacji w szerszym zakresie oraz potwierdzenie ich dla innych materiałów składowych używanych do recept betonów nawierzchniowych. Zweryfikowanie i potwierdzenie uzyskanych i zaproponowanych modeli w skali produkcyjnej znacznie ułatwiłoby, projektantom specyfikowanie wymagań dla betonów nawierzchniowych.

niowych, a wykonawcom skróciłoby czas opracowywania recept mieszanek betonowych i ułatwiłoby kontrolę jakości w czasie prowadzenia robót. Przedstawione korelacje pomiędzy wytrzymałościami dla betonów są poglądowym materiałem dla inwestorów i projektantów, którzy nieświadomie lub celowo zawyżają jakiś parametr (np. wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu klasa S4,0), nie zdając sobie sprawy z faktu, że należy wówczas zaprojektować beton o wytrzymałości na ściskanie na poziomie 80 – 90 MPa.

## Literatura

- 1 Jackiewicz-Rek W., Konopska-Piechurska M., Zrównoważony rozwój technologii nawierzchni betonowych – aspekty funkcjonalne, Konferencja Dni Betonu, Wisła 2012.
- 2 Szydło A., Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego, Polski Cement, 2004.
- 3 Glinicki M. A., Trwałość betonu w nawierzchniach drogowych. IBDiM, 2011.
- 4 PN-EN 1992 Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu.
- 5 PN-EN 13877-1:2013 Nawierzchnie betonowe–Część 1: Materiały.
- 6 PN-EN 13877-2:2013 Nawierzchnie betonowe–Część 2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych.
- 7 PN-EN 12390-5:2011 Badania betonu. Część 5: Wytrzymałość na zginanie próbek do badania.
- 8 PN-EN 12390-6:2011 Badania betonu. Część 6: Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek do badań.
- 9 PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- 10 PN-EN 12350-1:2011 Badanie mieszanki betonowej. Część 1: Pobieranie próbek.
- 11 PN-EN 12350-4:2011 Badanie mieszanki betonowej. Część 4: Badanie konsystencji metoda oznaczania stopnia zęszczalności.
- 12 PN-EN 12350-7:2011 Badanie mieszanki betonowej. Część 7: Badanie zawartości powietrza. Metody ciśnieniowe.
- 13 PN-EN 12390-2 :2011 Badania betonu. Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań, wytrzymałościowych.
- 14 PN-EN 12390-3: 2011 +AC:2012 Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań.

## Correlations between compressive strength and tensile strength of concrete for two-layers pavement with exposed aggregate

Małgorzata Konopska-Piechurska<sup>1</sup>, Wioletta Jackiewicz-Rek<sup>2</sup>,  
Paweł Łukowski<sup>3</sup>

<sup>1</sup> TPA Sp. z o.o., Laboratorium badawcze w Pruszkowie, e-mail: malgorzta.konopska-piechurskai@tpaqi.com

<sup>2,3</sup> Politechnika Warszawska, e-mail: <sup>1</sup>w.jackiewicz-rek@il.pw.edu.pl, <sup>2</sup>p.lukowski@il.pw.edu.pl

**Abstract:** In the paper the results of experiments on concrete pavement with exposed aggregate technology placed in two technological layers were presented. The following properties were measured: compressive strength, flexural strength by two methods: two-point loading and centre-point loading, tensile splitting strength of cubic and cylindrical samples. The study was performed for two type of concrete with a maximum aggregate size

$D_{\max}$  8 mm (concrete applied to the upper layer of concrete pavement - GWB) and  $D_{\max}$  22 mm (concrete used for the bottom layer - DWB). After the analysis of the tests, the correlations between compressive strength and tensile strength, measured by flexural strength and tensile splitting strength, were determined for the used two-layers concrete pavement with exposed aggregate depending on applied  $D_{\max}$ .

**Keywords:** tensile strength, flexural strength, correlations between concrete strengths, concrete pavement with exposed aggregate