

Projektowanie betonu do nawierzchni – nowy sposób uwzględniania właściwości wytrzymałościowych

CONCRETE PAVEMENT DESIGNING – A NEW WAY TO TAKE INTO
ACCOUNT THE STRENGTH PROPERTIES

Streszczenie

Betony cementowe są coraz częściej wybieranym rozwiązaniem materiałowo-technologicznym w konstrukcjach dróg w Polsce. Betony do nawierzchni, w odróżnieniu od betonów zwykłych, projektuje się głównie ze względu na wytrzymałość na rozciąganie, która decyduje o trwałości zmęczeniowej nawierzchni.

Na podstawie szerokiego programu badań własnych, dotyczących cech wytrzymałościowych (wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu metodą jedno- i dwupunktową, wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu na próbkach sześciennych i walcowych) betonu do nawierzchni dwuwarstwowych z odsłoniętym kruszywem (zastosowanego w praktyce przy wykonywaniu niektórych odcinków autostrad i dróg ekspresowych na terenie Polski) wyznaczono zależności funkcyjne między kluczowymi parametrami wytrzymałościowymi tych betonów. Badano betony o maksymalnym wymiarze ziarn kruszywa D_{\max} 8 mm (beton stosowany do górnej warstwy nawierzchni betonowej) oraz D_{\max} 22 mm (beton używany do dolnej warstwy). Analiza statystyczna wyników badań pozwoliła na opracowanie odpowiednich modeli zależności między oznaczanymi cechami w postaci funkcji liniowych.

W referacie zaproponowano algorytm postępowania przy projektowaniu betonu do nawierzchni dwuwarstwowych z eksponowanym kruszywem z wykorzystaniem powyższych zależności. Algorytm ten może stanowić użyteczne narzędzie projektowania betonu nawierzchniowego na podstawie określania minimalnej klasy wytrzymałości na ściskanie z uwzględnieniem wymagań wytrzymałości na rozciąganie. Jest to sposób projektowania, który wyróżnia proces doboru składu betonu do nawierzchni w porównaniu do innych przyjętych sposobów projektowania betonu. Jednocześnie, wydaje się

być cennym, praktycznym i potwierdzonym doświadczalnie sposobem ustalania składu tego rodzaju specjalnego betonu, jakim jest beton do nawierzchni.

Abstract

The cement concretes are more and more often chosen material solution in road structures in Poland. Concrete used for pavement in distinction from ordinary concrete are designed mainly for tensile strength, which has the influence for pavement fatigue durability.

Under the framework of the own research, the strength properties (compressive strength, flexural strength tested by one-point and two-points method, tensile splitting strength using cubic and cylindrical samples) were determined for the concrete used for the two-layer road pavements with exposed aggregate (applied in practice on some sections of highways executed in Poland). The model relationships between the main strength properties were determined for the concrete used for the road pavements. Concretes with the maximum grain size D_{\max} 8 mm (concrete used for the upper concrete pavement layer - GWN) and D_{\max} 22 mm (concrete used for the bottom concrete layer - DWN) were investigated. The statistical analysis of the tests results allowed for determination of the suitable model relationships between the tested properties in the form of the linear functions.

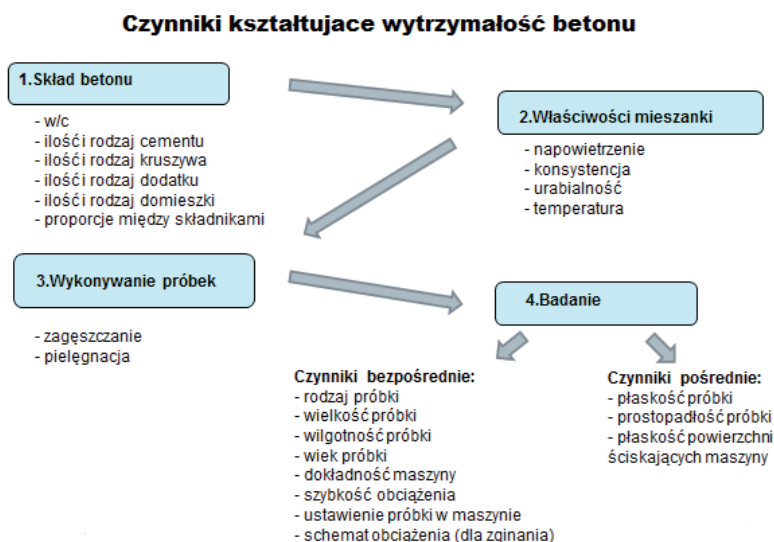
In this paper, the algorithm of designing of the concrete for the two-layer road pavements, using the above mentioned relationships, was proposed. It can be the useful tool for designing of the concrete for the road pavements on the basis of determination the minimum class of compressive strength, taking into consideration the requirements for the tensile strength. This algorithm is the way of designing of concrete pavement, which makes the process of choosing of concrete ingredients different than other ways of designing of ordinary concrete. At the same time the proposed algorithm seems to be valuable, practical and confirmed experimentally way of setting the recipe of this special kind of concrete, which is pavement concrete.

1. Wstęp

Proces projektowania mieszanek betonowych do nawierzchni jest szczególny. Opiera się wprawdzie o ten sam czteroetapowy schemat projektowania wykorzystywany przy ustalaniu składu betonu metodami obliczeniowo-doświadczalnymi, jednak znacznie bardziej rozbudowane wymagania niż w przypadku betonu zwykłego, szczególnie te dotyczące właściwości wytrzymałościowych betonu sprawiają, że projektowanie polega głównie na doświadczalnym doborze jakościowym i ilościowym pod kątem uzyskania wymaganych wytrzymałości na rozciąganie. Jeśli przyjąć, że istnieją metody projektowania betonu o założonej wytrzymałości na ściskanie, to można się pokusić o stwierdzenie, że brak jest metod projektowania betonu ze względu na wytrzymałość na rozciąganie, która jest kluczowym parametrem decydującym o trwałości zmęczeniowej nawierzchni [8]. Aktualne wymagania dotyczące betonu do nawierzchni wyszczególnione w OST [7] i KTKNS [3] dotyczą dwóch rodzajów wytrzymałości na rozciąganie – oznaczanych przy rozłupywaniu i przy zginaniu. W obliczu powyższego, zaprojektowanie betonu spełniającego wymagane parametry wytrzymałościowe jest niejednokrotnie „empiryczną loterią”, bo przyjęte warunki projektowania (warunek wytrzymałości – wzór Bolomey’a) oparte są o wytrzymałość na ściskanie. Na wytrzymałość wpływa bardzo dużo czynników zarówno materiałowych, projektowych, jak i technologicznych, które mogą obniżyć lub podwyższyć uzyskiwane wyniki; najważniejsze z nich przedstawiono na rysunku 1. Czynniki wpływające na wytrzymałość betonu powinny być uwzględniane na każdym etapie, począwszy od projektowania składu i właściwości mieszanki betonowej, przez wykonywanie próbek aż do metodyki badania [4, 8].

Mieszanki betonowe stosowane do nawierzchni drogowych projektuje się głównie ze względu na stawiane im wysokie wymagania dotyczące:

- wytrzymałości, która powinna być zgodna z założeniami konstrukcyjnymi i zapewnić przeniesienie zakładanego obciążenia od ruchu,

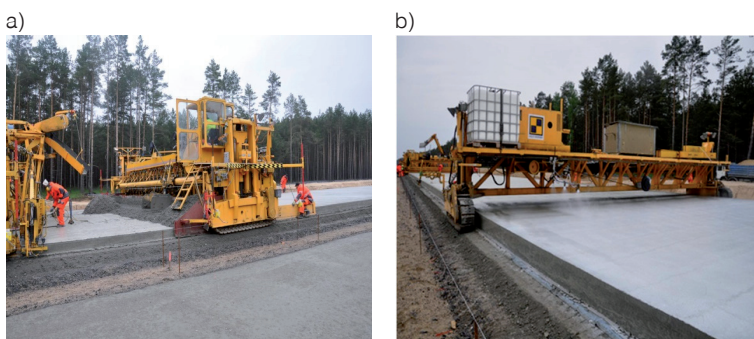


Rys. 1. Czynniki kształtujące wytrzymałość betonu [4, 8]

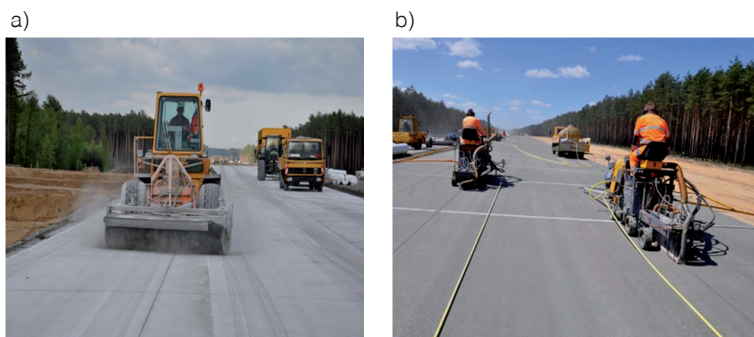
- trwałości, związanej z odpornością na działanie czynników atmosferycznych i chemicznych,
- konsystencji i urabialności, umożliwiającej odpowiedni transport i wbudowanie mieszanki betonowej. Dodatkowo, nawierzchnie betonowe powinny charakteryzować się dobrą przyczepnością, dużą odpornością na ścieranie, odpornością na koleinowanie i zdolnością do powierzchniowego odprowadzania wody [8].

Technologia dwuwarstwowa wykonywania nawierzchni betonowej z eksponowanym kruszywem (fot. 3b) (z ang. EAC Exposed Aggregate Concrete), charakteryzuje się szczególnym sposobem obróbki i wykończenia powierzchni betonu. Nawierzchnie betonowe tego typu wykonywane są dwuwarstwowo przy zastosowaniu technologii tzw. „mokre na mokre”, a główne etapy obejmują:

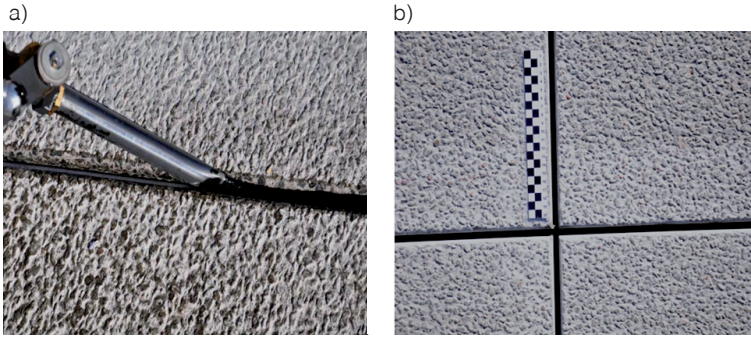
- Układanie mieszanki betonowej w dwóch warstwach za pomocą rozścielaczy (fot. 1a). Pierwszy rozścielacz układa dolną warstwę betonu o max wymiarze ziarn kruszywa do 22 mm i grubości ok. 22–24 cm, następnie montowane są kotwy i dyble i na świeżą mieszankę betonową dolnej warstwy układana jest górna warstwa za pomocą drugiego rozścielacza, warstwa ta ma grubość znacznie mniejszą, ok 5 cm i maksymalny wymiar ziarn do 8 mm;
- Pokrycie górnej warstwy betonu środkiem powierzchniowo czynnym – opóźniaczem wiązania tzw. „dezaktywatorem” (fot. 1 b). W zależności od tego, na jaką głębokość chcemy odsłonić kruszywo, stosujemy różnego rodzaju środki powierzchniowo czynne;



Fot. 1. Układanie nawierzchni w dwóch warstwach a), pokrycie nawierzchni środkiem opóźniającym wiązanie b) [10]



Fot. 2. Teksturowanie powierzchni a), nacinanie płyty nawierzchni, wykonywanie szczelin b) [10]



Fot. 3. Uszczelnianie dylatacji a), nawierzchnia z eksponowanym kruszywem – tekstura b) [10]

- Teksturowanie powierzchni – mechaniczne usunięcie zaczynu cementowego z powierzchni za pomocą mechanicznych szczotek (fot. 2a) oraz rozpoczęcie pielęgnacji (preparatem powłokowym zabezpieczającym beton przed odparowaniem wody). Bardzo istotny jest czas rozpoczęcia odsłaniania kruszywa. Jeśli będzie on za krótki, wyrwiemy kruszywo. Jeśli zbyt długi, zaczyn nam zwiąże i nie odsłonimy kruszywa na zakładaną głębokość, co spowoduje nie spełnienie wymagania szorstkości nawierzchni;
- Nacinanie, czyszczenie i wypełnianie szczelin dylatacyjnych (fot. 2b, 3a) [9, 11].

2. Założenia projektowe

Projektowanie i wykonywanie nawierzchni dwuwarstwowych z eksponowanym kruszywem jest zgodne z zasadami zrównoważonego rozwoju. Wykonanie nawierzchni w technologii dwóch warstw (rys. 2) pozwala zróżnicować wymagane cechy betonu w zależności od warstwy. W związku z bezpośrednim oddziaływaniem na beton czynników agresywnych, takich jak: ścieranie, cykliczne zamrażanie i rozmrażanie, także w obecności środków odladzających – szczególnie wysokie wymagania są stawiane betonowi przeznaczonemu do warstwy górnej nawierzchni. Wyższe wymagania dotyczące



Rys. 2. Przykład przekroju nawierzchni dwuwarstwowej z eksponowanym kruszywem

składu i oczekiwanych cech betonu wiąże się z wyższym kosztem produkcji; nie są one niezbędne w przypadku warstwy dolnej nawierzchni [1, 4, 5].

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 dotyczące składu betonu do górnej warstwy nawierzchni (GWN) były następujące:

- klasa wytrzymałości – C35/45,
- klasa konsystencji – C1/C2,
- klasy ekspozycji – XF4, XM2,
- maksymalny wymiar kruszywa, D_{\max} 8 mm,
- min. zawartość cementu 420 kg/m³.

Założenia dotyczące składu betonu do dolnej warstwy nawierzchni (DWN) były następujące:

- klasa wytrzymałości – C35/45,
- klasa konsystencji – C1/C2,
- klasa ekspozycji – XF4,
- maksymalny wymiar kruszywa, D_{\max} 22 mm,
- min. zawartość cementu 380 kg/m³.

W mieszankach zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5N–HSR/NA, kruszywo granitowe (frakcji 2/5 mm, 2/16 mm) oraz amfibolitowe (frakcji 5/8 mm, 16/22 mm) oraz domieszki upłynniające i napowietrzające. Mieszanki charakteryzowały się stosunkiem wodno-cementowym $w/c = 0,35$ [4, 6, 8].

Przedmiotem badań cech wytrzymałościowych było kilkanaście serii betonów do górnej i dolnej warstwy nawierzchni. W artykule nie przedstawiono wyników badań jedynie modele zależności cech wytrzymałościowych (tabela 1) określonych na podstawie wartości średnich, które w skrajnych przypadkach pochodzą z trzech wyników oznaczeń, a w większości były to średnie z kilkunastu lub kilkudziesięciu wyników.

3. Modele zależności między cechami mechanicznymi betonów do nawierzchni drogowych

Badania wstępne i opracowanie składu mieszanki betonowej przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych przy użyciu mieszarki laboratoryjnej przed wprowadzeniem badanych składów betonów do produkcji. W celu zapewnienia odpowiedniej jednorodności próbek do badań w obrębie jednej serii, jak również w celu wyeliminowania przypadkowych błędów wynikających z produkcji w mieszarce laboratoryjnej, wszystkie próbki zostały przygotowane w wytwórni mieszanki betonowej o produkcji ciągłej (fot. 4). Było to również celowe dla odzwierciedlenia warunków panujących podczas produkcji typowego betonu do nawierzchni dwuwarstwowej.

Próbki mieszanki betonowej do badań pobierano wg PN-EN 12350-1 [12] z bieżącej produkcji mieszanki betonu nawierzchniowego i pielęgnowano 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 boku 150 mm,

Fot. 4. Wytwórnia betonu nawierzchniowego o produkcji ciągłej, w której wytwarzane były mieszanki betonowe do GWN i DWN [fot. M. Konopska-Piechurska]



- wytrzymałości na zginanie metodą obciążenia dwupunktowego oraz obciążenia centralnego wg PN-EN 12390-5 [15], na próbkach prostokątnych o wymiarach 150 x 150 x 700 mm,
- wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu na próbkach sześciennych o boku 150 mm i walcowych o wymiarach 150 x 300 mm wg PN-EN 12390-6 [16].

W wyniku przeprowadzonych badań otrzymano modele liniowych zależności między wytrzymałościami (wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na zginanie – dwie metody, wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu – dwa rodzaje próbek) betonów stosowanych do nawierzchni dwuwarstwowych. Uzyskane modele zależności wraz z miarami ich adekwatności: współczynnikiem korelacji liniowej Pearsona – r_p i współczynnikiem determinacji – R^2 zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie zależności cech wytrzymałościowych opisujących betony stosowane do nawierzchni dwuwarstwowych [8]

Oznaczenie betonu	Zależność między wytrzymałościami (y / x)	Oznaczenie modelu	Równanie	Miary jakości modelu	
				r_p	R^2
beton o D_{max} 8 mm do górnej warstwy nawierzchni (GWN)	zginanie 1-pkt/ściskanie	Z1-S_GWN	$y=0,1505x-0,9145$	0,94	0,88
	zginanie 2-pkt/ściskanie	Z2-S_GWN	$y=0,1137x+0,3868$	0,95	0,90
	rozłupywanie kostki/ściskanie	RK-S_GWN	$y=0,0385x+1,7126$	0,89	0,79
	rozłupywanie walce/ściskanie	RW-S_GWN	$y=0,0472x+0,9526$	0,91	0,83
	zginanie 1-pkt/rozłupywanie kostki	Z1-RK_GWN	$y=3,3986x-5,6794$	0,92	0,84
	zginanie 1-pkt/rozłupywanie walce	Z1-RW_GWN	$y=2,923x-3,031$	0,95	0,90
	zginanie 2-pkt/rozłupywanie kostki	Z2-RK_GWN	$y=2,5364x-3,0923$	0,91	0,83
	zginanie 2-pkt/rozłupywanie walce	Z2-RW_GWN	$y=2,1428x-0,9814$	0,93	0,86

Tabela 1. Cd. Zestawienie zależności cech wytrzymałościowych opisujących betony stosowane do nawierzchni dwuwarstwowych [8]

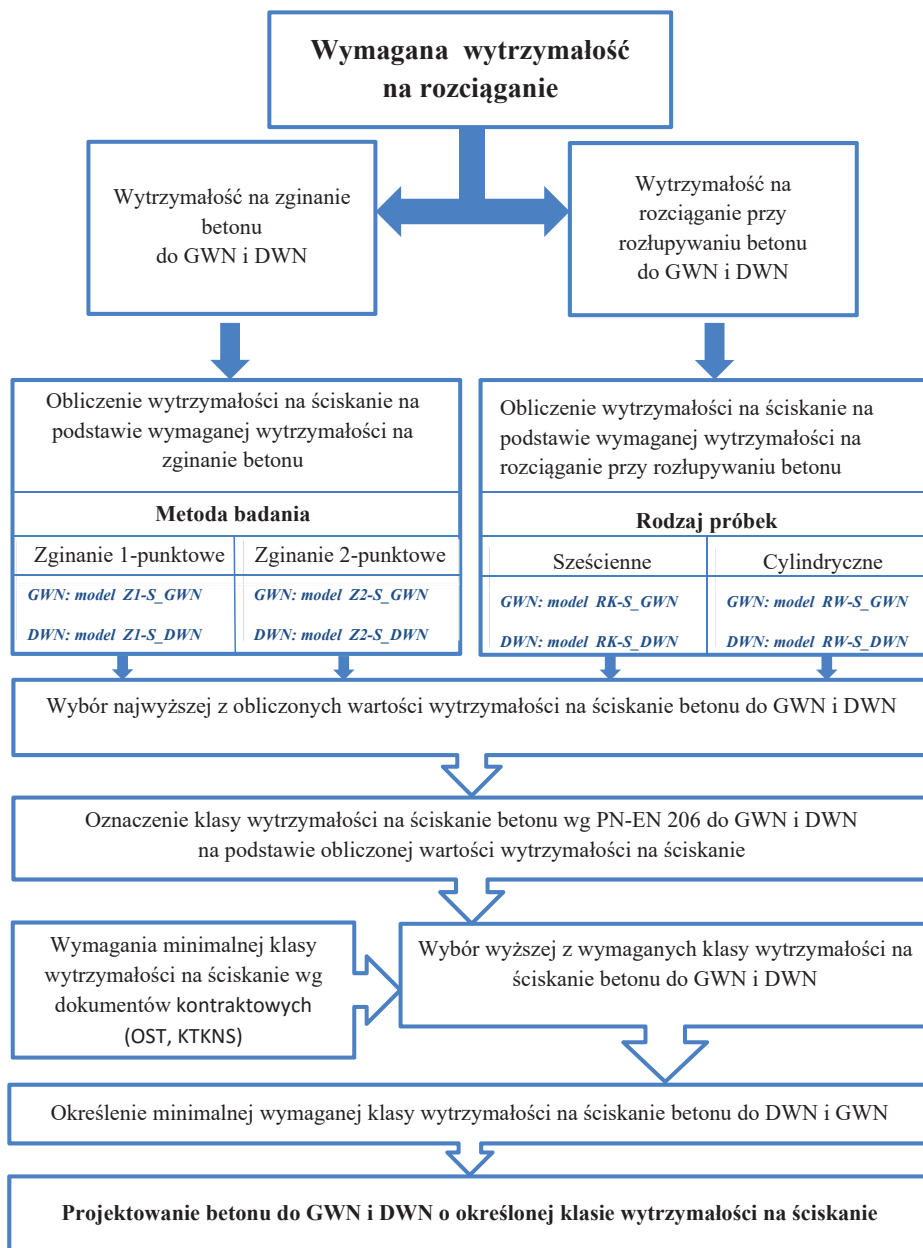
Oznaczenie betonu	Zależność między wytrzymałościami (y / x)	Oznaczenie modelu	Równanie	Miary jakości modelu	
				r_p	R^2
beton o D_{max} 22 mm do dolnej warstwy nawierzchni (DWN)	zginanie 1-pkt/ściskanie	Z1-S_DWN	$y=0,0863x+2,3464$	0,87	0,76
	zginanie 2-pkt/ściskanie	Z2-S_DWN	$y=0,0473x+3,9032$	0,99	0,97
	rozłupywanie kostki/ściskanie	RK-S_DWN	$y=0,0298x+2,3088$	0,93	0,87
	rozłupywanie walce/ściskanie	RW-S_DWN	$y=0,498x+0,7752$	0,84	0,70
	zginanie 1-pkt/rozłupywanie kostki	Z1-RK_DWN	$y=2,6171x-3,211$	0,85	0,72
	zginanie 1-pkt/rozłupywanie walce	Z1-RW_DWN	$y=1,483x+1,9208$	0,89	0,80
	zginanie 2-pkt/rozłupywanie kostki	Z2-RK_DWN	$y=1,3761x+1,0919$	0,93	0,86
	zginanie 2-pkt/rozłupywanie walce	Z2-RW_DWN	$y=0,6511x+4,2616$	0,82	0,67

4. Algorytm projektowania betonu do nawierzchni

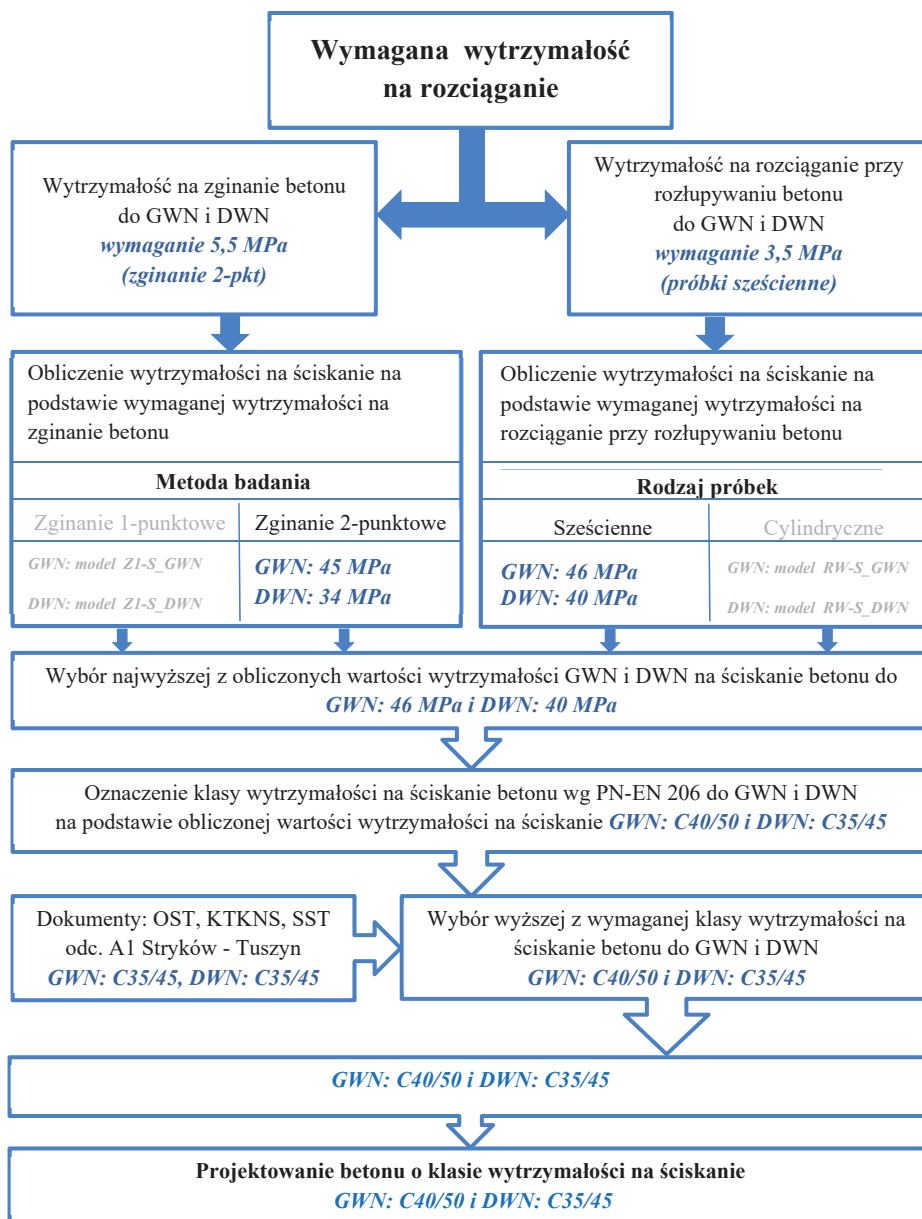
Projektowanie betonu cementowego o specjalnych wymaganiach w zakresie wytrzymałości na rozciąganie powinno opierać się na świadomym doborze ilościowym i jakościowym poszczególnych składników, jak i prognozowaniu oraz sprawdzaniu cech otrzymanego kompozytu mineralnego. Wszystkie składniki, a szczególnie cement i kruszywo, powinny mieć potwierdzoną jakość, udokumentowaną kompletem badań wymaganych cech fizycznych i chemicznych (według OST i KTKNS [3, 7]), które gwarantują ich przydatność do mieszanki betonowej do nawierzchni, ale i pozwalają przewidywać skutki współdziałania w tworzeniu betonu o wyspecyfikowanych cechach. Zarówno cement, jak i kruszywo są materiałami o zmiennych właściwościach (w dopuszczalnych granicach), stąd badania wstępne i bieżące kontrole betonu, zaprojektowanego i wykonanego z ich udziałem są niezbędne. Pozwalają nie tylko sprawdzić cechy otrzymanego materiału i ich zgodność z wymaganiami specyfikacji, ale również określić przedział zmienności otrzymywanych cech zaprojektowanego betonu do nawierzchni [8].

Specyfikacja betonu cementowego do nawierzchni powinna być szczegółowo opracowana z uwzględnieniem wszystkich danych wynikających z projektu (głównie kategorii ruchu) i środowiska pracy konstrukcji (klasa ekspozycji) oraz uwzględnić ograniczenia wynikające ze specyfiki projektowanego betonu.

Algorytm projektowania betonów do nawierzchni (rys. 5) składa się, podobnie jak projektowanie innych betonów i zapraw, z czterech etapów. Celem pierwszego etapu jest przyjęcie właściwych założeń do doboru składu, wynikających ze specyfiki obiektu, wyrażonej poprzez projekt konstrukcyjny, jak i dalszych wymagań materiałowo-technologicznych związanych z technologicznymi i formalnymi aspektami realizacji. Drugi etap



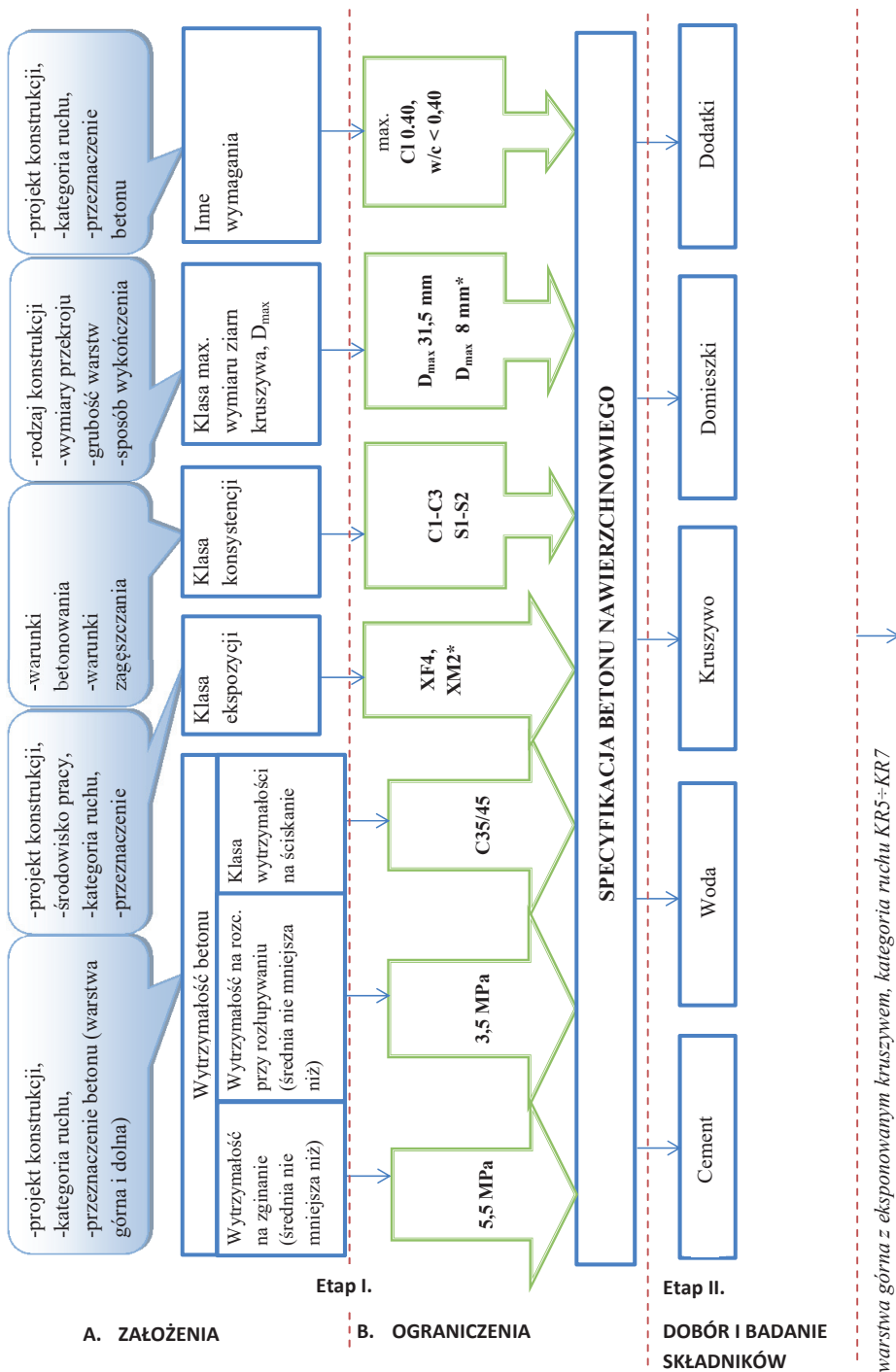
Rys. 3. Algorytm określania minimalnej klasy wytrzymałości na ściskanie betonu do nawierzchni dwuwarstwowej na podstawie wymagań wytrzymałości na rozciąganie [8]



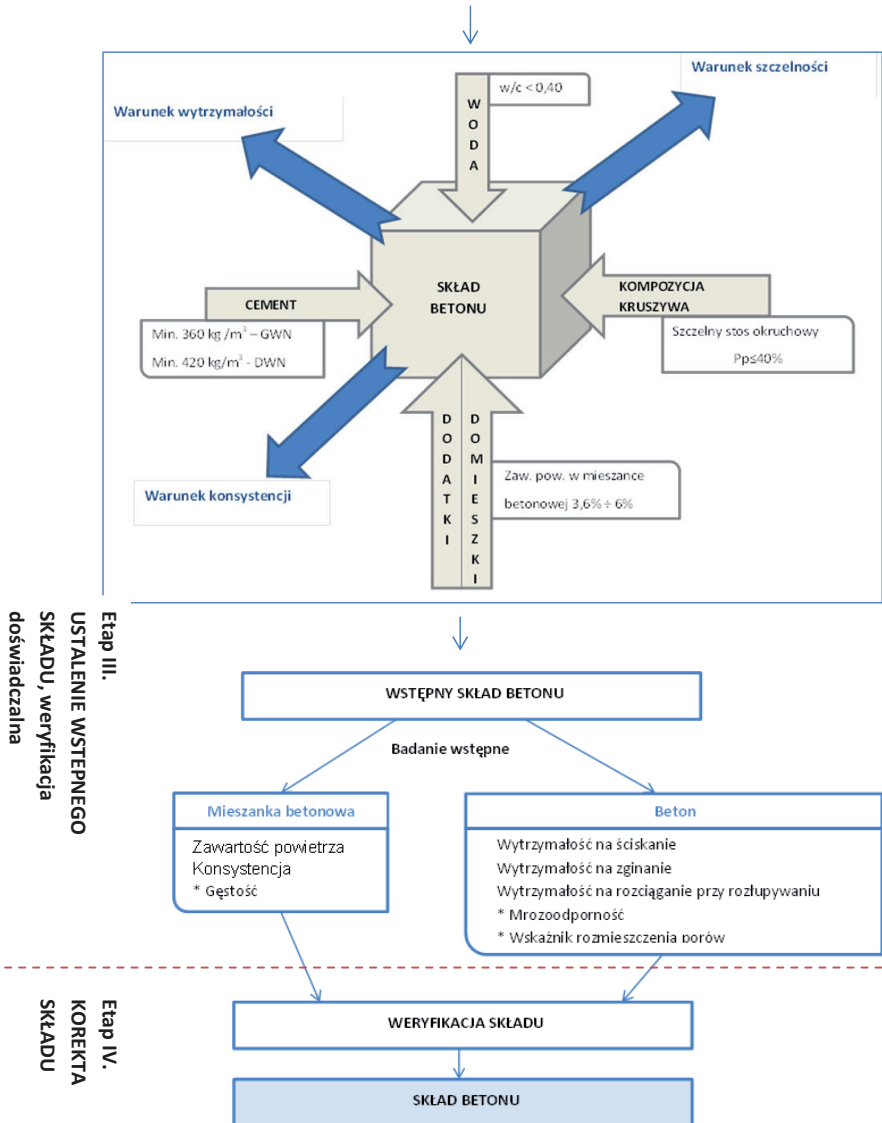
Rys. 4. Przykład określania minimalnej klasy wytrzymałości na ściskanie betonu do nawierzchni dwuwarstwowej na podstawie wymagań wytrzymałości na rozciąganie wg OST [7] z uwzględnieniem wymagań SST dla przykładowego kontraktu A1 Stryków – Tuszyn [8]

projektowania to dobór jakościowy składników betonu do nawierzchni i potwierdzenie ich przydatności w oparciu o wymagane dokumenty (normy dotyczące kruszyw, cementu itp.). Wybrane materiały – składniki betonu do nawierzchni – powinny spełniać wymagania jakościowe i ilościowe (kompozycja kruszywa) stawiane przez dokumenty wzorcowe GDDKiA [3, 7]. Zbiór materiałów przydatnych do wykonywania betonu do nawierzchni jest bardzo ograniczony. Stąd decydujące wydaje się ustalenie właściwych proporcji między tymi składnikami, w celu uzyskania wymaganych parametrów wytrzymałościowych oraz parametrów związanych z trwałością betonu do nawierzchni sztywnych. Niezwykle istotny udział w kształtowaniu tych właściwości zajmuje odpowiedni dobór rodzaju kruszywa i kompozycja optymalnego stosu okruszowego kruszywa. Dobór ilościowy składu oraz zawartości zaczynu i kruszywa w $[m^3]$ jest zadaniem trzeciego etapu projektowania betonu do nawierzchni. Tutaj pomocnym narzędziem może być zaproponowany w niniejszym referacie opis relacji wytrzymałościowych dotyczących betonu do nawierzchni, gdzie na podstawie odpowiedniego modelu (algorytm postępowania rys. 3 oraz przykład rys. 4) można obliczyć projektowaną wytrzymałość na ścislenie pozwalającą na uzyskanie betonu o wymaganej wytrzymałości na rozciąganie. Jest to element projektowania, który wyróżnia proces doboru składu betonu do nawierzchni w porównaniu do innych przyjętych sposobów projektowania betonu. Jednocześnie wydaje się być cennym, praktycznym i potwierdzonym doświadczalnie sposobem ustalania składu tego rodzaju specjalnego betonu – jakim jest beton do nawierzchni [8].

W czwartym etapie projektowania betonu, wstępny skład betonu powstały na drodze projektowania metodą doświadczalno-obliczeniową powinien być poddany korekcie po przeprowadzeniu badań wymaganych cech mieszanki betonowej i betonu [8].



Algorytm określania minimalnej klasy wytrzymałości na ściskanie betonu do **nawierzchni dwuwarstwowej** na podstawie wymagań wytrzymałości na rozciąganie Rys. 1.



Rys. 5. Procedura projektowania betonu do nawierzchni z eksponowanym kruszywem [8]

5. Podsumowanie

Zaproponowany algorytm postępowania przy projektowaniu betonu do nawierzchni dwuwarstwowych z eksponowanym kruszywem z wykorzystaniem ustalonych doświadczalnie zależności między cechami wytrzymałościowymi betonu może stanowić użyteczne narzędzie projektowania betonu nawierzchniowego. Pozytywna weryfikacja laboratoryjna i polowa sprawiła, że schemat postępowania przy projektowaniu, jak i modele zależności wytrzymałościowych są już wdrażane w praktyczny proces projektowania i wykonywania betonu do nawierzchni dróg szybkiego ruchu i autostrad w Polsce (kat. KR5÷KR7), których ma powstać ponad 800 km, do 2020 roku.

Literatura

- [1] Jackiewicz-Rek W., Konopska-Piechurska M., Zrównoważony rozwój technologii nawierzchni betonowych – aspekty funkcjonalne, Konferencja Dni Betonu, Wisła 2012,
- [2] Jackiewicz-Rek W., Konopska-Piechurska M., Rozwój technologii nawierzchni betonowych - doświadczenia krajowe. Magazyn Autostrady, 5/2013,
- [3] Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztucznych, Politechnika Wrocławska 2014,
- [4] Konopska-Piechurska M., Jackiewicz-Rek W.: Czynniki decydujące o właściwościach wytrzymałościowych betonu do nawierzchni. Budownictwo Technologiczne Architektura, 2016, nr 1,
- [5] Konopska-Piechurska M., Jackiewicz-Rek W.: Rozwój technologii nawierzchni betonowych- doświadczenia krajowe. Magazyn autostrady, 2013, nr 5,
- [6] Konopska-Piechurska M, Jackiewicz-Rek W., Łukowski P.: Korelacje pomiędzy wytrzymałościami na ściskanie i rozciąganie dla betonów do nawierzchni dwuwarstwowych z eksponowanym kruszywem, 60. Jubileuszowa Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN oraz Komitetu Nauki PZITB, Lublin-Krynica 14-19.09.2014,
- [7] Ogólne Specyfikacje Techniczne, D-05.03.04, Nawierzchnia betonowa, GDDKiA, Warszawa, 2014,
- [8] Rozprawa doktorska Konopska-Piechurska M., Modele zależności między cechami mechanicznymi betonów do nawierzchni drogowych, Warszawa 2015,
- [9] Ruttmar I., Sustainable Road Construction – Pavement with Exposed Aggregate Concrete, Conference ESPSC 2011, Warsaw, September 6-7,
- [10] Ruttmar I., A2 Nowy-Tomyśl Świecko. Projekt nawierzchni i innowacyjna technologia wykonania, Konferencja Zastosowanie betonów w budownictwie drogowo-mostowym, Kielce 11.05.2011,
- [11] Szydło A, Ruttmar I., Technology of the expose aggregate concrete – improvement of safety and driving comfort on concrete pavements. Experience in Poland., Conference MOBILITA'11, Bratislava, May 26-27 2011,
- [12] PN-EN 12350-1 Badania mieszanki betonowej. Część 1: Pobieranie próbek,
- [13] PN-EN 12390-2 Badania betonu. Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych,
- [14] PN-EN 12390-3 Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań,
- [15] PN-EN 12390-5 Badania betonu. Część 5: Wytrzymałość na zginanie próbek do badań,
- [16] PN-EN 12390-6 Badania betonu. Część 6: Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek do badań.