

Zrównoważony rozwój technologii nawierzchni betonowych – aspekty funkcjonalne

1. Wstęp

Przemysł betonowy, z uwagi na ogromną materiałochłonność, a także energochłonność i dużą emisję CO₂, jest szczególnym adresatem idei zrównoważonego rozwoju. W świetle powyższego, celowym staje się opracowanie warunków wdrażania, w tej gałęzi budownictwa, betonów zrównoważonych, czyli takich kompozytów, które powstają z optymalnie dobranych pod względem jakościowym i ilościowym składników przy minimalnej degradacji środowiska i zużyciu zasobów naturalnych oraz maksymalnej oszczędności energii. Cel ten można osiągnąć na drodze zastosowania alternatywnych składników do betonów, jak również przy pomocy odpowiednich rozwiązań technologicznych.

Podstawowym założeniem przy opracowywaniu zrównoważonego betonu do nawierzchni jest wykorzystanie efektu synergii. Z bardzo dobrych i drogich składników można w wyniku synergii (współdziałania) negatywnej oraz „niedostatków” technologicznych uzyskać marny kompozyt. Celem jest rozwiązanie zadania odwrotnego – **ze składników gorszych i tańszych, ale łatwo dostępnych (często uciążliwych dla środowiska) – uzyskać „lepszy” materiał** w wyniku zapewnienia i wykorzystania **właściwej synergii**.

Zrównoważenie technologii betonu nawierzchniowego jest możliwe na drodze projektowania zgodnego z koncepcją użyteczności („performance concept”), w tym zastosowania odpowiednio dobrych materiałów, również odpadowych (popiół lotny), stanowiących częściowy zamiennik składników obecnie stosowanych, jak również optymalizację działań technologicznych.

Zrównoważony beton do nawierzchni drogowych powinien być zaprojektowany tak, aby był betonem trwałym, charakteryzującym się dobrymi cechami funkcjonalnymi, pozwalającymi na satysfakcjonującą eksploatację w projektowanym długim okresie użytkowania, np. 30 lat. Dotyczy to zarówno sposobów wykończenia nawierzchni jak i doboru właściwej pielęgnacji.

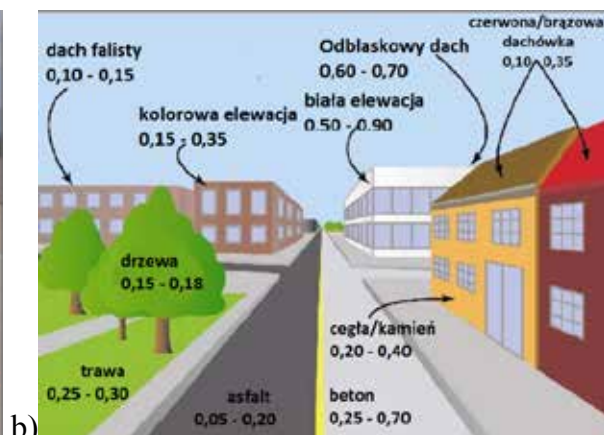
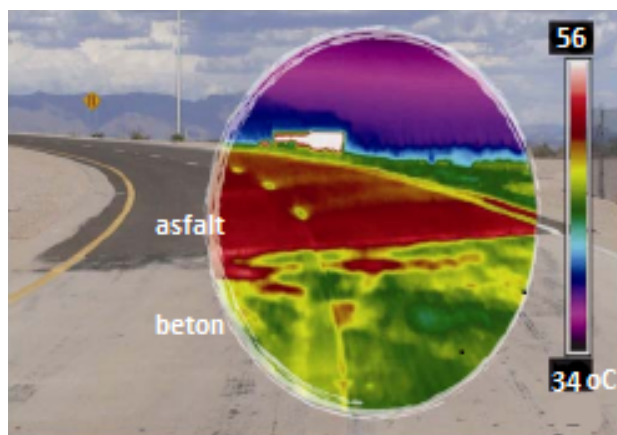
Coraz częściej przy budowie dróg, również dróg krajowych, wybierane są rozwiązania nawierzchni sztywnych, czyli betonowych. Jest to wariant charakteryzujący się większą trwałością w porównaniu z wariantem, dominujących dotychczas w Polsce, nawierzchni podatnych, asfaltowych. W technologii nawierzchni betonowych powstają i są przewidziane do realizacji zarówno drogi gminne, jak i autostrady o dużym natężeniu ruchu [13].

2. Zalety nawierzchni betonowych

Nawierzchnie betonowe mają swoją ponadstuletnią historię (pierwsza nawierzchnia w tej technologii powstała w 1891 roku w Bellefontaine w Ohio [6]), udokumentowaną na nadal istniejących drogach. Wtedy jeszcze nienazwane betonem, wykonywane w innych warunkach, były innowacyjne w swoim czasie. „Sztuczny kamień” [6] bardzo szybko zyskał sobie wielu zwolenników i wykonawców, najpierw tylko w amerykańskich miastach, potem poza nimi – jako „Dollarway” (koszt wybudowania 1 stopy długości wynosił 1 dolara; 1913 r.), aż wreszcie na autostradach. Obecnie nawierzchnie betonowe są stosowane z uwagi na lepsze właściwości w porównaniu z nawierzchniami asfaltowymi, głównie takie jak:

- większa trwałość nawierzchni w długim okresie użytkowania (nie wymagają napraw, wymiany nawierzchni przez nawet 50 lat [7])
- prawidłowo skonstruowane i teksturowane nawierzchnie betonowe mają mniejsze odkształcenia (brak zjawiska koleinowania), co skutkuje większym bezpieczeństwem oraz komfortem jazdy i zmniejszonym zapotrzebowaniem na paliwo [4]
- mieszanki betonowe do nawierzchni mogą zawierać przemysłowe produkty uboczne/odpadowe, np. cementy z popiołem lotnym i żużlem wielkopieczym), eliminując potrzebę ich składowania, ale również – zmniejszając zapotrzebowanie na nowe materiały i oszczędzając zasoby naturalne [8,9]

Rys. 1. a) Termograficzny obraz przykładowej nawierzchni w warunkach letnich (Mesa, Arizona). Różnica temperatur pomiędzy nawierzchnią betonową (na pierwszym planie) i nawierzchnią asfaltową (w tle) wynosi 120C w tych samych warunkach otoczenia. B. Albedo (zdolność odbijania promieni) w zależności od rodzajów powierzchni [7]



- jaśniejszy kolor nawierzchni betonowych i zwiększona refleksyjność poprawiają widoczność, szczególnie w nocy, obniżając ilość energii potrzebnej do oświetlenia drogi w nocy oraz przyczyniają się do ograniczenia „urban heat island” (rys. 1a) i generacji smogu [7, 13]
- odpowiednio wykończona powierzchnia nawierzchni betonowej może prowadzić do zmniejszenia poziomu hałasu i zwiększenia bezpieczeństwa oraz komfortu jazdy (rys. 1b).

Nawierzchnie betonowe uchodzą za droższe na etapie realizacyjnym, jednak niższe koszty związane z eksploatacją jak również większa trwałość tego rodzaju nawierzchni rekompensują tę różnicę. Ponadto rosnące ceny ropy naftowej pozwalają prognozować znaczny wzrost cen asfaltu, a co za tym idzie również nawierzchni asfaltowych. Ryzyko takie nie dotyczy betonu i nawierzchni betonowych, wzrost cen cementu, pomimo bardzo dużego popytu na cement w ostatnim roku, był niewielki i równy wskaźnikowi inflacji. Przy założeniu, że koszt zrównoważonego betonu nawierzchniowego będzie niższy, korzyści ekonomiczne wynikające z zastosowania proponowanej technologii będą dodatkową motywacją i argumentem za jej wyborem na wstępnym etapie projektowania dróg i autostrad. Nawierzchnie betonowe mogą być konkurencyjne już na etapie wykonawczym, a bezkonkurencyjne w przypadku rozpatrywania ich trwałości.

Trwałość nawierzchni betonowych jest znacznie większa niż asfaltowych [4-7]. Z danych niemieckich wynika, że po 23 latach użytkowania tylko 5% nawierzchni betonowych wymaga napraw. Dla nawierzchni asfaltowych wskaźnik ten wynosi od 80 do 100% [5].

Ponadto, najistotniejszym parametrem, który wyróżnia nawierzchnie betonowe, jest bezpieczeństwo użytkowania. Istnieją wyniki badań świadczące o zdecydowanie większym bezpieczeństwie nawierzchni betonowych, głównie z powodu jasnego koloru, sprzyjającego lepszej widoczności, jak również lepszej przyczepności kół pojazdów do nawierzchni.

3. Formułowanie wymagań dla betonu do nawierzchni – specyfikacja

Szczególnie uwagi i wiedzy technologicznej wymaga prawidłowe formułowanie specyfikacji oraz wymagań odnośnie betonu do nawierzchni, z uwzględnieniem przede wszystkim zachowania

trwałości i bezpieczeństwa konstrukcji, przy jednoczesnym zapewnieniu efektywności ekonomicznej przyjętego rozwiązania.

3.1. Pojęcie i rola specyfikacji betonu

Według słownika języka polskiego, specyfikacja to wyszczególnienie, bardzo dokładny wykaz przedmiotów, czynności lub informacji, zwykle będący uszczegółowieniem czegoś.

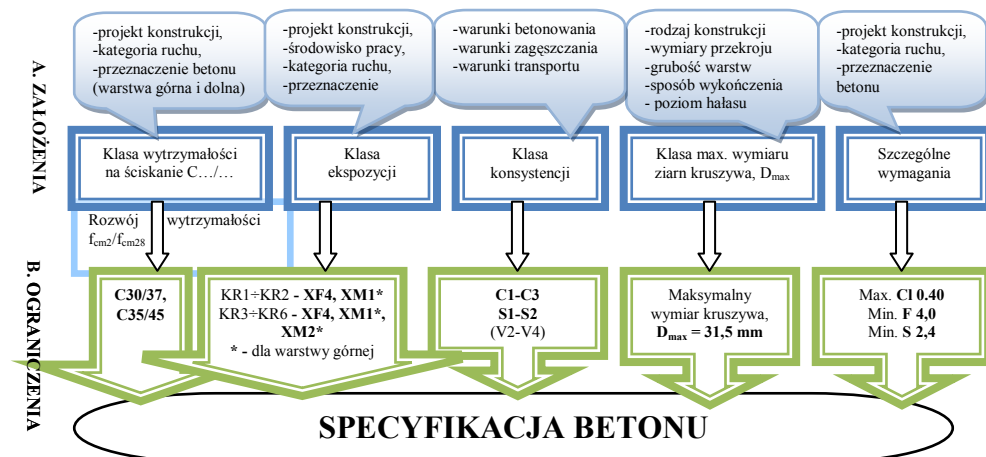
Pojęcie specyfikacji betonu pojawiło się w normie PN-EN 206-1[11] dla określenia zestawienia wszystkich wymaganych cech zamawianego betonu.

Specyfikacja betonu projektowanego (rys. 2) powinna zawierać wymaganie zgodności z PN-EN 206-1[11], klasę wytrzymałości na ściskanie, klasę ekspozycji, maksymalny nominalny górny wymiar ziaren kruszywa, klasę zawartości chlorków (ponadto dla betonu lekkiego: klasę gęstości lub założoną gęstość, a dla betonu ciężkiego – jedynie założoną gęstość) oraz klasę lub założoną wartość konsystencji. Zakres specyfikacji betonu recepturowego zawiera skład i składniki, jakie powinny być użyte w celu dostarczenia betonu o ustalonym składzie. Ponadto w [11] określono zakres wymagań dodatkowych zarówno dla betonu projektowanego jak i recepturowego.

Dokumenty specyfikacji betonu, zarówno te, które stanowią integralną część projektu konstrukcyjnego jak i te uszczegółowione przez wykonawcę robót, są pierwszym etapem w procesie powstawania trwałej konstrukcji z betonu. Prawidłowe sformułowanie tych dokumentów jest warunkiem zapewnienia bezpieczeństwa konstrukcji szczególnie narażonym na oddziaływanie środowisk agresywnych. Od specyfikacji zależy proces projektowania zamawianego betonu, jak również sposób jego wbudowania i pielęgnacji. Zatem wszystkie następnne procesy technologiczne uwarunkowane są zaleceniami/wymaganiami zawartymi w specyfikacji betonu [14,15].

3.2. Zakres specyfikacji betonu do nawierzchni drogowych

Specyfikacja betonu do nawierzchni drogowych powinna zapewnić jego trwałość i charakteryzować się dobrymi cechami funkcjonalnymi, pozwalającymi na satysfakcjonującą eksploatację w projektowanym długim okresie użytkowania (np. 30 lat), ale również odpowiadać zasadzie zrównoważonego rozwoju. Dla-



Rys. 2. Zakres specyfikacji betonu do nawierzchni betonowych

tego też powinno się w niej znaleźć raczej wymagania odpowiedniej jakości cech betonu do konkretnej realizacji niż to, w jaki sposób te parametry mają być osiągnięte. Celowym jest, w tym przypadku, formułowanie wymagań jak dla betonu projektowanego. Zakres wymagań podstawowych, które powinna zawierać każda specyfikacja betonu projektowanego (rys. 2), powinien uwzględniać informacje wymagane w normie PN EN 206-1[11] oraz, w zależności od potrzeb projektu, powinna być ona uzupełniona dodatkowymi wymaganiami zawartymi np. w serii norm dotyczących nawierzchni betonowych odcinków nawierzchni betonowych, jak i krajową literaturę [16,19], można zaryzykować stwierdzenie, że przy projektowaniu drogowych nawierzchni betonowych w Polsce funkcjonują najczęściej trzy podejścia/modele specyfikowania cech betonu:

3.3. Trudności w specyfikowaniu wymaganych cech betonu do nawierzchni

Na etapie projektowania nawierzchni betonowych w Polsce wiele trudności przysparza brak kompleksowych wytycznych dotyczących wymagań i technologii wykonywania betonowych nawierzchni. Analizując dostępne specyfikacje techniczne zrealizowanych odcinków nawierzchni betonowych, jak i krajową literaturę [16,19], można zaryzykować stwierdzenie, że przy projektowaniu drogowych nawierzchni betonowych w Polsce funkcjonują najczęściej trzy podejścia/modele specyfikowania cech betonu:

1. *tradycyjne*, według utrwalonych w praktyce polskich wymagań
2. *uniwersalne* – z próbą przejścia z wymagań, określanych według już nieaktualnych polskich norm, na nową klasyfikację, zgodną z normami europejskimi
3. stosowanie *wytycznych niemieckich* w warunkach polskich.

Trzy powyższe podejścia do specyfikowania cech betonu do nawierzchni drogowych na przykładzie dostępnych/funkcjonujących w Polsce specyfikacji technicznych dla czołowych inwestycji drogowych: A4 na odcinku Wykory –Krzyżowa, S8 węzeł Wro-

ctaw (A1) – Odcinek 2, A2 Nowy Tomysł – Świecko, zestawiono w tablicy nr 1.

Konsekwencją wymienionych sposobów specyfikowania są często różnie postawione wymagania odnośnie właściwości cech betonu dla tych samych warunków konstrukcji (głównie wytrzymałości na ściskanie, zginanie, rozciąganie przy rozłupywaniu). Niejednokrotnie trudnością dla specyfikującego jest określenie wymagań dla betonów nawierzchniowych oraz wskazanie dokumentów odniesienia.

Osoby, tworzące specyfikacje techniczne, w większości bazując na specyfikacjach wcześniej funkcjonujących, według wycofanych polskich norm z grupy PN-B, próbują na ich podstawie przypisywać klasy według norm europejskich PN-EN. Jednak bezpośrednie przełożenie wymagania według „starej” normy na wymagania europejskie nie jest najwłaściwsze i wiąże się z wieloma trudnościami realizacyjnymi, skutkującymi najczęściej zwiększeniem kosztów. Na ogół problem dotyczy takich cech betonu nawierzchniowego jak:

– Wytrzymałość na ściskanie

Do niedawna najczęściej wymaganą klasą wytrzymałości betonu do nawierzchni była B40 wg PN-B-06250, której nie można bezpośrednio utożsamiać z klasą wytrzymałości na ściskanie betonu C35/45. Sposób projektowania oraz inne kryteria zgodności oceny klasy wytrzymałości betonu na ściskanie odróżniają te dwa różne betony.

– Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu

Pozornie mogłoby się wydawać, że klasa F5,5 odpowiada oznaczeniu wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu 5,5 MPa. Jednak kryterium oceny zgodności wytrzymałości na zginanie wg PN-EN 206-1[11], dla klasy F 5,5, wynosi 6,0 MPa dla średniej z 3 próbek, czyli jest ono zawyżone w stosunku do wcześniejszych wymagań 5,5 MPa (wg PN-S-96015). Zawyżanie parametrów bez uzasadnienia rodzi dodatkowe koszty i powoduje marnotrawstwo.

– Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu

Zmiana wymagania z 3,3 MPa na klasę S4,0 (wartość średnia $\geq 4,5$ MPa, a wartość minimalna 3,5MPa) generuje wymuszone zmiany w recep-

Tablica 1. Trzy podejścia do specyfikowania cech betonu do nawierzchni drogowych

L.p.	Właściwości	Specyfikacja betonu do nawierzchni drogowych według wymagań różnych dokumentów odniesienia		
		„tradycyjne” SST	„uniwersalne” SST	wytyczne niemieckie
		A4 na odcinku Wykory -Krzyżowa	S8 węzeł Wrocław (A1) -Odcinek 2	A2 Nowy Tomysł - Świecko
1	Wytrzymałość na ściskanie	B40 wg PN-B-06250	C35/45 wg PN-EN 206-1	C30/37 (o min.wytr. 40 MPa dla warstwy górnej)
2	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu	5,5 MPa wg PN-S-96015	F5,5 wg PN-EN 12390-5	F5,5 wg EN 12390-5
3	Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu	3,3 MPa PN-EN 12390-6	S4,0 wg PN-EN 12390-6	brak wymagań
4	Mrozoodporność	F150 wg PN-B-06250	FT2 wg PN-EN 12390-9	FT1 wg EN 12390-9
5	Nasiąkliwość	<5% PN-B-06250	brak wymagań	brak wymagań
6	Wskaźnik rozmieszczenia porów w betonie	$\leq 0,200$ mm PN-EN 480-11	$\leq 0,200$ mm wg PN-EN 480-11	$\leq 0,200$ mm wg EN 480-11
7	Zawartość mikroporów o średnicy poniżej 0,3mm (A300)	brak wymagań	$\geq 1,5\%$ wg PN-EN 480-11	$\geq 1,8\%$ wg EN 480-11



Rys. 3. Układ warstw konstrukcji nawierzchni betonowej z eksponowanym kruszywem na odcinku A2

turze betonu, a w konsekwencji również wzrost klasy wytrzymałości na ściskanie betonu i znaczny wzrost kosztów.

– Mrozoodporność

Dawne wymaganie stopnia mrozoodporności F150 (tzw. mrozoodporności „wewnętrznej”) zastępowane jest wymaganiem powierzchniowej odporności betonu na działanie mrozu w obecności środków odladzających poprzez klasę odporności FT1 lub FT2. Publikowane badania betonów [17,18] wskazują, że beton może spełniać tylko jedno z kryteriów, nie spełniając drugiego. Wybór właściwego wymagania powinien wynikać z analizy warunków pracy betonu w konstrukcji. Dodatkowo formułowany jest wymóg badania struktury porowatości betonu, w tym wskaźnika rozmieszczenia porów w betonie oraz zawartości mikroporów o średnicy poniżej 0,3 mm (A300).

4. Przykład nawierzchni betonowej

zgodnej z zasadami zrównoważonego rozwoju Jednym ze sposobów pozwalających na zrównoważenie technologii nawierzchni betonowych jest projektowanie i wykonywanie nawierzchni dwuwarstwowych. Wykonanie nawierzchni w technologii dwóch warstw pozwala różnicować wymagane cechy betonu. W związku z bezpośrednim oddziaływaniem czynników agresywnych na beton, takich jak: ścieranie, cykliczne zamrażanie i odmrażanie, także w obecności środków odladzających – wysokie wymagania są stawiane betonowi przeznaczonemu do warstwy górnej nawierzchni. Wyższe wymagania dotyczące składu i oczekiwanych cech betonu wiążą się z wyższym kosztem produkcji, co nie jest niezbędne do warstwy dolnej nawierzchni.

Projektowanie dwuwarstwowych nawierzchni jest zgodne z zasadą zrównoważonego rozwoju, kiedy to, w myśl profesora Czarneckiego, powinniśmy kierować się ideą użyteczności, określając cechy minimalne zapewniające wypełnienie funkcji, cechy, które zapewniają odpowiedni komfort użytkownika a także estetykę, czyli bardzo ważne jest prawidłowe określenie wymaganych właściwości kompozytu, ponieważ nadmiar właściwości kosztuje. I mówimy tu nie tylko

o nadmiarze cech, ale także o skali wartości poszczególnych cech [1].

Jako nawierzchnia betonowa dwuwarstwowa z eksponowanym kruszywem został wykonany w Polsce odcinek autostrady A2 Nowy Tomyśl – Świecko. Nawierzchnia została zaprojektowana według wytycznych niemieckich dla prognozowanego ruchu 62,5 mln osi o nacisku 115 kN (rys. 3).

Beton z eksponowanym kruszywem (z ang. EAC – Exposed Aggregate Concrete), nazywany również „betonem płukany”, charakteryzuje się szczególnym sposobem obróbki i wykończenia powierzchni betonu. Nawierzchnie betonowe tego typu mogą być wykonywane jedno- lub dwuwarstwowo przy zastosowaniu technologii tzw. mokre na mokre.

Główne etapy wykonywania nawierzchni betonowych w technologii dwuwarstwowej, zastosowanej na budowie autostrady A2, obejmowały:

- 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.

W omawianym przypadku nawierzchni zastosowanie w dolnej warstwie betonu spełniającego wymagania wytrzymałościowe takie same, jak dla betonu górnej warstwy, jednak przy możliwości zastosowania kruszywa o słabszej odporności na polerowanie ($PSV < 53$) i użyciu zmniejszonej ilości cementu nawet o 80 kg/m³ w stosunku do betonu warstwy górnej, pozwoliło znacznie obniżyć koszt receptury.

5. Podsumowanie

Powstanie trwałej nawierzchni z betonu wiąże się z szeregiem działań, którym powinna przyświecać idea użyteczności, łącząca w sobie bieżące wymagania funkcjonalne i wyzwania zrównoważonego rozwoju. Dotyczy to zarówno formułowania specyfikacji betonu do nawierzchni, która powinna być

indywidualna w treści, dostosowana do warunków pracy konstrukcji, a nie szablonowa i „przesadzona”, jak i procesu wykonawczego, który powinien być oparty na głębokiej wiedzy i praktyce inżynierskiej, wspartej nowoczesnymi rozwiązaniami technologicznymi.

dr inż. Wioletta Jackiewicz-Rek
Politechnika Warszawska
mgr inż. Małgorzata Konopska-Piechurska
TPA Instytut Badań Technicznych Sp. z o.o.

Artykuł przygotowany w ramach realizacji Pracy Statutowej nr 504P 1088 1207.

Literatura

- 1 Pęknięcia na A1 i A2 muszą być naprawione solidnie, 24 lutego 2012, ms / PAP
- 2 <http://www.rmfm24.pl/raport-euro2012/fakty/news-gddkia-wzywa-do-usuniecia-usterek-na-autostradowym-asfalcie,nld,435402>, 23 lutego 2012
- 3 Raz, że najnowocześniejsza autostrada w Polsce, A2, że betonowa, <http://www.polskicement.pl>, 5 grudnia 2012
- 4 G.W. Taylor, P. Farrel, A. Woodside, Effects of pavement structure on vehicle fuel consumption. Phase III – prepared for Natural Resources Canada Action Plan 2000 on Climate Change and Cement Association of Canada by the National Research Council of Canada, January 2006
- 5 www.drogibetonowe.pl.
- 6 Concrete Paving – 100 Years of Progress Through Innovation, Concrete in Highway Transportation, Portland Cement Association, USA, 1991
- 7 Concrete Pavement, The Right Choice Beneath Your Tires, American Concrete Pavement Association (ACPA), USA, 2010
- 8 Guidelines for Concrete Mixtures Containing Supplementary Cementitious Materials to Enhance Durability of Bridge Decks, NATIONAL COOPERATIVE

HIGHWAY RESEARCH PROGRAM NCHRP REPORT 566, WASHINGTON 2007

- 9 A Synthesis of Data on the Use of Supplementary Cementing Materials in Concrete Pavement Applications Exposed to Freeze/Thaw and Deicing Chemicals (Cement Association of Canada 2005)
- 10 PN-EN 13877-1:2007 Nawierzchnie betonowe. Część 1: Materiały
- 11 PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- 12 ZTV Beton-StB 07, Dodatkowe techniczne warunki kontraktu i wytyczne dla budowy warstw nośnych z hydraulicznymi elementami wiążącymi i nawierzchni drogowych z betonu, wydanie 2007
- 13 Rozmowa z Tomaszem Rudnickim, Jakość dróg ulega poprawie i na to mamy dowody, BTA, 2/2012
- 14 W. Jackiewicz-Rek, M. Konopska, Rola specyfikacji betonu w zapewnieniu bezpieczeństwa obiektów mostowych, XXV Konferencja Naukowo-Techniczna Awary, 2011
- 15 W. Jackiewicz-Rek, M. Konopska, Rola specyfikacji betonu do obiektów mostowych, „Budownictwo Technologie Architektura”, 55/2011
- 16 A. Szydło, P. Mackiewicz, Nawierzchnie betonowe na drogach gminnych, Polski Cement, 2005
- 17 W. Jackiewicz-Rek, Kształtowanie mrozoodporności betonów wysokopopiołowych, Rozprawa doktorska, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej 2010
- 18 W. Jackiewicz-Rek, Betony wysokopopiołowe, „Materiały Budowlane” 18-20 (2010)
- 19 A. Szydło, Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego. Teoria, wymiarowanie, realizacja, „Polski Cement”, 2004
- 20 PN-EN 13877-2: 2007 Nawierzchnie betonowe. Część 2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych
- 21 PN-EN 13877-3: 2007 Nawierzchnie betonowe. Część 3: Wymagania dla dybli stosowanych w nawierzchniach drogowych betonowych

