

## NAWIERZCHNIE DRÓG O KATEGORII RUCHU KR1-KR2 Z BETONU WIBROWAŁOWANEGO

Piotr WOYCIECHOWSKI<sup>a\*</sup>, Konrad HARAT<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Katedra Inżynierii Materiałów Budowlanych, Politechnika Warszawska, Al. Armii Ludowej 16, 00-635 Warszawa

<sup>b</sup> Harat Przedsiębiorstwo Drogowo-Budowlane sp. j., ul. Dworcowa 16, 77-200 Miastko

**Streszczenie:** Przy współpracy firmy Harat PRD s.j. oraz Katedry Inżynierii Materiałów Budowlanych została opracowana technologia wykonywania nawierzchni drogi pod obciążenie kategorią ruchu KR1 i KR2, z wykorzystaniem betonu wibrowałowanego. W referacie przedstawiono podstawowe zasady projektowania składu takiego betonu i omówiono technologię wykonywania nawierzchni drogi, zastosowaną jesienią 2010 przy pierwszej w Polsce realizacji odcinka drogi z betonu wibrowałowanego w Miastku (woj. Pomorskie).

*Słowa kluczowe:* drogi betonowe, cementowy beton drogowy, beton wibrowałowany.

### 1. Wprowadzenie

Technologia betonu wałowanego i wibrowałowanego (RCC – *Roller Compacted Concrete*) jest szeroko stosowana w wykonawstwie nawierzchni betonowych w Stanach Zjednoczonych i Kanadzie ale także w krajach Europy Zachodniej, głównie do budowy dróg lokalnych (*low speed roads*), placów postojowych i manewrowych, nabrzeży portowych, lotnisk. W wielu krajach (w tym szczególnie w dalekowschodniej Azji) stosowana jest także w wykonawstwie wielkich obiektów hydro-technicznych. Oprócz wielu publikacji z badań nad betonem RCC, dostępne są także ogólnie amerykańskie wytyczne opracowane przez Portland Cement Association (2004, 2005, 2006), American Concrete Institute (1995, 2000) i US Army Corps of Engineers (1995).

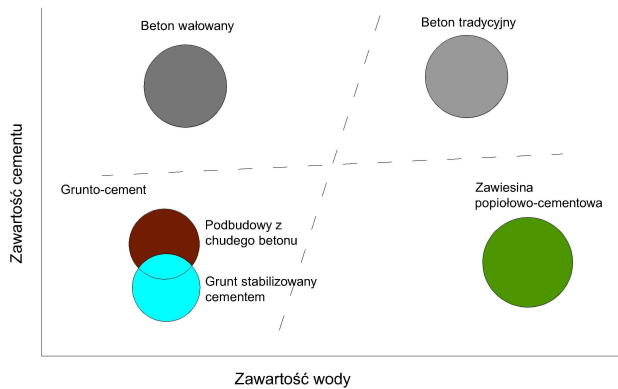
W Polsce beton wałowany jest rzadko stosowany w praktyce, głównie przy wykonywaniu podbudów drogowych a nie warstw ścieralnych. Jednocześnie od lat mówi się o nawierzchniach betonowych jako dobrej alternatywie do nawierzchni asfaltowych, wskazując na ich trwałość, niskie koszty eksploatacji czy odporność na koleinowanie. Przykłady nawierzchni betonowych omawiane w krajowej literaturze (Szydło i Mackiewicz, 2005) dotyczą realizacji wykonywanych w technologii tak zwanego betonu „lanego”, układanego w deskowaniach i zagęszczanego wibracyjnie. Autorzy w dalszej części referatu przedstawią szczegóły realizacji niewielkiej ale prekursorskiej w kraju inwestycji drogowej z użyciem

betonu wibrowałowanego, wykazując techniczne i ekonomiczne zalety takiego rozwiązania.

### 2. Specyfika betonu wałowanego

Beton wałowany charakteryzuje się małą zawartością wody zarobowej. Świeża mieszanka betonowa bardziej przypomina swoją konsystencją wilgotny grunt niż konwencjonalny beton. W porównaniu z betonem wibrowanym beton wałowany ma wyższy punkt piaskowy, wyższą zawartość w kruszywie frakcji pylastych (<0,075 mm) w granicach od 2-8%, nieco mniejszą zawartością cementu przy porównywalnych klasach wytrzymałości. Wbudowywanie betonu wałowanego odbywa się za pomocą tradycyjnego sprzętu do wykonywania nawierzchni asfaltowych. Rozkłada się go za pomocą ciężkich rozkładarek do asfaltu, a zagęszcza walcami wibracyjnymi o masie powyżej 8.000 kg. Beton wałowany musi się charakteryzować optymalną wilgotnością mieszanki przy rozkładaniu. W przypadku zbyt suchej mieszanki nie uzyska on właściwego wskaźnika zagęszczenia, a w przypadku zbyt plastycznej mieszanki nie wytrzyma nacisku walców przy zagęszczaniu. Schematycznie przedstawiono (rys. 1) zbiór rodzajów materiałów cementowych o niskiej i średniej wytrzymałości, sklasyfikowanych w zależności od ilości wody i cementu.

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: p.woyciechowski@il.pw.edu.pl



Rys. 1. Porównanie składów spoiwa wybranych materiałów cementowych według Portland Cement Association

Na podstawie wieloletnich badań i doświadczeń, w Stanach Zjednoczonych opracowano dwie procedury empiryczne projektowania składu mieszanki betonu wałowanego: Roller Compacted Concrete Pavements Design and Construction (U.S. Army Corps of Engineers, 1995) oraz Report on Roller-Compacted Concrete Pavements, (American Concrete Institute 1995). Główne zalecenia do projektowania betonu wałowanego są następujące:

- ilość cementu powinna wynosić od 12 do 17% suchej masy kruszywa;
- maksymalny wymiar ziaren kruszywa nie powinien przekraczać 25 mm;
- ilość ziaren kruszywa mniejszych od 0,075 mm powinna wynosić od 2 do 8%;
- ilość wody i stosunek w/c powinien być tak dobrany by mieszanka betonu wałowanego była urabialna i podatna na zagęszczanie przez wałowanie (próba według zmodyfikowanej metody Proctora i weryfikacja w skali technicznej).

### 3. Technologia wykonywania nawierzchni z betonu wałowanego

Badania w skali laboratoryjnej, w tym praca magisterska (Harat, 2009), a następnie weryfikacja w skali technicznej przeprowadzona przez Harat Przedsiębiorstwo Drogowo-Budowlane sp. j. przy współpracy z Katedrą Inżynierii Materiałów Budowlanych Politechniki Warszawskiej doprowadziły do opracowania składów betonu wałowanego i technologii wykonywania nawierzchni.

W listopadzie 2010 roku dzięki otwartości Gminy Miastko (woj. Pomorskie) na nową technologię udało się wykonać odcinek drogi o nawierzchni z betonu wałowanego. Nawierzchnię wykonano w ramach remontu ul. Fabrycznej w Miastku. Podbudowę stanowiła istniejąca droga, częściowo o zniszczonej nawierzchni asfaltowej i częściowo z trylinki betonowej. Starą nawierzchnię drogi wyrównano za pomocą kruszonego gruzu betonowego i zagęszczono. Na tak przygotowanej podbudowie wykonano nawierzchnię z betonu wałowanego o grubości 17 cm i szerokości 3,00 m. Następnie wykonano obustronne pobocza z gruzu betonowego o szerokości 0,50 m. Długość remontowanego odcinka wyniosła 325 m.

Mieszankę betonową dostarczano na budowę za pomocą wywrotek samochodowych, istotne jest by samochody wyposażone były w plandeki do przykrywania mieszanki betonowej, co chroni przed jego wysychaniem. Beton wbudowywano w nawierzchnię w sposób ręczny, tzn. dostarczano do pracowników wykonujących nawierzchnię sukcesywnie małymi porcjami za pomocą ładowarki a następnie profilowano nawierzchnię za pomocą specjalnej listwy do profilowania (rys. 2).



Rys. 2. Profilowanie nawierzchni listwą (fot. własna)

Nawierzchnię układano z naddatkiem około 20% w stosunku do grubości projektowej, ze względu na efekt zagęszczenia. Beton zagęszczano za pomocą walca wibracyjnego stalowo-gumowego o masie 8 t (rys. 3), brzegi nawierzchni dogęszczano za pomocą lekkiej płyty wibracyjnej. W celu prawidłowego zagęszczenia nawierzchni wykonywano od 4 do 6 przejazdów dla każdej szerokości roboczej walca. Kontrolę prawidłowego zagęszczenia nawierzchni prowadzono za pomocą płyty obciążanej dynamicznie. Dla prawidłowo zagęszczonej nawierzchni dynamiczny moduł odkształcenia  $E_{vd}$  wynosił od 40 do 50 MPa, co odpowiada modułom uzyskiwanym dla prawidłowo zagęszczonej podbudowy z kruszywa naturalnego. Bezpośrednio po zagęszczeniu nawierzchni można było po niej chodzić, a następnego dnia po wykonaniu odcinka nawierzchni udostępnić dla ruchu lokalnego. Ze względu na sprzyjające warunki atmosferyczne i porę roku nie prowadzono pielęgnacji wilgotnościowej wykonanej

nawierzchni betonowej. Jednak podczas wykonywania nawierzchni w okresie wiosenno-letnim bezwzględnie wymagana jest intensywna pielęgnacja wilgotnościowa betonu.

Po wykonaniu nawierzchnia charakteryzowała się jednorodną i szczelną strukturą. Poza przerwami technologicznymi rozmieszczonymi co 60-70 m nie wykonywano dodatkowych nacięć szczelin dylatacyjnych ze względu na mały skurcz betonu wałowanego. W celu oceny jakości wykonanej nawierzchni po trzech miesiącach od jej wykonania pobrano odwierty do badań. Przeprowadzono badanie gęstości objętościowej, nasiąkliwości i wytrzymałości na ściskanie pobranych próbek betonowych (tab. 1). Otrzymane wyniki porównano do wyników uzyskanych dla odwiertów z nawierzchni betonowej wykonanej z betonu „lanego” klasy C25/30 wykonanego z tego samego rodzaju kruszywa i cementu. Pobrane próbki miały kształt walcowy o średnicy 172 mm i wysokości 150 mm.



Rys. 3 Zagęszczanie betonu drogowym walcem wibracyjnym (fot. własna)

Tab. 1. Porównanie właściwości betonu wałowanego i „lanego” (badania własne)

Właściwości	Beton wałowany C25/30	Beton drogowy C25/30
gęstość (w stanie naturalnej wilg.) [kg/dm <sup>3</sup> ]	2,41	2,43
nasiąkliwość [%]	4,3	4,7
średnia wytrzymałość na ściskanie [MPa]	31,9	37,1

Przeprowadzone badania potwierdziły dobre właściwości wytrzymałościowe nawierzchni z betonu wibrowalowanego. Uzyskana gęstość objętościowa potwierdziła prawidłowe zagęszczenie betonu w nawierzchni. Niska nasiąkliwość oraz brak widocznych porów w przełamie próbek powinny się przekładać na dobrą mrozoodporność nawierzchni z betonu walowanego.

Zagadnienie mrozoodporności betonu wibrowalowanego jest obszernie rozważane w literaturze (Harat, 2009), przy czym wskazuje się na analogie do wibroprasowanych wyrobów drogowych, które dzięki wysokiemu stopniowi zagęszczenia w podobnych warunkach uzyskują strukturę zapewniającą mrozoodporność. Autorzy prowadzą obserwacje wykonanej nawierzchni w warunkach rzeczywistych (rys. 4). Po pierwszej zimie efekty są bardzo dobre ale dalsze wnioski wymagają dłuższego okresu obserwacji.

#### 4. Aspekt ekonomiczny technologii wibrowalowania

Całkowity koszt wykonania 325 m odcinka nowej nawierzchni ul. Fabrycznej wyniósł 70 000 zł brutto, co w przeliczeniu daje koszt wykonania 1 m<sup>2</sup> nawierzchni na poziomie około 70 zł brutto. W porównaniu z tradycyjną budową nawierzchni z „betonu lanego” nawierzchnia z betonu wibrowalowanego jest tańsza w budowie, głównie ze względu na niższy koszt produkcji 1 m<sup>3</sup> betonu (niższa zawartość cementu) oraz bardziej efektywne i mniej pracochłonne wykonawstwo nawierzchni. Podczas budowy dłuższych odcinków nawierzchni betonowych przy zastosowaniu rozkładarki koszty budowy można jeszcze bardziej obniżyć.

Porównanie kosztów budowy nawierzchni wraz z górną warstwą podbudowy drogi KR1 (tab. 2) wykonano dla nawierzchni asfaltowych, betonowych



Rys. 4. Nawierzchnia ul. Fabrycznej w Miastku kilka tygodni po zakończeniu robót (fot. własna)

Tab. 2. Porównanie kosztów budowy

Warstwy nawierzchni	Cena budowy 1 m <sup>2</sup> konstrukcji nawierzchni na podłożu G1		
	Asfaltowa	Beton „lany”	Beton wibrowalowany
Nawierzchnia	4 cm BA + 4 cm BA	18 cm – BC wibrowany	18 cm – BC wibrowalowany
	59,58 PLN	71,51 PLN	63,53 PLN
Górna warstwa podbudowy	20 cm – KŁSM	15 cm KŁSM	15 cm - KŁSM
	36,08 PLN	27,33 PLN	27,33 PLN
RAZEM	95,66 PLN	98,84 PLN	90,86 PLN
Porównanie do nawierzchni asfaltowej, %	100	103	95

Oznaczenia: BA – beton asfaltowy, BC – beton cementowy, KŁSM – kruszywo łamane stabilizowane mechanicznie

„lanych” i z betonu wibrowanego, przyjmując najbardziej popularną podbudowę z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie. Ceny poszczególnych warstw zostały określone na podstawie cen średnich SEKOCENBUD z III kwartału 2010 r., natomiast cenę nawierzchni z betonu wałowanego określono na podstawie własnych kalkulacji. W analizowanym przypadku technologia wibrowania jest tańsza o około 5% od asfaltowej i około 8% od „lanego” betonu wibrowanego.

Dla przedstawionych rodzajów konstrukcji na podłożu G1 należy wykonać warstwę odsączającą z piasku o grubości co najmniej 10 cm. Warto zauważyć różnicę w projektowanym czasie eksploatacji nawierzchni, wynoszącym dla dróg asfaltowych 20 lat natomiast dla dróg betonowych 30 lat. Biorąc pod uwagę dłuższy o połowę czas eksploatacji nawierzchni betonowych, koszt budowy 1 m<sup>2</sup> nawierzchni z betonu wibrowanego wydaje się bardzo atrakcyjny nawet w przedstawionym wariantcie ręcznego rozkładania mieszanki. Zmechanizowanie procesu formowania nawierzchni z użyciem wyspecjalizowanych rozkładarek pozwoli na obniżenie kosztów robocizny ale wiąże się ze znacznym nakładem inwestycyjnym na zakup sprzętu.

## 5. Podsumowanie

Przedstawiona w referacie technologia wibrowania betonu stanowi ciekawą alternatywę dla technologii betonu wibrowanego „lanego” przy realizacji dróg betonowych lokalnych, gminnych dojazdowych itp., a także placów postojowych i parkingów. Autorzy uważają, że technologia ta powinna być szeroko propagowana jako rozwiązanie relatywnie tanie i trwałe. Wykonany odcinek drogi stanowi obecnie pole obserwacji w warunkach rutynowej eksploatacji, co pozwoli zweryfikować poglądy o trwałości betonu wibrowanego. Prowadzone są także badania laboratoryjne nad trwałością tego betonu, w tym wyborem adekwatnej do warunków eksploatacji metody oceny mrozoodporności. Uzyskane wyniki stanowią punkt wyjścia do dalszego doskonalenia składu betonu wibrowanego i technologii jego wykonywania.

## Literatura

- Compaction of Roller-Compacted Concrete, praca zbiorowa pod kierunkiem Richard E. Miller (2000). *American Concrete Institute*, Farmington Hills.
- Guide Specification for Construction of Roller-Compacted Concrete Pavements (2004). *Portland Cement Association*.
- Harat K. (2009). Analiza możliwości zastosowania betonu wałowanego do nawierzchni dróg lokalnych, praca magisterska, *Politechnika Warszawska*, Warszawa.
- Production of Roller-Compacted Concrete (2006). *Portland Cement Association*.
- Report on Roller-Compacted Concrete Pavements, praca zbiorowa pod kierunkiem Shiraz D. Tayabji (1995). *American Concrete Institute*, Farmington Hills.
- Roller Compacted Concrete Pavements Design and Construction (1995). *U.S. Army Corps of Engineers*, Washington.
- Roller-Compacted Concrete Pavements for Highways and Streets (2005). *Portland Cement Association*.
- Szydło A., Mackiewicz P. (2005). Nawierzchnie betonowe na drogach gminnych. *Wyd. Polski Cement*, Kraków.

### ROLLER-COMPACTED CONCRETE AS A ROAD PAVEMENT UNDER TRAFFIC LOAD CATEGORY KR1-KR2

**Abstract:** The technology of roller-compacted concrete (RCC) was developed in cooperation of the Harat's PRD's s.j. and Department of Civil Engineering and Building Materials for road pavements under traffic load category KR1 and KR2. The paper presents basic design principles for the composition of roller-compacted concrete (RCC) and discusses the technology of making the road pavement, applied in autumn 2010, when Polish first implementation of a RCC took place in Miastko (Pomeranian).

Przedstawione badania wykonano częściowo w ramach pracy statutowej 504P/1080/7007 realizowanej w Katedrze Inżynierii Materiałów Budowlanych Politechniki Warszawskiej.