

Faktyczne warunki wykonawcze mieszanek betonowych z przeznaczeniem do wykonania nawierzchni betonowych

W dobie intensywnego rozwoju infrastruktury drogowej w Polsce w ostatnich latach, a w szczególności budowy dróg betonowych z eksponowanym kruszywem, niezwykle istotne jest, aby wykonana nawierzchnia z betonu cementowego wykazywała w planowanym okresie użytkowania zarówno bezawaryjność, jak i trwałość. Istotnym aspektem tych wymogów jest przestrzeganie reżimu technologicznego na każdym etapie prowadzonych prac wykonawczych.

Autorzy na podstawie swoich wieloletnich doświadczeń przedstawiają faktyczne warunki wykonawcze mieszanek betonowych na placu budowy oraz trudności, z jakimi spotykają się na co dzień podczas realizacji prac budowy nawierzchni cementowych. Omówili własne doświadczenia z procesu produkcji dróg betonowych z eksponowanym kruszywem, wraz z właściwym wykończeniem oraz zabezpieczeniem powierzchni, jak również zdali relację z budowy odcinka autostrady A-1, zrealizowanej przez firmę BUDPOL Sp. z o.o.

Referat dowodzi, iż analizując postęp technologiczny budowy nawierzchni z betonu cementowego w Polsce na przestrzeni ostatnich 20 lat, da się zauważyć istotny progres w zakresie wykonawstwa, wdrożonych technologii oraz prowadzonych prac badawczych.

Nawierzchnie drogowe z uwidocznionym kruszywem wykonane z betonu cementowego wyróżnia przede wszystkim:

- lepsza widoczność, są jaśniejsze od dróg asfaltowych (ma to szczególne znaczenie przy złych warunkach atmosferycznych)
- nie występują w nich zjawiska koleinowania
- charakteryzują się dużą przyczepnością, wysoką antypoślizgowością
- są cichsze od tradycyjnych nawierzchni asfaltowych
- poruszając się na nich, możemy zauważyć mniejsze zużycie paliwa.

Obiekty inżynierskie powinny być tak zaprojektowane i wykonane, aby w przyjętym okresie użytkowania i poziomie utrzymania była zapewniona ich trwałość, rozumiana jako zdolność użytkownika obiektu przy zachowaniu cech wytrzymałościowych i eksploatacyjnych, których miernikiem są stany graniczne nośności i stany graniczne użytkowania [14].

2. Wymagania formalne

Nawierzchnia cementowa autostrady A-1, zadanie II odcinek od km 310 + 000 do km 320 + 010 wymagała zastosowania materiałów zgodnych ze ST [1], [2]. Zastosowane materiały musiały być oznakowane znakiem CE lub B, dla których producent przedstawił deklaracje zgodności z Polską Normą, normą zharmonizowaną, aprobatą techniczną IBDiM lub europejską aprobatą techniczną. Na omawianym odcinku autostrady została zastosowana technologia z eksponowanym kruszywem. Najistotniejsze roboty związane z wykonaniem nawierzchni z betonu cementowego klasy C35/45 dla kategorii ruchu od KR5 – KR7, układanej

1. Wstęp

Nawierzchnie drogowe z uwidocznionym kruszywem wykonane z betonu cementowego w dzisiejszej dobie są już powszechnie stosowane na całym świecie. Wieloletnie dyskusje poparte licznymi badaniami jak również analizami i obliczeniami potwierdzają szereg zalet właściwie zabudowanej drogi betonowej w porównaniu do nawierzchni asfaltowej.

Tabela 1. Wymagania dla betonu nawierzchniowego wg [1]

Lp.	Właściwości projektowanego betonu nawierzchniowego	Wymagania	Metoda badania
1	Klasa wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 206, nie niższa niż: – dla kategorii ruchu KR5 + KR7	C35/45	PN-EN 12390-3
2	Wytrzymałość betonu na zginanie w 28. dniu twardnienia (średnia z trzech próbek), nie niższa niż: – dla kategorii ruchu KR5 + KR7	5,5 [MPa]	PN-EN 12390-5
3	Wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu w 28. dniu twardnienia (średnia z trzech próbek sześciennych), nie niższa niż: – dla kategorii ruchu KR5 + KR7	3,5 [MPa]	PN-EN 12390-6
4	Kategoria mrozoodporności wg PN-EN 13877-2 (dla GWN), nie niższa niż: – dla betonów w klasie ekspozycji XF4	FT2	PKN-CEN/TS EN 12390-9
5	Charakterystyka porów powietrznych w betonie: – zawartość mikroporów o średnicy poniżej 0,3 mm (A_{300}), % – wskaźnik rozmieszczenia porów w betonie, mm dla betonów w klasie ekspozycji XF4	$\geq 1,5$ $\leq 0,200$	PN-EN 480-11
6	Odporność na wnikanie benzyny i oleju ⁽¹⁾	≤ 30 [mm]	PN-EN 13877-2 Zał. B
7	Mrozoodporność F150, przy badaniu metodą bezpośrednią (dla DWN) – ubytek masy próbki, nie więcej niż, % – spadek wytrzymałości na ściskanie, nie więcej niż, %	5 20	PN-B-06250
8	Zawartość powietrza dla $D_{max}=8$ [mm] Zawartość powietrza dla $D_{max}=22,4$ [mm]	5,0 ÷ 7,0% 4,5 ÷ 6,5% +1,0/-0,5%	PN-EN 12350-7

1) Wymaganie odnosi się tylko do nawierzchni betonowych o wysokim ryzyku pojawiania się na nich paliwa lub oleju np. punkty poboru opłat, stacje benzynowe, parkingi miejsc obsługi podróży.



w dwóch warstwach o różnym składzie ziarnowym kruszywa to:

- podbudowa z chudego betonu grubości 20 cm
- warstwa separacyjna z geowłókniny
- ułożenie dolnej warstwy betonu (DWN) grubości 24 cm
 - zbrojenie szczelin poprzecznych dyblami
 - zbrojenie szczelnin podłużnych kotwami
- ułożenie górnej warstwy betonu (GWN) grubości 5 cm (z kruszywem odkrytym na powierzchni).

Wymagania dotyczące parametrów świeżej mieszanki jak i stwardniałego betonu nawierzchniowego zostały przedstawione w tabeli 1.

Beton przeznaczony do wbudowania w nawierzchnię musiał odpowiadać klasie ekspozycji XF4, żeby sprostać wymogowi stosowania chemicznych środków zimowego utrzymania dróg; wg PN-EN 206, jak również spełniać wymagania zawarte w tabeli 1.

3. Informacje o projekcie i zastosowane surowce

Na potrzeby budowy autostrady A-1, zadanie II odcinek od km 310 + 000 do km 320 + 010 zastosowano cement i kruszywa zgodne ze ST [1]. Jako domieszki chemiczne wybrano te, które wykazały największą kompatybilność z zastosowanym cementem.

3.1. Cement

Na potrzeby realizacji przedmiotowego projektu został zastosowany cement klasy 42,5, spełniający wymagania ST [1].

3.2. Domieszki chemiczne

Zastosowano specjalistyczne domieszki chemiczne firmy SIKA Poland Sp. z o.o., spełniające wymogi ST [1], oraz zgodne z PN-EN 934-2.

Dwa produkty dodawane były do mieszanki betonowej w celu poprawy urabialności i zwiększenia trwałości nawierzchni, dwa kolejne natomiast były natryskiwane na powierzchnię w celu opóźnienia wiązania wierzchniej warstwy oraz zapewnienia odpowiedniej pielęgnacji.

3.3. Kruszywa

Zastosowano piasek naturalny płukany o uziarnieniu 0–2 [mm] oraz grys o uziarnieniu do 8 [mm], dla górnej warstwy nawierzchni, jak również o uziarnieniu do 22 [mm], dla dolnej warstwy nawierzchni.

3.4. Woda

Do produkcji betonu z przeznaczeniem do nawierzchni cementowych należy stosować wyłącznie wodę pitną, zgodną z PN-EN 1008:2004 [18].

4. Technologia betonu i metoda układania

Zapewnienie uzyskania właściwej powierzchni nawierzchni betonowej z eksponowanym kruszywem wymagało zapewnienia specjalnych parametrów mieszanki betonowej oraz doboru odpowiedniej granulacji stosowanych kruszyw.

W betonach z eksponowanym kruszywem dobór składników jest jednym z najistotniejszych czynników warunkujących później ostateczny wygląd powierzchni i jej trwałość. Trwałość nawierzchni drogowych, czas i zakres ich eksploatacji jest warunkowany przez jakość dostarczanego i wbudowanego betonu.

Aby zapewnić odpowiednią trwałość nawierzchni betonowej szacowanej na min. 30 lat użytkowania, przy sumarycznej liczbie równoważnych osi standardowych 100 kN w całym okresie projektowym nawierzchni określonej na ponad 52 mln jak również bezpieczeństwo użytkowania, konieczne było układanie w 2 warstwach wykonanych z różnych mieszanek betonowych w tzw. technologii „mokre na mokre”:

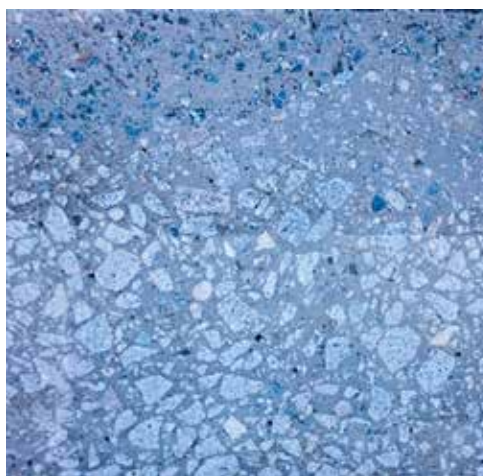
- dolna warstwa betonu (DWN) grubości 24 cm
- górna warstwa betonu (GWN) grubości 5 cm (z eksponowanym kruszywem).

Na potrzeby budowy autostrady A-1 firma BUDPOL umiejscowiła na placu budowy dwa w pełni zautomatyzowane, mobilne węzły betoniarskie:

- WBT 1 z mieszalnikiem o pojemności 6 m³ gotowego zarobu i wydajności 185 m³/godz. do produkcji dolnej warstwy betonowej

Fot. 1. Powierzchnia nawierzchni betonowej z eksponowanym kruszywem

Fot. 2. Przekrój przez nawierzchnię cementową autostrady A-1, zadanie II odcinek od km 310 + 000 do km 320 + 010



Fot. 3. Układanie nawierzchni cementowej



– WBT 2 z mieszalnikiem o pojemności 4,5 m³ gotowego zarobu i wydajności 85 m³/godz. do produkcji górnej warstwy betonowej.

Transport „świeżej” mieszanki betonowej odbywał się samochodami wyłącznie ze stalowymi skrzyniami.

Podczas produkcji mieszanki betonowej przez cały okres betonowań kontrolę nad właściwym stopniem napowietrzenia jak również odpowiednią konsystencją mieszanki betonowej sprawowało laboratorium firmy BUDPOL. Dodatkowo na budowie parametry świeżej mieszanki betonowej kontrolowały dwa niezależne laboratoria drogowe.

Pomimo faktu, iż wszystkie zastosowane materiały spełniały wymogi projektu oraz ST [1], ogólnie nie zapewniało to samej powtarzalności mieszanki betonowej w czasie.

Mieszanka betonowa podlegała stałej kontroli w czasie pod względem konsystencji i zawartości powietrza, ilościowej za pomocą porozymetru, jak również jakościowej za pomocą metody AVA (z ang. Air Void Analyzer).

Kontroli podlegała każda nowa dostawa kruszyw pod względem analiz sitowych, zawartości pyłów, jak również oznaczenia kształtu ziaren, by korygować w ramach potrzeby krzywą uziarnienia mieszanki betonowej.

Zmienna wilgotność kruszyw, a w szczególności piasku, kontrolowana była na bieżąco za pomocą sond umiejscowionych w komorach zsypanych. Wszystkie dostarczone cementy podlegały kontroli temperatury. Specjalnie zastosowane domieszki chemiczne firmy SIKA pozwoliły na stabilną produkcję mieszanki betonowej przez cały okres betonowań

w aspekcie utrzymania w czasie konsystencji mieszanki betonowej oraz stałej zawartości powietrza. Proces układania nawierzchni cementowej można podzielić na etapy:

– Na warstwę z ułożonego wcześniej betonu chudego i przykrytego geowłókniną zwilżoną do stanu powierzchniowo matowego dostarczana jest mieszanka betonowa. Mieszanka betonowa z przeznaczeniem na dolną warstwę rozkładana jest przez maszynę na całej szerokości nawierzchni. Wibratory zagęszczają beton. Z tyłu pierwszej maszyny urządzenie dyblujące umieszcza dyble w zaplanowanym miejscu na zaprojektowaną głębokość.

– Mieszanka betonowa z przeznaczeniem na górną warstwę jest transportowana taśmociągiem ponad pierwszą maszyną do układarki warstwy wierzchniej. Druga maszyna rozkłada i zagęszcza warstwę górną nawierzchni, z tyłu której znajduje się listwa wyrównująca powierzchnię.

– Na wygładzonej nawierzchni rozkładane jest urządzenie do pomiarów prawidłowego rozmieszczenia dybli i kotew w nawierzchni. Dyble umieszcza się w celu przeniesienia ciężaru i zapewnienia jednakowej wysokości płyt betonowych. Urządzenie wylicza położenie prętów oraz parametry błędów, a także ewentualne przesunięcia boczne, niewspółosiowość oraz nieprawidłową głębokość.

– Platforma z systemem dysz rozprowadza środek opóźniająco-pielęgnujący na powierzchni nawierzchni.

– Po kilku godzinach twardnienia betonu i działania środka opóźniającego powierzchniowe wiązanie betonu wierzchnia warstwa zaprawy zostaje mechanicznie usunięta przez szczotkowanie. Dzięki temu zabiegowi uzyskujemy zaprojektowaną powierzchnię z eksponowanym kruszywem.

– Po uszorstnieniu nawierzchni na całej powierzchni zostaje natryśnięty środek pielęgnacyjny w celu zapewnienia pielęgnacji betonu podczas dalszego procesu twardnienia.

– Po kilku do kilkunastu godzin od wbudowania mieszanki następuje proces rozprężania betonu poprzez wykonanie cięć dylatacyjnych. W końcowym stadium za pomocą profilografu laserowego dokonywany jest pomiar równości oraz profilu drogi i makrotekstury nawierzchni. Po dokonanych badaniach następuje wypełnianie dylatacji odpowiednimi materiałami.

Fot. 4. Szczotkowanie wierzchniej warstwy nawierzchni cementowej



5. Podsumowanie i wnioski

Należy pamiętać, iż praktycznie każdą realizację nowego projektu należy traktować jako nowe indywidualne wyzwanie. Chcąc przestrzegać prawidłowości prac wykonawczych na samym początku inwestycji, należy uwzględnić lokalne warunki, jak m.in. dostępność surowców, warunki klimatyczne (możliwość betonowania w systemie 24 godziny na dobę), porę roku, jak również lokalizację budowy. Aby podczas budowy dróg z nawierzchni cementowej uzyskać zadowalający technicznie jak również estetycznie efekt finalny, należy pamiętać, iż wszystkie operacje technologiczne należy prowadzić pod ścisłą kontrolą. Wyklucza się zmiany surowców w trakcie realizacji projektu, a każda ich dostawa musi być kontrolowana, jak również powinien być korygowany w szczególności stos okruszowy mieszanki betonowej, w zależności od różnych dostaw kruszyw. Należy również uwzględnić wpływ zmiany w/c, czasu transportu, warunków klimatycznych (wilgotność, temperatura), korygując parametry świeżej mieszanki betonowej, w miarę potrzeby, domieszkami chemicznymi. Różne godziny betonowania; dzień – noc powodują zmianę parametrów „świeżej” mieszanki betonowej; np. w nocy będziemy mieli zadowalające nas napowietrzenie, natomiast w ciągu dnia, gdy wyjdzie słońce, zazwyczaj zawartość powietrza spada.

Na placu budowy należy zwrócić szczególną uwagę na fakt, żeby transport kruszyw do produkcji, jak później samej betonowej mieszanki odbywał się wyłącznie samochodami ze stalowymi skrzyniami. Autorzy referatu zwracają uwagę na fakt, iż w przypadku załadunku i/lub rozładunku już samych surowców samochodami ze skrzyniami aluminiowymi może dochodzić do ścierania się części aluminium i dostawania się ich na etapie produkcji do mieszanki betonowej. Aluminium w „świeżej” mieszance betonowej wchodzi w reakcje ze składnikami cementu, powodując wydzielanie się wodoru, który uchodząc z masy powoduje jej wyrastanie, spulchniając ją niczym drożdże w cieście; uwidacznia się to w późniejszym etapie, m.in. powstawaniem kraterków na powierzchni.

Wszystkie te wymienione czynniki w zasadniczym stopniu wpływają na jakość i trwałość eksponowanej nawierzchni cementowej.

Na koniec niniejszego referatu autorzy pragną podkreślić, iż w dobie obecnie istniejących technologii brak jest właściwej metody badawczej pozwalającej stwierdzić na etapie wbudowywania „świeżej” mieszanki betonowej trwałości wykonanej z niej nawierzchni cementowej. W obecnej chwili badanie zawartości powietrza za pomocą metody ciśnieniowej (porozymetrem) daje nam tylko obraz całkowitej – ilościowej zawartości, natomiast metoda AVA (z ang. Air Void Analyzer), jak podają również liczne prace badawcze [6], nie daje nam gwarancji uzyskania w pełni właściwej struktury napowietrzenia, co tak naprawdę warunkuje otrzymanie w 100% wartościowego produktu finalnego, jakim jest trwała nawierzchnia. Na dzień dzisiejszy jedyną miarodajną metodą stwierdzającą trwałość betonu (oprócz badania mrozoodporności metodą bezpośrednią lub mrozoodporności z udziałem soli odladzających), określającą uzyskanie właściwej

struktury napowietrzenia betonu jest określenie charakterystyki rozkładu porów na zglądach, aczkolwiek wykonuje się ją już na betonie stwardniałym, wbudowanym uprzednio wcześniej – czynnikiem zasadniczym jest tutaj czasokres. Aby sprostać wszystkim powyższym wymogom, aby zachować powtarzalność wbudowanego betonu, aby budować trwałe nawierzchnie cementowe – prace wykonawcze mogą być realizowane jedynie przez wyspecjalizowane firmy, posiadające głęboką wiedzę oraz długoletnią praktykę realizacyjną; bazując tym samym jedynie na sprawdzonych rozwiązaniach produktowych.

**Piotr Smolarczyk, Michał Smolarczyk,
Klaudia Rakocz – BUDPOL Sp. z o.o.
Włodzimierz Pokładowski, Michał Witkowski
Sika Poland Sp. z o.o.**

Literatura

- 1 *Specyfikacja Techniczna wykonania i odbioru robót budowlanych D05.03.04 Nawierzchnia z betonu cementowego*
- 2 *Szczegółowa Specyfikacja Techniczna wykonania i odbioru robót budowlanych D04.06.01 Podbudowa z chudego betonu*
- 3 *PN-EN 206:2014 Beton – Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.*
- 4 *PN-88/B-06250 Beton zwykły. Piotr Smolarczyk, Michał Smolarczyk, Klaudia Rakocz, Włodzimierz Pokładowski, Michał Witkowski 10 DNI BETONU 2016*
- 5 *PN-EN 934-2*
- 6 *Jawański W., Struktura napowietrzenia mieszanki betonowej i betonu stwardniałego a jego rzeczywista mrozoodporność, Konferencja Dni Betonu, Wista, 2014*
- 7 *Kurdowski W., Chemia cementu, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1991.*
- 8 *Neville A.W., Właściwości betonu. Wydanie czwarte, Kraków 2000. Polski Cement.*
- 9 *PN-EN 12350-3:2011 Badania mieszanki betonowej – Część 2: Badanie konsystencji metodą Vebe*
- 10 *PN-EN 12350-4:2011 Badania mieszanki betonowej – Część 2: Badanie konsystencji metodą oznaczania stopnia zagęszczalności*
- 11 *PN-EN 12390-2:2001 Badania betonu – Część 2: Wykonanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych*
- 12 *PN-88/B-06712/A1:1997 Kruszywa mineralne do betonu*
- 13 *PN-EN 12620:2013 Kruszywa do betonu*
- 14 *Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty inżynierskie i ich usytuowanie*
- 15 *PN-EN 13877-1 Nawierzchnie betonowe, Część 1: Materiały*
- 16 *PN-EN 13877-2 Nawierzchnie betonowe, Część 2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych*
- 17 *PN-75/S-96015 Drogowe i lotniskowe nawierzchnie z betonu cementowego*
- 18 *PN-EN 1008:2004 Woda zarobowa do betonu – Specyfikacja pobierania próbek, badanie i ocena przydatności wody zarobowej do betonu, w tym wody odzyskanej z procesów produkcji betonu*

Artykuł został opublikowany w materiałach konferencyjnych Konferencji Dni Betonu 2016