

mgr inż. Krzysztof Falkowski¹⁾

Nawierzchnie dróg lokalnych z betonu lanego

Local roads surfaces made of cast concrete

Studium przypadku

DOI: 10.15199/33.2017.10.

Streszczenie. W prezentowanym artykule przedstawiono przykład realizacji nawierzchni drogowej wykonanej w technologii lanego betonu cementowego jako uzasadnionej ekonomicznie alternatywy dla nawierzchni asfaltowej. Przedsięwzięcie realizowane było na zlecenie prywatnego inwestora, a przy doborze nawierzchni brano pod uwagę nie tylko koszty budowy, ale również jej trwałość w założonych warunkach użytkowania.

Słowa kluczowe: nawierzchnie betonowe; nawierzchnie drogowe; drogi lokalne; trwałość; anionowa emulsja bitumiczna.

Abstract. The article presents an example of a road surface made of cast concrete as a economically justified alternative to asphalt. The project was carried out on behalf of a private investor, and the selection of the pavement was considered not only the construction costs but also its durability under the assumed conditions of use.

Keywords: concrete pavements; road surfaces; local road; durability; anionic asphalt emulsion.

Przez kilka ostatnich dziesięcioleci utwardzenie lokalnych dróg gruntowych czy żwirowych sprowadzało się do ułożenia cienkiej warstwy ($3 \div 5$ cm) betonu asfaltowego zwanej potocznie asfaltem. Na tak wykonanej nawierzchni, w wielu przypadkach już po krótkim okresie użytkowania, pojawiają się deformacje, spękania i ubytki. Zjawiska te występują przede wszystkim wzdłuż krawędzi (fotografia 1), a następnie rozprzestrzeniają się na całą powierzchnię. Podczas użytkowania, w wyniku miejscowego ugięcia podłoża, deformacji ulega podat-

na na odkształcenia cienka nawierzchnia asfaltowa, w konsekwencji czego powstają nierówności, spękania i wykruszenia. Zapobiec tego typu zjawiskom można np. przez pogrubienie nawierzchni asfaltowej do $10 \div 15$ cm lub stosowanie podbudowy z kruszywa łamanego $C_{90/3}$ bardzo dobrej jakości bądź z mieszaniny związanej spoiwem hydraulicznym $C_{5/6}$ albo $C_{8/10}$. Tego typu zabiegi mają wyraźnie korzystny wpływ na trwałość nawierzchni, ale wiążą się ze znacznym wzrostem kosztów nawierzchni na etapie budowy.

Analiza kosztów i wybór nawierzchni

Prezentowane przedsięwzięcie obejmowało wykonanie dziesięciu utwardzonych placów do składowania 2000 nowo wyprodukowanych samochodów osobowych. Place zostały przedzielone drogami dojazdowymi szerokości 6,0 m o łącznej długości przeszło 1250 m (rysunek 1). Wybór nawierzchni betonowej został podyktowany względami ekonomicznymi i użytkowymi. Do analizy przyjęto ceny ofertowe wykonania nawierzchni w technologii betonu lanego i asfaltu. Z zebranych ofert wynikało, iż koszt nawierzchni betonowej (robocizna + sprzęt + beton nawierzchniowy C35/45 XF4, XA3 z kruszywem grubym w postaci grysów granitowych) w przeliczeniu na m^3 wynosił 600 zł + VAT. Z kolei wykonanie nawierzchni asfaltowej w przeliczeniu na m^3 było droższe o 50% w przypadku zastosowania najtańszych mas asfaltowych z kruszywem

naturalnym lub o 100% przy zastosowaniu modyfikowanych mas bitumicznych z kruszywem w postaci grysów. Zakładając zastosowanie rozwiązań materiałowych na bazie grysów, zarówno w przypadku mieszanki betonowej, jak i masy asfaltowej oraz porównując ceny w przeliczeniu na m^2 , okazało się, że za tę samą kwotę można wykonać nawierzchnię z betonu cementowego dwukrotnie grubszą niż z masy asfaltowej. Dodatkowo brano pod uwagę, że po trzydziestu latach użytkowania nawierzchnia asfaltowa będzie musiała być wybudowana od nowa, a betonowa będzie mogła służyć przez kolejne 20 lat [12]. Z tego powodu na wszystkich drogach dojazdowych do placów składowych wykonano nawierzchnię z betonu lanego. Natomiast na placach składowych nowo wyprodukowanych samochodów osobowych zasadne stało się wykonanie cienkiej nawierzchni asfaltowej (grubość 3 cm) ze względu na niewielkie obciążenia oraz wyeliminowanie ryzyka uszkodzenia krawędzi, gdyż wszystkie place były otoczone drogami dojazdowymi o nawierzchni betonowej (rysunek 1).

Przebieg realizacji

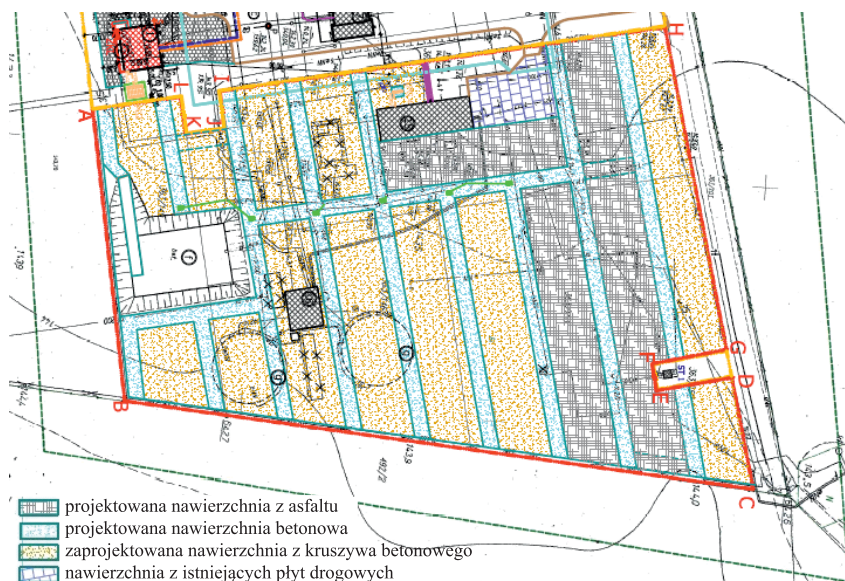
Podłoże gruntowe stanowiły piaski średnie, które po wyrównaniu i dogęszeniu spełniały wymagania podłoża G1 [7, 13], tj. niewysadzinowego charakteryzującego się wtórnym modulem odkształcenia sprężystego $E_{v2} \geq 80$ MPa. Podbudowa zasadnicza została wykonana z łamanego kruszywa betonowego frakcji



Fot. 1. Deformacje i spękania nawierzchni asfaltowej wzdłuż krawędzi na drodze lokalnej dla samochodów osobowych w Niewodnicy Kościelnej woj. podlaskiej po miesiącu użytkowania

Photo. 1. Deformation and cracking of asphalt road along the edge of the local road for passenger cars in Niewodnica Koscielna, Podlaskie Voivodeship, after 1 month of use

¹⁾ Doktorant Politechniki Białostockiej, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska; krzysztoffalkowski1@wp.pl



Rys. 1. Betonowe drogi do placów składowych na nowo wyprodukowane samochody osobowe
Fig. 1. Concrete roads to storage yards for newly manufactured passenger cars

0 ÷ 63 mm o ciągłym uziarnieniu, którym dysponował inwestor. Mechaniczne stabilizowanie podbudowy za pomocą ciężkich walców ogumowanych, pozwoliło na uzyskanie $E_{v2} \geq 120$ MPa, przy zachowaniu $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,2$. Mając na względzie ruch samochodów osobowych, przyjęto nawierzchnię grubości 15 cm. Mieszanka betonowa układana była bezpośrednio na podbudowę z betonowozów. Formowanie i zagęszczenie odbywało się za pomocą pneumatycznej listwy wibracyjnej wyposażonej we wciągarkę umożliwiającą sprawni i łatwy przesuw po ustawionym deskowaniu (fotografia 2). Tempo prac było podobne jak w przypadku rozścielacza do mas bitumicznych i wynosiło 30 – 50 m/h. Po 24 h od zabetonowania wykonywano dylatacje pozorne w odstępach co 6 m, przez nacinanie do 1/4 grubości. Na fotografii 3 widoczne jest jasne zapalenie w miejscach nacinanych dylatacji. Jedno-



Fot. 2. Układanie nawierzchni drogowej z betonu przy użyciu pneumatycznej listwy wibracyjnej
Fig. 2. Laying road pavement from concrete using a pneumatic vibrating stripe



Fot. 3. Nawierzchnia betonowa jednej z dróg dojazdowych do placów składowych
Fig. 3. Concrete pavement of one of the roads to storage yards

cznie przeprowadzano zabiegi pielęgnacyjne przez przykrycie geowłókniną i systematyczne polewanie wodą przez 7 dni od zabetonowania.

Składy betonów i zastosowane materiały

Zastosowano 3 składy mieszanek cementowych zamieszczone w tabeli 1. Skład pierwszy z domieszką napowietrzającą w postaci detergentu bazował na recepturze opracowanej wg PN-EN 206-1 [9] i OST 06.01 [8]. Skład drugi modyfikowany był emulsją bitumiczną i posłużył do eksperymentalnego wykonania jednej drogi pomiędzy placami nr 2 i 3, zaś skład trzeci, jako wzorcowy, nie zawierał detergentu ani emulsji. Poszczególne receptury charakteryzowały się stałym rodzajem i jednakowymi proporcjami poszczególnych składników.

Jako spoiwa użyto specjalnego cementu portlandzkiego CEM I 42,5 N SR3/NA w ilości 360 kg/m³. Rodzaj i ilość cementu pozwala, zgodnie z normą [9], na stoso-

Tabela 1. Skład badanych betonów cementowych

Table 1. Compositions of tested cement concrete

Material	Skład [kg/m ³]		
	I	II	III
Cement	360		
Piasek płukany 0-2	641	670	
Grys granitowy 2-8	450	470	
Grys granitowy 8-16	720	750	
Plastyfikator	3,20	3,20	3,40
Superplastyfikator	2,48	2,50	2,50
Domieszka napowietrzająca	1,98		
Anionowa emulsja bitumiczna		7,2	
Włókna syntetyczne		2,0	
w/c	0,37		

wanie uzyskanych betonów w warunkach silnej agresji chemicznej. Mając na względzie oddziaływania środowiskowe, związane z cyklicznym zamrażaniem i rozmrażaniem – klasa ekspozycji XF, do produkcji mieszanki betonowej zastosowano kruszywa spełniające wymagania mrozoodporności określone w normie [10] w trzech frakcjach. Piasek płukany 0 ÷ 2 mm stanowił 35% stosu okruszowego, zaś grys granitowy we frakcjach 2 ÷ 8 i 8 ÷ 16 mm odpowiednio 25 i 40%. Zastosowany piasek charakteryzował się małą zawartością drobnych frakcji. Dzięki temu łączna zawartość cementu i ziaren piasku $\leq 0,25$ mm nie przekraczała 420 kg w 1 m³ betonu. Miało to korzystny wpływ na obniżenie wodożądności i pozwoliło utrzymać stosunkowo niskie w/c na poziomie 0,37. W celu uzyskania odpowiedniej urabialności mieszanki betonowej, przy jednoczesnym ograniczeniu zawartości wody, użyto domieszki uplastyczniającej na bazie lignosulfonianów i upłynniającej na bazie eterów polikarboksylanowych. Do napowietrzenia mieszanki (skład I) zastosowano domieszkę na bazie detergentów spełniającą wymagania PN-EN 934-2 [11]. W celu eliminacji rys skurczowych, szczególnie przy wysokiej temperaturze betonowania, i polepszenia odporności na pękanie, stosowano zbrojenie rozproszone w postaci włókien syntetycznych długości 54 mm, w ilości 2 kg/m³. Pozwoliło to na przyjęcie w obliczeniach modelu plastycznego zgodnie z TR 34 [14]. Z kolei w celu ograniczenia nasiąkliwości zastosowano domieszkę w postaci anionowej emulsji bitumicznej (skład II). Ma ona charakter uszczelniający i dlatego ogranicza penetrację wody, a wraz z nią agresywnych substancji w głąb porowatej struktury betonu. Jak wykazały badania, domieszka

emulsji bitumicznej wywiera korzystny wpływ na kształtowanie mikrostruktury betonu, odpornej na agresywne oddziaływanie środowiska, nadając jej hydrofobowy charakter [1, 2, 4].

Badania i ich wyniki

Wyniki badań i ich analiza zostały opisane w publikacji [5]. Dodatkowo po trzech latach użytkowania dokonano szczegółowych oględzin wykonanych nawierzchni, podczas których nie stwierdzono zużycia ani żadnych oznak destrukcji mrozowej. Ponadto, w przypadku nawierzchni wykonanych z kompozytów cementowych modyfikowanych emulsją bitumiczną, nie zauważono rys skurczowych, co miało miejsce w pozostałych przypadkach. Na fotografii 5 przedstawiono nawierzchnię drogową z kompozytu cementowego modyfikowanego emulsją bitumiczną po trzech latach użytkowania. Przeprowadzone badanie wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu próbek przechowywanych przez 3 lata w warunkach rzeczywistej eksploatacji pokazały wyraźny jej przyrost (ok. 25%) w porównaniu z wynikami badań na próbkach 28-dniowych. W przypadku kompozytów bez włókien wynosiła ona 7,61 MPa, zaś z włóknami 7,50 MPa. Nie stwierdzono zatem wyraźnego wpływu włókien syntetycznych na wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu.



Fot. 5. Nawierzchnia drogowa z betonu cementowego modyfikowanego emulsją bitumiczną po 3 latach eksploatacji

Fig. 5. Road surface from concrete modified with bituminous emulsion after 3 years of exploitation

Zalecenia

Doświadczenia z realizacji nawierzchni betonowych i przywołane publikacje pozwoliły na sformułowanie zaleceń przydatnych w praktyce budowlanej. Przed przystąpieniem do konstruowania nawierzchni utwardzonej na gruntowych lub żwirowych drogach lokalnych należy przede wszystkim sprawdzić, czy podłoże spełnia na całej rozciągłości wymagania określone dla

podłoża kategorii G1, tzn. jest niewrażliwe na działanie mrozu (grunty niewysadzino-we) i wystarczająco nośne ($E_{v2} \geq 80$ MPa) [7]. W przeciwnym wypadku trzeba wykonać wymianę gruntu lub zastosować stabilizację za pomocą spoiwa hydraulicznego [13]. W przypadku nawierzchni z betonu cementowego zalecane jest wykonanie podbudowy zasadniczej z kruszywa łamanego, o ciągłym uziarnieniu $0 \div 31,5$ mm, np. $C_{90/3}$, stabilizowanego mechanicznie w warstwie grubości minimum 10 cm [5]. Ten rodzaj podbudowy nie wymaga wykonywania dodatkowej warstwy pośredniej zwanej poślizgową lub antyspekaniową [6]. Grubość płyty betonowej dobiera się w zależności od nośności podłoża określonej modułami okształcenia sprężystego (pierwotnym E_{v1} i wtórnym E_{v2}) i powinna ona wynosić minimum 18 cm [7]. Beton na nawierzchnię betonową powinien być dostosowany do klas ekspozycji XF4 (naprzemienne zamrażanie i rozmrażanie z udziałem środków odladzających), XC4 (karbonatyzacja w warunkach cyklicznie mokrych i suchych) oraz XA3 (agresja chemiczna na skutek kontaktu z gruntem i wodą gruntową [9]). Stąd zaleca się stosowanie cementów odpornych na siarczany CEM I 42,5 N-SR, a w przypadku wysokiej temperatury CEM II A-S, CEM II B-S. Zalecana ilość cementu w 1 m^3 wynosi 360 kg [3, 6], co pozwala uzyskać beton klasy co najmniej C35/45 [1, 4, 5], a jednocześnie ogranicza skurcz powodujący spękania i mikrorysy szczególnie niebezpieczne w przypadku zagrożenia cyklicznym zamrażaniem i rozmrażaniem oraz chlorkami. Kruszywo drobne powinien stanowić piasek płukany, aby łączna zawartość cementu i ziaren piasku $\leq 0,25$ mm nie przekraczała 450 kg w 1 m^3 betonu [13]. Z kolei jako kruszywa grubego należy używać grysów granitowych, przez co eliminuje się obecność ziaren słabych i o dużej nasiąkliwości, podatnych na uszkodzenia przy zamrażaniu i rozmrażaniu. Ponadto betony wykonane na grysach uzyskują większą wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu niż betony na żwirach, co jest szczególnie istotne w przypadku nawierzchni drogowych. Mając na względzie uzyskanie możliwie dużej wytrzymałości na zginanie, należy stosować frakcje do 22 lub 31 mm.

Podsumowanie

W zaprezentowanej realizacji wszystkie drogi dojazdowe wykonano w technologii betonu lanego, a decyzja inwestora o zasto-

sowaniu betonu, a nie asfaltu została poprzedzona analizą łącznych kosztów budowy nawierzchni drogowych oraz przewidywanych napraw, na podstawie dotychczasowych doświadczeń, koniecznych do wykonania w trakcie eksploatacji i utrudnień z tym związanych. Mając na względzie, iż grubość nawierzchni betonowej nie powinna być mniejsza niż 18 cm, to nawet przy dwukrotnie niższej cenie wykonania w przeliczeniu na m^3 użytego materiału nie są one w stanie konkurować z nawierzchniami asfaltowymi o grubości 5 cm przy uwzględnieniu jedynie kosztów budowy. Natomiast jeżeli uwzględnimy koszty utrzymania obu nawierzchni na przestrzeni 30 lat, to okazuje się, że całkowity koszt (budowy + utrzymania) w przypadku nawierzchni betonowych będzie mniejszy nawet w porównaniu z cienkimi nawierzchniami asfaltowymi. Z kolei na korzyść nawierzchni asfaltowych przemawia fakt, że mogą one być użytkowane już następnego dnia po wykonaniu, a nawierzchnie z betonu lanego nie wcześniej niż po 7 dniach.

Literatura

- [1] Boltryk M., E. Pawluczuk, K. Falkowski. 2017. „A report on the fabrication of concrete pavement with the application of anionic bitumen emulsion”. *Construction and Building Materials* 154: 1004 – 1014.
- [2] Boltryk M., D. Małaszkiwicz. 2013. „Application of anionic asphalt emulsion as an admixture for concrete”. *Construction and Building Materials* 40: 556 – 565.
- [3] Czamecki Lech, Jan Deja, Kazimierz Flaga, Józef Jaszcak, Wiesław Kurdowski, Jan Małolepszy, Wojciech Radomski, Jacek Śliwiński. 2015. „Mrozoodporność betonu w konstrukcjach mostowych”. *BTA* 1: 66 – 69.
- [4] Falkowski Krzysztof. 2014. „Kompozyty cementowe modyfikowane emulsją bitumiczną”. *Materiały Budowlane* 12: 45 – 49.
- [5] Falkowski Krzysztof. 2014. „Implementacja kompozytów cementowych modyfikowanych emulsją bitumiczną w warunkach przemysłowych”. *Materiały Budowlane* 4: 50 – 53.
- [6] Falkowski Krzysztof. 2015. „Projektowania i realizacja placu manewrowego z kompozytów cementowych”. *BTA* 2: 50 – 53.
- [7] Katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych. GDDKiA.
- [8] OST 06.01 Nawierzchnie z betonu cementowego.
- [9] PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [10] PN-EN 12620+A1:2010 Kruszywa do betonu.
- [11] PN-EN 934-2 Domieszki do betonu.
- [12] Szydło Antoni, P. Mackiewicz: *Badania i analiza kosztów budowy i utrzymania nawierzchni betonowych i asfaltowych*. Raport przygotowany przez Politechnikę Wrocławską. *BTA* 2/2016, 10-12.
- [13] Szydło Antoni. 2004. *Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego. Teoria, wymiarowanie, realizacja*. Kraków. Polski Cement.
- [14] Technical Report No 34, Concrete Industrial Ground Floors – A guide to their Design and Construction, wyd. 3, 2003.

Przyjęto do druku: 26.07.2017 r.