

Przegląd Techniki Drogowej i Mostowej

Beton w budownictwie komunikacyjnym



Techniczno-ekonomiczne aspekty budowy betonowych nawierzchni drogowych w Polsce

Od wielu lat obserwujemy w Polsce bardzo dynamiczny wzrost ruchu samochodowego. W ciągu ostatnich dziesięciu lat na drogach międzynarodowych średni ruch dobowy wzrósł dwukrotnie z 6000 do 12000 pojazdów na dobę. Są również odcinki, na których natężenie ruchu znacznie przekracza poziom 20000 pojazdów na dobę. Potwierdzają to zjawisko generalne pomiary ruchu prowadzone systematycznie przez administrację drogową. Podstawowa sieć dróg ulega szybkiej degradacji, jest wręcz rozjeżdżana przez kolumny często przeciążonych samochodów ciężarowych. Coraz bardziej odczuwalny jest brak dróg dwujezdniowych. Istniejące nawierzchnie nie są już w stanie przenosić tak dużych obciążeń i szybko ulegają skoleinowaniu. Lekarstwem na coraz większe obciążenie polskich dróg mogą być nawierzchnie betonowe.

Na świecie 3-6 % sieci drogowej posiada nawierzchnie betonowe. Przekładając tę statystykę na nasz kraj to około 10000 km dróg powinno otrzymać również takie nawierzchnie. Dotyczy to w sposób szczególny autostrad i dróg ekspresowych, na których wysoka trwałość nawierzchni posiada fundamentalne znaczenie. Zrozumienie problematyki budowy trwałych nawierzchni autostradowych widać wyraźnie u naszych sąsiadów. W Niemczech, w latach 70. stosunek wybudowanych nawierzchni betonowych do asfaltowych wynosił 30:70, w latach 80. – 40:60, w latach 90 – 50:50, a obecnie 62:38. Podobnie wygląda sytuacja w Republice Czeskiej, gdzie około 65% nowych autostrad ma nawierzchnie betonowe.

Jesteśmy przekonani, że drogi o nawierzchniach betonowych mają szansę zaistnieć również w Polsce. Od siedmiu lat jest eksploatowany 17 kilometrowy odcinek autostrady A-18 koło Legnicy (na zdjęciu). Również modernizacja autostrady A-4 między Legnicą i Wrocławiem finansowana w ramach programu ISPA jest wykonywana poprzez odtworzenie nawierzchni betonowej.

Okazuje się również, że technologia nawierzchni betonowej zaproponowana na modernizowanym odcinku dwujezdniowej drogi Nr 8 Warszawa-Piotrków Trybunalski ("gierkówka" k/Polichna) jako rozwiązanie alternatywne, jest konkurencyjna cenowo w stosunku do rozwiązania w technologii bitumicznej. Uważamy, że takie rozwiązania alternatywne powinny być dopuszczane w szerszym zakresie. Nawierzchnie betonowe powinny uzyskać wręcz pewne preferencje wynikające z ich dłuższej – 30÷40 letniej trwałości w stosunku do 20 letniej trwałości nawierzchni bitumicznych. Preferencje te winny uwzględniać wymagany ustawowo o wiele dłuższy projektowany okres eksploatacji i być zapisane w warunkach kontraktu. Poniżej w kilku punktach przedstawiamy najważniejsze zalety nawierzchni betonowych:

1. Większa trwałość (wydłużony okres pomiędzy remontami):

– przeciętnie 2,5÷3,5 razy większa niż asfaltowych. Przy zastosowaniu nowych technologii betonu wysokowytrzymałościowego ok. siedem razy większa trwałość. 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 %.

2. Brak zjawiska koleinowania:

– odporność na czynniki atmosferyczne (wysoka temperatura, zamrażanie / rozmrażanie),
– odporność nawet na bardzo wysokie obciążenia osi (przy nowoczesnych rozwiązaniach gwarantowana jest nawet 30÷40 letnia żywotność nawet przy obciążeniach 13 t na oś).

3. Większe bezpieczeństwo:

– jasność – dobra widoczność (szczególnie w złych warunkach atmosferycznych),
– duża przyczepność. Niemieckie badania wykazały, że wskaźnik „wypadkowości” na autostradach betonowych jest o ok. 32 % niższy od wskaźnika stwierdzanego na nawierzchniach asfaltowych.

4. Nieznacznie wyższy koszt w okresie inwestycji jest bardzo szybko rekompensowany poprzez niski koszt utrzymania w trakcie eksploatacji. Oblicza się, że już w przypadku obciążenia ruchem na poziomie 20 tys. pojazdów na dzień zdecydowanie opłaca się budować nawierzchnie betonowe.

Należy jednak pamiętać, że wielokrotnie już na etapie inwestycji nawierzchnia betonowa jest tańsza!

5. Nowe rozwiązania nawierzchni betonowych wykazują nawet niższy poziom hałasu niż autostrady bitumiczne (argument głośności jest często podnoszony przez zwolenników asfaltu).

6. Możliwość całkowitego i bezpiecznego recyklingu betonu. Odpady bitumiczne są trudne do powtórnego wykorzystania – zawierają szkodliwe związki węglowodorów aromatycznych.

7. Polska dysponuje wszystkimi surowcami (cement, kruszywa) niezbędnymi do wykonania dobrych, sztywnych nawierzchni betonowych. To z polskich cementów i kruszyw wykonano znaczną część sieci autostrad na terenach byłej NRD.

Polscy producenci cementu są w stanie spełnić wszystkie wymagania jakościowe związane z właściwościami spoiw do budowy dróg i mostów. Od ponad roku w Polsce stosowane są zalecenia „Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych”, który jest nowoczesnym dokumentem pozwalającym wykonywać betonowe nawierzchnie drogowe i autostradowe na dobrym, europejskim poziomie.

Doświadczenia ostatniego okresu pokazują, że w Polsce są firmy, które potrafią dobrze budować „w betonie”. Potwierdza to zdecydowanie jakości odcinka Golinice-Krzywa na A18 (k/Legnicy), czy też oddana do użytku w listopadzie 2002 betonowa obwodnica Młodzieszyna (k/Sochaczewa).

Mamy nadzieję, że nowoczesne technologie nawierzchni betonowych znajdą uznanie i akceptację środowisk decydujących o przyszłości polskiej sieci drogowej. Jesteśmy również przekonani, że rozwiązania te są wręcz oczekiwane przez użytkowników naszych dróg i autostrad.

Biuro Polskiego Cementu, służy wszelkimi informacjami na temat konstrukcji, technologii i wykonawstwa betonowych nawierzchni drogowych.

Adres Biura:

Polski Cement Sp. z o.o.
ul. Lubelska 29, 30-003 Kraków
tel./fax: 012/423-33-45, 012/423-33-55
e-mail: polcem@polskicement.com.pl
www.polskicement.com.pl



Na wieki wieków...

– Z drogą betonową jest jak w Ewangelii, „jak było na początku teraz zawsze i na wieki wieków...”, przez trzy zimy i trzy lata nic się nie stało – mówi jeden z użytkowników drogi. – Po czterech latach użytkowania droga jest w idealnym stanie – mówi drugi. – Droga jest równa jak stół, nie ma z nią żadnych problemów – dodaje nasz trzeci rozmówca. – Każdy chce też, by jego drogi woda nie zabrała, dlatego robi ją z betonu – tłumaczy czwarty z nich. – Nic nie wychodzi po zimie: nie ma dziur i kolein – kończy piąty. Tak odpowiadają ludzie zapytani o stan dróg betonowych wybudowanych na terenie Polski.

Co się dzieje z drogą betonową po kilku, kilkunastu, kilkudziesięciu latach? Nic. Dlatego coraz częściej beton jest wybierany jako materiał do wykonawstwa dróg. Zrobiliśmy remanent. Postanowiliśmy przyrzec się lokalnym drogom o nawierzchniach betonowych wybudowanym przed laty. Jakie są wyniki? Naszym zdaniem wykonawcy mogą być dumni ze swej pracy, inwestorzy zadowoleni, że pieniądze zostały dobrze wydane, a użytkownicy dróg szczęśliwi, że nie muszą po każdej zimie jeździć slalomem między dziurami, a latem pogłębiać koleiny. Co więcej, w niektórych przypadkach idea budowy dróg betonowych poszła dalej. Nic dziwnego. Przecież mieszkańcy sąsiednich miejscowości i gmin też chcą mieć porządne drogi.

ŁÓDZKIE: Konstrukcja na długie lata

W listopadzie br. minął 4 lata od chwili oddania do użytku liczącego 750 m długości i 4 m szerokości odcinka drogi betonowej na terenie gminy Skomlin k. Wielunia (Fot. 1).

O tym, jak eksploatuje się droga, jak wygląda po czterech latach, mówi **Grzegorz Maras**, wójt gminy Skomlin. – Po czterech latach użytkowania droga jest praktycznie w idealnym stanie, żadna z płyt betonowych nie uległa pęknięciu. Jedynym zabiegiem było uzupełnienie wypełnienia szczelin dylatacyjnych po dwóch latach eksploatacji.

Czy można porównać koszt utrzymania tego odcinka betonowego z bitumicznym odcinkiem podobnej długości? Zdaniem wójta Grzegorza Marasa można. – Rok później – w 2000 roku budowaliśmy liczącą 650 m i 6 m szerokości

drogę o nawierzchni bitumicznej. Różnicę w kosztach daje się już zauważyć. Droga bitumiczna, przy niewielkim natężeniu ruchu, jest już popękana, jej nawierzchnia zarysowuje się, jesienią będziemy uzupełniać pierwsze ubytki. Natomiast droga betonowa jaka była cztery lata temu, taka jest do dzisiaj. To stabilna konstrukcja, która będzie nam służyła długie lata – mówi wójt Maras. Betonową inwestycją ze Skomlina zainteresowali się samorządowcy z Nowosolnej. – Tam będą budować drogę betonową. Trochę więcej kosztuje budowa drogi betonowej niż bitumicznej. Ale to tylko nieznacznie większy koszt na początku, który później rekompensują długowieczność i niskie koszty utrzymania drogi – tłumaczy wójt Maras.

ŚWIĘTOKRZYSKIE: Równa jak stół

Jedna z najmłodszych prezentowanych przez nas dróg powstała jesienią 2002 roku we Włoszczowie (woj. świętokrzyskie) (Fot. 2). Inwestorem było Starostwo Powiatowe we Włoszczowie. W betonie został wykonany 220 metrowy odcinek ulicy Sobieskiego. Droga stanowi dojazd do kilkunastu posesji znajdujących się po obydwu jej stronach. – Droga jest równa jak stół, nie ma z nią żadnych problemów – mówi **Sławomir Owczarek**, sekretarz Starostwa Powiatowego we Włoszczowie.

Droga po roku wygląda wspaniale. Nie ma żadnych pęknięć. Szczeliny dylatacyjne zostały wypełnione profilami z tworzywa sztucznego. Bardzo dokładnie jest widoczne teksturowanie, które zostało niezwykle dokładnie wykonane.



Droga betonowa w gminie Hrubieszów na lubelszczyźnie

MAŁOPOLSKIE: Najlepszy dojazd w górach

Bardzo dobrze drogi o nawierzchni betonowej sprawdzają się w terenach górskich (Fot. 3). W zasadzie jako jedyne zdają tam egzamin. Inne nawierzchnie nie są w stanie wytrzymać wody z topniejącego śniegu czy ulewnych deszczy. Również częste w ostatnich latach powodzie „przeżywają” jedynie drogi o nawierzchni betonowej. W latach 1997 – 2002 firma Mo-Bruk z Korzennej wybudowała na terenie nowosądeckizny około 70 kilometrów dróg lokalnych o nawierzchni betonowej. – Nawet te liczące już 6 lat będą służyły kolejne kilkadziesiąt lat nie wymagając kosztów związanych z utrzymaniem – tłumaczy **Józef Mokrzycki**, prezes Mo-Bruku.

Zalety dróg betonowych, trwałość, długowieczność, powodują że powstały i powstają kolejne ich kilometry.

Według **Jana Kulpy**, kierownika robót z Mo-Bruku od czerwca do sierpnia 2003 roku na terenie gminy Grybów wy-



Fot. 1.



Fot. 2.



Fot. 3.



Fot. 4.

konano następujące odcinki dróg o nawierzchni betonowej:

- Krużłowa Niżna – Gromnik (540 m),
- Stara Wieś – Szkoła Węglarnia (300 m),
- Przyczki – Polna (270 m),
- Bucze II – Ptaszkowa (270 m),
- Bartykówka – Konclowa (400 m),
- Granice – Gródek (400 m),
- Zawodzie – Binczarowa (585 m),
- Granice – Biała Niżna (635 m),
- Zalesie – Stróże (476 m),
- Podpołudnie – Cieniawa (300 m).

W sierpniu br. wykonano również drogi betonowe na terenie gminy Kamionka Wielka: w przysiółku Dworskie – 200 m i w Kocembówce – 180 m.

– W gminie Grybów prawie w całości drogi wykonują z betonu. To jedyna nawierzchnia, która połączy rozproszone wsie, przysiółki – tłumaczy kierownik Jan Kulpa. – Ludzie mają samochody i chcą jeździć. Każdy chce też, by jego drogi woda nie zabrała, dlatego robi ją z betonu. Betonowy dywanik o grubości 15 cm nawet największych niedowiarków przekonuje do tego, że ta droga wytrzyma napór wody płynącej z gór.

Zdaniem prezesa **Józefa Mokrzyckiego**, w 2003 roku drogi betonowe będą jeszcze budowane w gminach Piwniczna i Łososina Dolna.

PODKARPACKIE: Na wieki wieków...

Postanowiliśmy sprawdzić również jak wygląda droga betonowa w miejscowości Buszkowice, gmina Żurawica, woj. podkarpackie (Fot. 4).

Latem 2000 roku mieszkańcy Buszkowic wybudowali 1,5 km drogi betonowej o szerokości ponad 4 metrów. O stan drogi zapytaliśmy **Kazimierza Kędziórę**, radnego gminy Żurawica, a zarazem mieszkańca Buszkowic: – Z drogą jest jak w Ewangelii, „jak było na początku teraz zawsze i na wieki wieków...”. Przez trzy zimy i trzy lata nic się nie stało – odpowiada pan Kazimierz. – U nas było tak: wójt kupował beton, a cała wieś pracowała. Daliśmy dobre podłoże, dobry beton i są wyniki. Po 3 latach nie ma żadnych pęknięć. Teraz wszystkie drogi w gminie będziemy robić z betonu. W tym roku w Buszkowicach zrobiliśmy kolejne 180 m. Drogi betonowe budowali też mieszkańcy Buszkowiczek, Kosienic

i Wyszatyc. Nie ma lepszych dróg niż betonowe. Woda z nich spływa, nie ma dziur i wybojów.

LUBELSKIE: Nie ma dziur i kolein

Bardzo dobrze prezentuje się po czterech latach lokalna droga betonowa w miejscowości Ratyczów, gmina Łaszczów. Jesienią 2000 roku wybudowano tu prawie kilometr drogi o szerokości 3 metrów. Zdaniem mieszkańca wsi, **Wojciecha Ulanowskiego**, z drogą nie dzieje się nic. – Nic nie wychodzi po zimie. Nie ma dziur, kolein – mówi W. Ulanowski.

Na Zmojszczyźnie są duże tradycje budowy dróg o nawierzchni betonowej. Pierwsze takie drogi budowano tam w czasie II Wojny Światowej, a na przełomie lat 80. i 90. wykonano ich ponad 20 kilometrów. Zarówno te drogi jak i drogę w Ratyczowie wykonało Przedsiębiorstwo Robót Drogowo-Mostowych w Hrubieszowie. Profesjonalistom pomagali bezrobotni zatrudnieni przez gminę w ramach robót interwencyjnych.

MAZOWIECKIE: Dla ludzi i kopalni

Drogę betonową dla ruchu ciężkiego o długości 750 metrów i szerokości 6 metrów zbudowano jesienią 2000 roku na terenie gminy Radziejowice w powiecie żyrardowskim. Droga ułatwiła dojazd od kopalni piasku. Dopóki nie było drogi wiosną nie można było dojechać do kopalni. Oprócz właściciela kopalni, który był inwestorem i wykonawcą drogi jej wybudowanie z ulgą przyjęli także mieszkańcy okolicznych wiosek.

OPOLSKIE: W kombinacie rolnym

Ponad kilometr drogi betonowej, betonowe place i posadzki powstały rok temu na terenie Kombinatu Rolnego w Kietrzy na Opolszczyźnie. Doświadczenia zdobyte przez pracowników w trakcie budowy mogą być przykładem dla innych kombinatów, gospodarstw rolnych i gmin w zakresie budowy i modernizacji infrastruktury komunikacyjnej.

Piotr Piestrzyński

Technologia tanich dróg gminnych o nawierzchni z betonu cementowego

1. Wstęp

W ostatnich latach pogarsza się stan techniczny istniejących dróg gminnych. Przyczyną degradacji dróg jest przede wszystkim niska nośność nawierzchni, nie dostosowana do większego obciążenia ruchem, brak konserwacji i napraw, brak odwodnienia korpusu drogi, naturalne starzenie się nawierzchni i wpływ warunków atmosferycznych. Nierówności nawierzchni drogi, a zwłaszcza jej niska wytrzymałość, nie tylko ograniczają dopuszczenie do ruchu pojazdów o dużej ładowności, ale także nie pozwalają na wykorzystanie ich nominalnej ładowności.

Należy rozwijać budowę dróg gminnych, umożliwiających użytkowanie samochodów i przyczep o dużej ładowności i dużym obciążeniu na oś.

Poszukuje się tanich technologii z materiałów miejscowych i odpadowych pozwalających uzyskać nośną i trwałą nawierzchnię uwzględniającą sezonowość obciążenia ruchem. Od kilku lat obserwuje się wzrost zainteresowania budową dróg gminnych w technologii betonu cementowego, z uwagi na ich wysoką nośność, trwałość i łatwość wykonania bez użycia maszyn specjalistycznych.

2. Technologia budowy tanich dróg

Drogi gminne (lokalne i dojazdowe) występują jako drogi nieulepszone gruntowe lub o nawierzchni wykonanej: z żużla paleniskowego, tłucznia czy żwiru. Budowa tradycyjnej konstrukcji nawierzchni jest bardzo kosztowna, stąd poszukiwania tanich technologii. Jedną z takich technologii może być wykonanie dróg gminnych o nawierzchni z betonu cementowego w dwóch etapach:

I etap: droga na ulepszonym podłożu, z odwodnieniem korpusu i wykorzystaniem materiałów miejscowych – tj. pospółka, żwir, tłuczeń, żużel, popiół,

II etap: wyrównanie i dogęszczenie drogi wykonanej w I etapie z potraktowaniem jej jako podbudowa, ułożenie nawierzchni z betonu cementowego – z wykorzystaniem materiałów miejscowych, tj. pospółka, żwir.

Drogi gruntowe ulepszone, odpowiednio utrzymane i dostosowane do odbywającego się po nich ruchu, spełniają całkowicie zadanie jako drogi lokalne tymczasowe.

Koszt drogi z zastosowaniem ulepszenia gruntu z wykorzystaniem do małego ruchu w pierwszym etapie budowy jest nieznaczny. Po okresie 1 – 2 lat eksploatacji, kiedy wzmocnienie jest uzasadnione względami technicznymi wynikającymi ze wzrostu ruchu, wykonywana jest nawierzchnia z betonu cementowego dostosowana do istniejących warunków. Ten sposób budowy drogi etapami, dostosowany do zwiększającego się obciążenia ruchem, ma uzasadnienie ekonomiczne.

3. Typowe konstrukcje dróg gminnych

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie, w zakres dróg gminnych wchodzi drogi lokalne (klasy L) i dojazdowe (klasy D).

Wymienione drogi charakteryzują się następującymi parametrami:

- szerokość 1 pasa ruchu wynosi od 2,5 do 3,0 m,
- szerokość pobocza wynosi 0,75 m.

Budowa drogi o nawierzchni z betonu cementowego w 2 etapach, dostosowana do zwiększającego się obciążenia ruchem, powinna być wykonywana z wykorzystaniem tanich materiałów miejscowych.

I etap obejmuje – wykonania odwodnienia, ulepszenia podłoża, wykonania podbudowy:

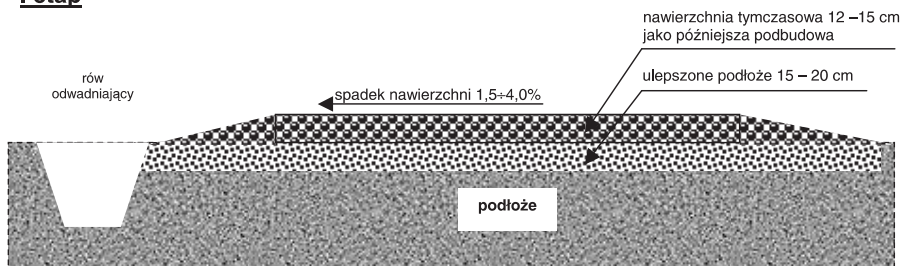
- odwodnienie – wykonanie rowów odwadniających i przepustów,
- ulepszenie podłoża – na głębokość 15÷20 cm, np. popiołem lub cementem,
- wykonanie podbudowy (tymczasowej nawierzchni) – warstwa grubości 8÷15 cm:
 - a) z kruszywa stabilizowanego mechanicznie,
 - b) z kruszywa stabilizowanego cementem z dodatkiem popiołu, lub popiołem,
 - c) z chudego betonu na bazie cementu ewentualnie z dodatkami, zalecana przy dużych obciążeniach na oś;

II etap obejmuje – wykonanie nawierzchni z betonu cementowego:

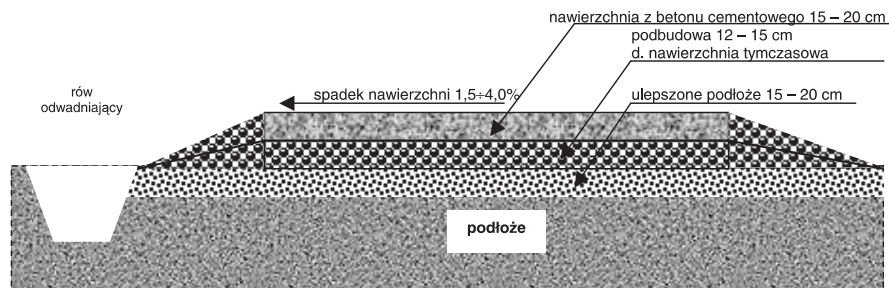
Grubość nawierzchni z betonu cementowego powinna wynosić od 15 do 20 cm. Nawierzchnię z betonu cementowego można stosować w następujących przypadkach:

- a) na podbudowie (nawierzchni tymczasowej z I etapu), użytkowanej przez okres eksploatacji od 1 do 2 lat jako samodzielna droga, rys. 1,
- b) na istniejącej konstrukcji drogi gruntowej po wyrównaniu i dogęszczeniu, rys. 2,
- c) na istniejącej konstrukcji drogi o nawierzchni asfaltowej po uprzednim wykonaniu niezbędnych napraw i przystosowaniu jako podbudowa, rys. 3.

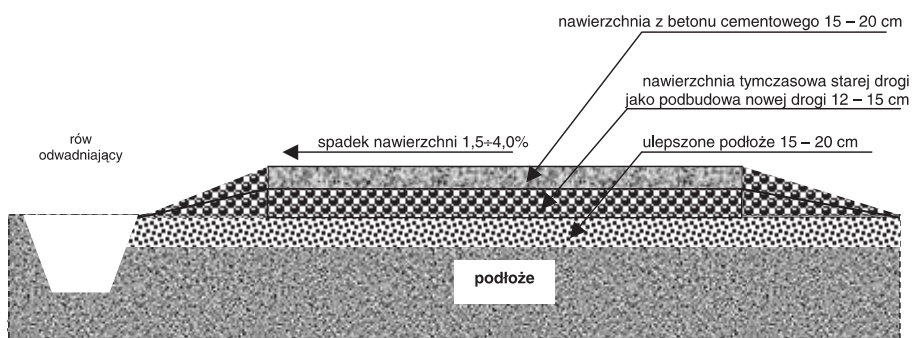
I etap



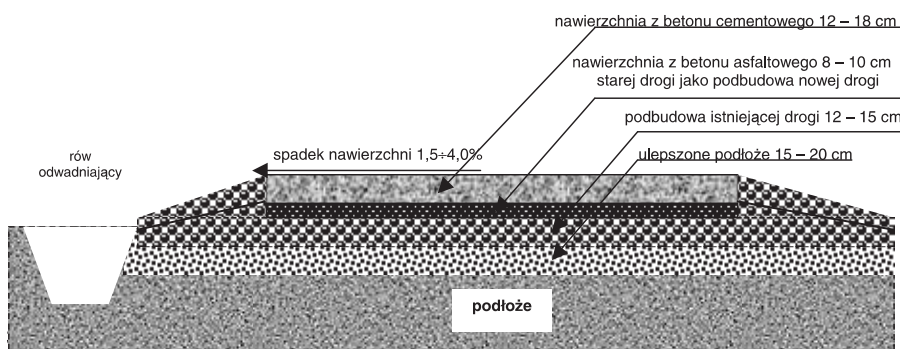
II etap



Rys. 1. Konstrukcja drogi (na nasypie do 1,0 m z rowem odwadniającym) o nawierzchni z betonu cementowego wykonywanej w 2 etapach



Rys. 2. Konstrukcja nawierzchni z betonu cementowego na istniejącej drodze o nawierzchni utwardzonej (na nasypie do 1,0 m z rowem odwadniającym)



Rys. 3. Konstrukcja nawierzchni z betonu cementowego na istniejącej drodze o nawierzchni asfaltowej (na nasypie do 1,0 m z rowem odwadniającym)

4. Przykład budowy dróg gminnych

Przykładem wykorzystania taniej technologii może być budowa dróg gminnych o nawierzchni z betonu cementowego w rejonie nowosądeckim. Drogi wykonywane były na bazie miejscowego kruszywa naturalnego (otoczakowego) z dodatkiem kruszywa łamanego (przekruszonego) i granulatu cementowego z zawartością odpadów przemysłowych.

4.1. Przygotowanie podłoża i podbudowy

Budowane drogi wykonywane były na istniejących drogach lokalnych (głównie utwardzanych żwirem), których konstrukcja posłużyła jako dobra podbudowa pod nową nawierzchnię. Po wytyczeniu geometrii drogi istniejącą nawierzchnię żwirową uzupełniano granulatem cementowym, a następnie zagęszczano do ustalonego wskaźnika zagęszczenia formując koronę jezdni.

Roboty ziemne przy realizacji drogi gminnej pokazano na fot. 1.

Woda z nawierzchni odprowadzana była do rowów odwadniających wykonywanych w czasie trwania robót ziemnych. W przypadkach koniecznych wykonywane były przepusty pod jezdnią.

Przykładowy rodzaj odwodnienia drogi gminnej z dwoma rowami odwadniającymi pokazano na rys. 4.

4.2. Układanie i zagęszczanie mieszanki betonowej

Mieszanka betonowa o konsystencji gęstoplastycznej dostarczana była betonowozami i układana bezpośrednio w deskowaniach stałych o odpowiedniej sztywności. Deskowanie montowane było na podbudowie zgodnie z założonym w projekcie spadkiem i grubością płyty.

Układanie mieszanki betonowej w deskowaniach stałych przy realizacji drogi gminnej pokazano na fot. 2.

Zagęszczanie odbywało się za pomocą listwy wibracyjnej. Unikano zacierania powierzchni ograniczając je do minimum z uwagi na powstanie uszkodzeń wierzchniej warstwy betonu.

Zagęszczanie mieszanki betonowej w deskowaniach stałych przy realizacji drogi gminnej pokazano na fot. 7.

Rozdeskowanie wykonywane było w odpowiednim momencie, tak aby nie naruszyć krawędzi i narożników płyt.

4.3. Nadawanie tekstury powierzchni płyty

Po ułożeniu mieszanki betonowej nadawana była tekstura w celu zapewnienia bezpiecznej szorstkości nawierzchni. Uznaje się, że najlepszym momentem jest chwila tuż po zniknięciu filmu wodnego z powierzchni betonu i tuż przed przejściem mieszanki do stanu nieplastycznego.

Najczęściej stosuje się metodę nadawania tekstury za pomocą przeciągania szczotki.

4.4. Pielęgnacja betonu

Wykonana nawierzchnia betonowa pielęgnowana była przy użyciu preparatu NB-1. Położony preparat zapobiegał zbyt szybkiemu odparowaniu wody, a tym samym umożliwił właściwą hydratację cementu.

4.5. Wykonywanie szczelin dylatacyjnych

W celu uniknięcia spękań skurczowych w nawierzchni betonowej wykonywane były szczeliny skurczowe.

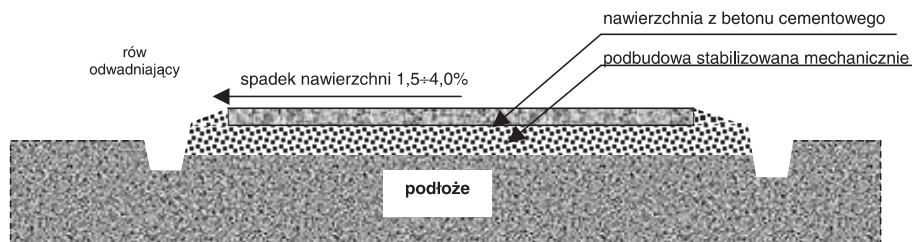
Najpopularniejszym sposobem wykonywania szczelin w nawierzchni betonowej jest nacinanie mechaniczne przy użyciu piły tarczowej.

Nacinanie szczelin w nawierzchni betonowej przy realizacji drogi gminnej pokazano na fot. 3.

Wykonywanie szczelin jest bardzo ważnym etapem w budowie nawierzchni betonowej.

• Technologia wykonywania szczelin

– **Czas cięcia.** Kluczowym czynnikiem jest wybór momentu cięcia. Zbyt wcześnie rozpoczęte cięcie powoduje wykruszanie się ziaren kruszywa ze szczeliny, zbyt późne – powstanie wcześniej niekontrolowanych spękań. W normalnych warunkach pogodowych wykonawcy rozpoczynają cięcie szczelin poprzecznych w 4 do 12 godzin po



Rys. 4. Konstrukcja odwodnienia drogi gminnej o nawierzchni z betonu cementowego na istniejącej drodze o nawierzchni utwardzonej

rozłożeniu mieszanki. Cięcie szczelin podłużnych można wykonać do 48 godzin po ułożeniu mieszanki, ale preferowane jest wykonanie ich tuż po zakończeniu cięcia szczelin poprzecznych.

– **Głębokość cięcia.** Głębokość cięcia szczelin nie może być mniejsza niż 1/3 nominalnej grubości płyty, choć rozwój technik cięcia sugeruje, że mogą być one płytsze. Zwraca się uwagę, żeby w miejscach, gdzie szczelina przechodzi nad głębokimi (50 mm i więcej) deformacjami, cięcia były odpowiednio głębsze.

4.6. Wypełnienie szczelin

Część szczelin była wypełniona materiałem zapewniającym szczelność. W kilku przypadkach szczeliny zasypywano piaskiem.

5. Kontrola jakości

• Badania w trakcie budowy

W trakcie trwania budowy pobierane były próbki w celu wykonania badań kontrolnych i dla oceny parametrów betonu.

• Parametry techniczne betonu

W omawianym przykładzie do budowy dróg lokalnych stosowano beton klas B25 i B30 zgodnie z normą BN-84/8933-14. Drogi samochodowe. Konstrukcja jezdni z betonu cementowego dla dróg o ruchu lekkim.

6. Przegląd dróg lokalnych w powiecie nowosądeckim

Zakład Betonu Instytutu Badawczego Dróg i Mostów dokonał przeglądu dróg



Fot. 1.



Fot. 2.



Fot. 3.



Fot. 4.



Fot. 5.



Fot. 6.



Fot. 7.



Fot. 8.

gminnych w powiecie nowosądeckim, wykonanych w technologii nawierzchni z betonu cementowego w latach 1998 – 2000.

W okresie tym wykonano ok. 50 odcinków dróg gminnych (lokalnych) o długości od 300 m do ok. 3000 m. Przeglądu dokonano w dwa tygodnie po opadach deszczu podczas powodzi na przełomie lipca i sierpnia 2001 roku. Stan techniczny dróg nie budził zastrzeżeń.

W większości były to drogi gminne długości od 1500 do 3000 m, łączące wsie, osiedla lub drogi dojazdowe do osiedli długości 200 do 800 m, tzw. przysiółków. Przykład drogi gminnej pokazano na fot. 5. Wśród ocenianych dróg znalazła się również bardzo malowniczo położona górską droga długości ok. 3000 m, wznosząca się na wysokość ok. 800 m n.p.m., biegnąca wzdłuż szlaku turystycznego z Piwnicznej do Obidzy (fot. 6 i 7).

Ciekawym rozwiązaniem była droga wzdłuż wąwozu, który po opadach deszczu zamieniał się w ciek dla wód opadowych (fot. 8).

Żadna z tych dróg nie uległa uszkodzeniom w okresie opadów deszczu podczas powodzi na przełomie lipca i sierpnia 2001 roku w powiecie nowosądeckim.

Kolejną wizję lokalną przeprowadzono w sierpniu 2002 roku, poddając przeglądowi drogi realizowane do roku 2001, jak również drogi nowe wykonane w 2002 roku, między innymi nakładkę z betonu cementowego ułożoną na drodze z betonu asfaltowego w Ptaszkowej.

7. Podsumowanie

Możliwości finansowe gmin wymuszają obniżenie kosztów realizacji inwestycji drogowych. Wydaje się, że dwuetapowa metoda budowy dróg będzie bardziej korzystna z uwagi na rozłożenie w czasie kosztów przy ciągłej eksploatacji drogi. Jednocześnie można stosować inne omówione wcześniej rozwiązania w zależności od istniejących warunków i potrzeb lokalnych.

Tanie drogi będące utwardzeniem terenu, pokryte cienkim dywanikiem asfaltu lub wzmocnione zagęszczonym tłuczniem nie wytrzymują dużych obcią-

żeń ruchem, mają niski komfort jazdy oraz wymagają częstych napraw. Utrzymanie takiej drogi w okresie kilkunastu lat jest o wiele droższe niż budowa drogi o nawierzchni betonowej, której trwałość jest kilkakrotnie dłuższa.

Drogi o nawierzchni z betonu cementowego zdolne są przejąć maksymalne obciążenie występujące sezonowo oraz wykazują odporność na działanie wód opadowych w stanach zagrożenia powodziowego. Drogi wiejskie o nawierzchni z betonu cementowego można wykonywać sposobem gospodarczym bez użycia specjalistycznego sprzętu, pod warunkiem zapewnienia właściwych materiałów oraz odpowiedniej technologii wykonania. Wykorzystanie miejscowej siły roboczej oraz potencjału technicznego gminy, pod nadzorem fachowców znających zagadnienia projektowania i budowy dróg o nawierzchni z betonu cementowego, pozwoli na wykonanie drogi o 15-, 20-letniej trwałości przy niskich kosztach eksploatacji. Wskazane są poszukiwania optymalnych rozwiązań w zakresie konstrukcji nawierzchni i technologii wykonania dróg pozwalające na wykorzystanie materiałów odpadowych.

Przykładowe koszty wykonania drogi gminnej o nawierzchni z betonu cementowego, w zależności od regionu budowy, stosowanych materiałów, jak i metody konstruowania przedstawiają się następująco:

- w regionie nowosądeckim, przy stosowaniu materiałów odpadowych 80 – 90 zł/m²,
- w regionie lubuskim, przy stosowaniu materiałów miejscowych 100 – 120 zł/m²,
- w regionie zamojskim, przy stosowaniu materiałów miejscowych 120 – 130 zł/m².

Zakład Betonu IBDiM opracował wytyczne wykonania i odbioru dróg gminnych o nawierzchni z betonu cementowego, celem rozpowszechnienia tanich technologii budowy dróg w gminach.

*mgr inż. Małgorzata FALEŃSKA
inż. Witold GAJGER
Zakład Betonu
Instytut Badawczy Dróg i Mostów*

Katalog nawierzchni drogowych z betonu cementowego

1. Wprowadzenie

Zarówno w światowej jak i krajowej literaturze technicznej z zakresu drogownictwa, pojawiają się publikacje dotyczące porównań nawierzchni bitumicznych i z betonu cementowego (zalet i wad jednych i drugich). Jak dotychczas nie ustalono w sposób jednoznaczny, które nawierzchnie są lepsze. Administracje drogowe w wielu krajach wprowadzają do eksploatacji zarówno jedne jak i drugie, doskonaląc je i jednocześnie zdobywając własne doświadczenia dotyczące projektowania, budowy i eksploatacji.

W Polsce nawierzchnie betonowe nie mają ugruntowanej tradycji, pierwszą nawierzchnię betonową wybudowano w 1912 roku w Krakowie. Na szerszą skalę nawierzchnie te stosowano na ulicach miasta Krakowa od 1924 roku. W 1935 roku powstały pierwsze „Wytyczne budowy nawierzchni betonowych” opracowane w Drogowym Instytucie Badawczym. Jednym z pierwszych odcinków wybudowanych na podstawie powyższych przepisów był odcinek drogi Radzymin-Wyszków. W latach pięćdziesiątych wybudowano w Polsce ok. 700 km dróg o nawierzchni z betonu cementowego. Niestety nawierzchnie te nie były odporne na działanie soli używanej podczas zimowego utrzymania i uległy korozji (z powodu nie stosowania środków napowietrzających). Pierwsza norma do budowy nawierzchni pojawiła się w 1953 roku, a ostatnia jej wersja w 1975 roku i obowiązuje do dnia dzisiejszego.

W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych nawierzchnie betonowe budowano w Polsce jedynie na lotniskach. Dopiero w 1995 roku wybudowano 17 km dwujezdniowej drogi A18 (obecnie A12) o nawierzchni z betonu cementowego, wykorzystując materiał pochodzący ze starych recyklowanych płyt betonowych.

W 2000 roku IBDiM w Warszawie powołał grupę roboczą, zadaniem któ-

Tablica 1. Klasyfikacja ruchu ze względu na liczbę osi obliczeniowych

Kategoria ruchu	Liczba osi obliczeniowych na dobę na pas obliczeniowy L	
	Obciążenie osi 100 kN	Obciążenie osi 115 kN
KR1	≤ 12	≤ 7
KR2	13 – 70	8 – 40
KR3	71 – 335	41 – 192
KR4	336 – 1000	193 – 572
KR5	1001 – 2000	573 – 1144
KR6	2001 i więcej ¹⁾	1145 i więcej ¹⁾

¹⁾ Obliczenia konstrukcji wykonano dla 4000 osi 100 kN lub 2280 osi 115 kN,

²⁾ Marka gruntu stabilizowanego spoiwem jest to parametr określający jego wytrzymałość na ściskanie:

– po 28 dniach twardnienia, jeśli spoiwem jest cement,

– po 42 dniach, jeśli spoiwem jest popiół lotny lub wapno.

Wyróżnia się następujące marki gruntu stabilizowanego spoiwem:

$R_m = 1,5$ MPa o wytrzymałości od 0,5 MPa do 1,5 MPa,

$R_m = 2,5$ MPa o wytrzymałości od 1,5 MPa do 2,5 MPa,

$R_m = 5,0$ MPa o wytrzymałości od 2,5 MPa do 5,0 MPa.

rej było opracowanie założeń do katalogu o nawierzchniach betonowych. Grupa robocza złożona z najlepszych specjalistów (pracowników naukowych, biur projektowych, administracji i wykonawców) z zakresu budownictwa drogowego, technologii betonów opracowała dokument pt: Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztywnych, który po opiniach: jednostek naukowo-badawczych, biur projektowych, administracji drogowej oraz wykonawców, został, zarządzeniem nr 12 Generalnego Dyrektora Dróg Publicznych z 10 lipca 2001 roku wprowadzony do stosowania.

W niniejszym artykule przedstawiono założenia na podstawie których opar-

wano część konstrukcyjną katalogu oraz podano zestawienie typowych konstrukcji nawierzchni z betonu cementowego.

2. Układ katalogu

Struktura Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Sztywnych oparta została na Katalogu Typowych Konstrukcji Podatnych i Półsztywnych z 1997 roku. Ma to ułatwić posługiwanie się katalogiem. Wiele administracji drogowych posiada jeden wspólny katalog dla nawierzchni bitumicznych i betonowych.

Katalog składa się z części podstawowej oraz załącznika. W części pod-

Tablica 2. Liczba osi obliczeniowych w założonym okresie obliczeniowym

Kategoria ruchu	Liczba osi obliczeniowych 100 kN w założonym okresie obliczeniowym 30 lat	Liczba osi obliczeniowych 115 kN w założonym okresie obliczeniowym 30 lat
KR1	≤ 131 400	≤ 75 600
KR2	131 401 – 770 000	75 001 – 440 000
KR3	770 001 – 3 700 000	440 001 – 2 100 000
KR4	3 700 001 – 10 950 000	2 100 001 – 6 250 000
KR5	10 950 001 – 21 900 000	6 250 001 – 12 500 000
KR6	21 900 001 i więcej ¹⁾	12 500 001 i więcej ¹⁾

¹⁾ powyżej sumarycznej liczby 43 800 000 osi 100 kN lub 25 000 000 osi 115 kN należy konstrukcję nawierzchni projektować indywidualnie.

stawowej katalogu podano zasady określania kategorii ruchu, nośności podłoża oraz zestawiono typowe konstrukcje i określono procedury ich doboru. W załączniku natomiast zamieszczono zalecenia technologiczne (nie objęte normami), a dotyczące sposobu i technologii wykonania warstwy jezdnej z betonu cementowego, podbudów oraz podłoża.

3. Założenia dotyczące klasyfikacji ruchu drogowego

Do projektowania konstrukcji nawierzchni, jako wyjściowy, przyjmuje się prognozowany, Średni Dobowy Ruch w roku (SDR) pojazdów ciężkich i autobusów w przekroju drogi, w piętnastym roku po oddaniu drogi do eksploatacji, w podziale na trzy grupy pojazdów:

- samochody ciężarowe bez przyczep (dwu i trzy osiowe),
- samochody ciężarowe z przyczepami (trzy do pięciu osi),
- autobusy (dwie do trzech osi).

Powyższą strukturę ruchu przelicza się na osie obliczeniowe o wartościach 100 i 115 kN. Podział ruchu na kategorie według obciążenia osi obliczeniowej oraz ich liczby na pas ruchu na dobę, w piętnastym roku po oddaniu drogi do eksploatacji podano w tablicy 1.

W tablicy 2 podano przedziały liczbowe osi obliczeniowych 100 kN i 115 kN na pas obliczeniowy w założonym obliczeniowym okresie eksploatacji nawierzchni betonowej – 30 lat.

Liczbę osi obliczeniowych określa się wg zależności (1):

$$L = (N_1 r_1 + N_2 r_2 + N_3 r_3) f_1 \quad (1)$$

gdzie:

L – liczba osi obliczeniowych na dobę na pas obliczeniowy w piętnastym roku po oddaniu drogi do eksploatacji,

f_1 – współczynnik obliczeniowego pasa ruchu wg tablicy 3,

N_1 – średni dobowy ruch samochodów ciężarowych bez przyczep w przekroju drogi, w piętnastym roku po oddaniu drogi do eksploatacji,

N_2 – jw., lecz samochodów ciężarowych z przyczepami,

N_3 – jw., lecz autobusów,

r_1, r_2, r_3 – współczynniki przeliczeniowe samochodów ciężarowych i autobusów na osie obliczeniowe przyjęte wg tablicy 4 lub 5.

W tablicach 4 i 5 zamieszczono współczynniki przeliczeniowe grup pojazdów na osie obliczeniowe 100 i 115 kN.

4. Ocena nośności podłoża

W rozdziale dotyczącym podłoża podano w katalogu sposób ustalania grupy nośności podłoża G_p . Grupę nośności podłoża uzależniono m.in. od wskaźnika nośności podłoża CBR. Założono występowanie czterech grup nośności pod-

Tablica 3. Wartości współczynnika f_1

Liczba pasów ruchu w obu kierunkach		f_1
Droga jednojezdniowa	Droga dwujezdniowa	
2		0,50
3		0,50
4	4	0,45
	6	0,35

Tablica 4. Współczynniki przeliczeniowe pojazdów na osie obliczeniowe 100 kN

Rodzaj pojazdu	Współczynnik przeliczeniowy na osie 100 kN
Samochody ciężarowe bez przyczep  	$r_1 = 0,0032$
Samochody ciężarowe z przyczepami    	$r_2 = 1,477^{1)}$ $r_2 = 3,76^{2)}$
Autobusy  	$r_3 = 0,43$

¹⁾ samochody 4-osiowe, ²⁾ samochody 5-osiowe.

Tablica 5. Współczynniki przeliczeniowe pojazdów na osie obliczeniowe 115 kN

Rodzaj pojazdu	Współczynnik przeliczeniowy na osie 115 kN
Samochody ciężarowe bez przyczep  	$r_1 = 0,01$
Samochody ciężarowe z przyczepami    	$r_2 = 0,483^{1)}$ $r_2 = 1,229^{2)}$
Autobusy  	$r_3 = 0,141$

¹⁾ samochody 4-osiowe, ²⁾ samochody 5-osiowe.

łoża G_1 - G_4 . Najwyższą grupą nośności jest podłoże G_1 . Przyjęto zasadę, że typowe konstrukcje będą posadowione na tym podłożu.

W tablicy 6 podano zależności grupy nośności podłoża od wskaźnika CBR.

Podłoże nawierzchni zakwalifikowane do grupy nośności od G_2 do G_4 może być doprowadzone do grupy nośności G_1 w jeden z wymienionych sposobów:

a) Wymieniając warstwę gruntu podłoża nawierzchni na warstwę gruntu lub materiału niewysadzinowego.

b) Wykonując wzmocnienie pod konstrukcją:

- na podłożu o grupie nośności G_2 :
 - o 10 cm warstwy z gruntów stabilizowanych spoiwem (cementem, wapnem lub aktywnym popiołem lotnym) o $R_m = 1,5$ MPa,
- na podłożu o grupie nośności G_3 :
 - o 15 cm warstwy z gruntów stabilizowanych spoiwem (cementem, wapnem lub aktywnym popiołem lotnym) o $R_m = 2,5$ MPa,
- na podłożu o grupie nośności G_4 :
 - o 25 cm warstwy z gruntów stabilizowanych spoiwem (cementem, wapnem lub aktywnym popiołem lotnym) o $R_m = 2,5$ MPa,
 - dwóch warstw po 15 cm z gruntów stabilizowanych spoiwem (cementem, wapnem lub aktywnym popiołem lotnym):
 - warstwa górna o $R_m = 2,5$ MPa,
 - warstwa dolna o $R_m = 1,5$ MPa.

c) Ulepszając grunt w górnej warstwie podłoża w sposób inny niż podano w punkcie a. lub b. pod warunkiem uzyskania wymaganego wzmocnienia.

Tablica 6. Ustalenie grupy nośności G_1 na podstawie wskaźnika nośności (CBR)

Grupa nośności podłoża nawierzchni G_1	Wartość wskaźnika nośności (CBR)
G_1	$10\% \leq w_{nos}$
G_2	$3\% \leq w_{nos} < 10\%$
G_3	$3\% \leq w_{nos} < 5\%$
G_4	$w_{nos} < 3\%$

Liczba osi obciążeniowych 100kN/pas/dobę (Liczba osi obciążeniowych 115kN/pas/dobę)					
KR1	KR2	KR3	KR4	KR5	KR6
≤ 12 (≤ 7)	13 – 70 (8 – 40)	71 – 335 (41 – 192)	336 – 1000 (193 – 572)	1001 – 2000 (573 – 1144)	>2001 (>1145)
niedyblowana	niedyblowana	dyblowana	dyblowana	dyblowana	dyblowana
– beton cementowy – chudy beton – warstwa mrozochronna lub wzmacniająca podłoże					

Rys. 1. Typowa konstrukcja z betonu cementowego na podbudowie z chudego betonu

Liczba osi obciążeniowych 100kN/pas/dobę (Liczba osi obciążeniowych 115kN/pas/dobę)					
KR1	KR2	KR3	KR4	KR5	KR6
≤ 12 (≤ 7)	13 – 70 (8 – 40)	71 – 335 (41 – 192)	336 – 1000 (193 – 572)	1001 – 2000 (573 – 1144)	>2001 (>1145)
niedyblowana	niedyblowana	dyblowana	dyblowana	dyblowana	dyblowana
– beton cementowy – grunt stabilizowany cementem – warstwa mrozochronna lub wzmacniająca podłoże					

Rys. 2. Typowa konstrukcja z betonu cementowego na podbudowie z gruntu stabilizowanego cementem

5. Typowe konstrukcje

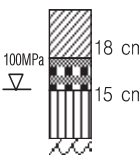
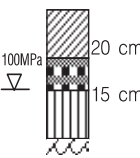
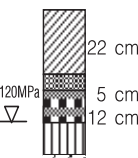
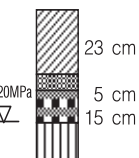
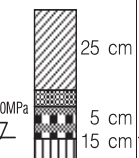
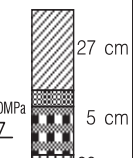
Uwzględniając wyżej opisane warunki ruchowe, tj. kategorię ruchu oraz nośność podłoża G_1 zaprojektowano zestaw konstrukcji z warstwą nawierzchniową z betonu cementowego ułożoną na różnych podbudowach.

Na rys. 1-4 przedstawiono typowe konstrukcje z betonu cementowego na zmiennych podbudowach. Przyjęto następujące rodzaje podbudów:

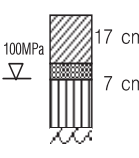
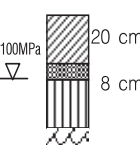
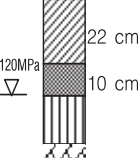
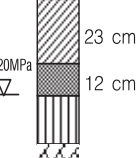
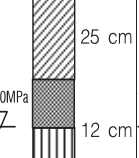
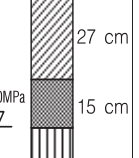
- z chudego betonu,
- z gruntu stabilizowanego cementem,
- z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie,
- z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie i betonu asfaltowego,
- betonu asfaltowego.

Wszystkie konstrukcje spoczywają na podłożu G_1 , które ma wtórny moduł odkształcenia większy od 100 lub 120 MPa (kategoria ruchu KR3-KR6) oraz wskaźnik CBR $\geq 10\%$.

Typowe konstrukcje nawierzchni zaprojektowano z zastosowaniem mecha-

Liczba osi obliczeniowych 100kN/pas/dobę (Liczba osi obliczeniowych 115kN/pas/dobę)					
KR1	KR2	KR3	KR4	KR5	KR6
≤ 12 (≤ 7)	13 – 70 (8 – 40)	71 – 335 (41 – 192)	336 – 1000 (193 – 572)	1001 – 2000 (573 – 1144)	> 2001 (> 1145)
					
niedyblowana	niedyblowana	dyblowana	dyblowana	dyblowana	dyblowana
 – beton cementowy  – kruszywo łam. mechanicznie stabilizowane  – beton asfaltowy  – warstwa mrozoochronna lub wzmacniająca podłoże					

Rys. 3. Typowa konstrukcja z betonu cementowego na podbudowie z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie oraz betonie asfaltowym

Liczba osi obliczeniowych 100kN/pas/dobę (Liczba osi obliczeniowych 115kN/pas/dobę)					
KR1	KR2	KR3	KR4	KR5	KR6
≤ 12 (≤ 7)	13 – 70 (8 – 40)	71 – 335 (41 – 192)	336 – 1000 (193 – 572)	1001 – 2000 (573 – 1144)	>2001 (> 1145)
					
niedyblowana	niedyblowana	dyblowana	dyblowana	dyblowana	dyblowana
 – beton cementowy  – beton asfaltowy  – warstwa mrozoochronna lub wzmacniająca podłoże					

Rys. 4. Typowa konstrukcja z betonu cementowego na podbudowie z betonu asfaltowego



nistycznych metod projektowania. Wykorzystano model płyty o skończonych wymiarach w planie ułożonej na wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej (podbudowa + podłoże) obciążonej kołem samochodu o nacisku 50 lub 57,5 kN (na krawędzi, w środku i narożu płyty). Ponadto uwzględniono powtarzalność obciążeń, występowanie dybli oraz wpływ temperatury. W celu określenia naprę-

żeń w płycie, podbudowie lub podłożu wykorzystano Metodę Elementów Skończonych (MES).

6. Procedura projektowania

Procedura projektowania konstrukcji nawierzchni według katalogu jest następująca:

- ustalenie prognozowanego obciążenia drogi ruchem, obliczeniowej osi i wyznaczenie kategorii ruchu KR1-KR6,
 - określenie warunków gruntowo-wodnych (G_1 - G_4) oraz wybór metody wzmocnienia i odwodnienia podłoża,
 - wybór typowej konstrukcji nawierzchni dla wyznaczonej kategorii ruchu KR1-6,
 - sprawdzenie warunku mrozoodporności.
- W katalogu zamieszczono przykłady ilustrujące sposób projektowania.

7. Podsumowanie

Prezentowany katalog jest pierwszym tego typu dokumentem w Polsce. Przyjęte w katalogu założenia uwzględniają wzrost obciążenia oraz intensywności ruchu w oparciu o najnowsze pomiary ruchu na sieci drogowej w Polsce. Porównując zaprojektowane grubości warstw z konstrukcjami zamieszczonymi w katalogach obowiązujących w takich krajach jak Niemcy, Francja czy Włochy daje się zauważyć, że różnice w grubościach, układzie warstw, dla porównywalnych kategorii ruchu, nie są znaczące (dochodzą do 5%). Chociaż należy zdawać sobie sprawę, że również element doświadczenia oraz warunków klimatycznych w stosowaniu różnych rozwiązań odgrywa znaczącą rolę.

Opublikowanie Katalogu spowodowało zainteresowanie drogowców (i nie tylko) nawierzchniami z betonu cementowego. Aktualnie realizowany jest kontrakt budowy autostrady A4 na odcinku Wrocław – Krzyżowa długości ok. 100 km, jak również na drodze krajowej nr 8 na odcinku Wolbórz – Polichno o długości 12 km.

Prof. nadzw. dr hab. inż. Antoni Szydło
Instytut Inżynierii Lądowej
Politechniki Wrocławskiej

Modernizacja drogi krajowej nr 8

Doświadczenia w zakresie użytkowania dróg betonowych w Republice Czeskiej

Pod koniec lat 60. i na początku lat 70. ówczesna Czechosłowacja należała do pierwszych krajów w Europie, które wybudowały nawierzchnie betonowe za pomocą rozścielacza z deskowaniem przesuwym. W tamtym czasie była to najnowocześniejsza technologia. Beton układano jednowarstwowo, grubość warstwy wynosiła 24 cm, a wycięte szczeliny były wąskie i nie były wzmacniane ani dyblami ani kotwami. Tylko na krótkich odcinkach stosowano wkładkę gumową w szczelinach wzdłużnych, ale szybko zaniechano tej metody. W Republice Czeskiej układano nawierzchnię betonową, z małymi wyjątkami, na 4 cm warstwie bitumicznej poślizgowej, pod którą znajdowała się podbudowa stabilizowana cementem o grubości 20 do 24 cm. Szczeliny miały szerokość 3 mm i ze względu na brak środków finansowych nie były wypełniane. Takie nawierzchnie betonowe znajdują się w eksploatacji już od ponad 20 lat.

Opisana technologia budowy nawierzchni betonowych stosowana była do 1993 roku. Dopiero od 1995 roku układa się w Republice Czeskiej nawierzchnie betonowe dwuwarstwowe z zastosowaniem dybli i kotew wzmacniających szczeliny oraz wypełnień szczelin.

W starej technologii (jednowarstwowej, bez dybli i kotew) zbudowano w Republice Czeskiej ok. 350 km autostrad. Niektóre z odcinków są już eksploatowane od 30 lat i mogą być dalej eksploatowane przynajmniej przez okres 10 – 20 lat przy niewielkich kosztach utrzymania.

Kwestia, która jest często dyskutowana w Republice Czeskiej, to pytanie: jaka metoda budowy nawierzchni dróg jest najbardziej efektywna – z asfaltu czy z betonu? Oczywiście, dyskusja ta jest również odzwierciedleniem interesów producentów nawierzchni betonowych i asfaltowych. Dyrekcja Dróg i Autostrad, inwestor i administrator sieci dróg i auto-

strad, podejmuje próby oceny przydatności poszczególnych nawierzchni, biorąc również pod uwagę koszty budowy i utrzymania, które dokonywane są na podstawie obiektywnych informacji i doświadczenia. Obydwie metody budowy (z nawierzchni asfaltowych i betonowych) są stosowane przy budowie dróg i autostrad. Zalety i wady nawierzchni betonowych i asfaltowych można przedstawić, biorąc pod uwagę dwa punkty widzenia: z jednej strony zarządu (inwestora), a z drugiej użytkownika dróg.

Z punktu widzenia zarządu budowy dróg (inwestora):

- Zalety nawierzchni betonowych są następujące:
 - dłuższa żywotność (brak konieczności przeprowadzania remontów, jeżeli w czasie budowy zapewniono odpowiednią jakość),
 - niższe koszty utrzymania,
 - mała liczba placów budowy w czasie układania nawierzchni.
- Wady nawierzchni betonowych to:

- skomplikowana technologia wykonywania napraw,
- dłuższy czas wykonywania napraw.

Z punktu widzenia użytkownika dróg:

- Zalety stosowania nawierzchni betonowej to:
 - dobra przyczepność do drogi,
 - większe bezpieczeństwo jazdy (użytkownik zwraca na to uwagę głównie wtedy gdy pada deszcz, nie tworzą się koleiny, tak jak dzieje się to w przypadku nawierzchni asfaltowych).

- Wady nawierzchni betonowych to:

- wyższy poziom hałasu,
- klawiszowanie w obrębie szczelin.

Jednakże wady te dotyczą dróg zbudowanych według technologii układania jednej warstwy betonu, bez zastosowania w szczelinach dybli i kotew.

Podjętą decyzję i wybierając metodę budowy drogi, zawsze dominującą rolę odgrywają aspekty ekonomiczne, a niestety bardzo często brane są pod uwagę tylko koszty budowy drogi. Kie-

Tabela 1. Koszty całkowite odcinka na autostradzie D1

Obiekt w eksploatacji	Nawierzchnia betonowa 017 1972-2000	Nawierzchnia asfaltowa 019 1976-2000
Koszty budowy (w CZK/m ²)	267,13	234,00
Koszty utrzymania i remontów (w CZK/m ²)	383,04	903,34
Koszty całkowite (w CZK/m ²)	650,17 57,2%	1137,34

Tabela 2. Koszty całkowite odcinka na autostradzie D2

Obiekt w eksploatacji	Nawierzchnia betonowa 023 1980-2000	Nawierzchnia asfaltowa 024 1980-2000
Koszty budowy (w CZK/m ²)	256,04	277,48
Koszty utrzymania i remontów (w CZK/m ²)	213,82	939,86
Koszty całkowite (w CZK/m ²)	469,86 38,6%	1217,34

dy przedstawiamy długoterminowe zalety finansowe występujące w przypadku autostrad betonowych o dużym obciążeniu ruchem drogowym, staramy się dokonać obiektywnego porównania przewidywanych kosztów obejmujących całkowity okres użytkowania drogi.

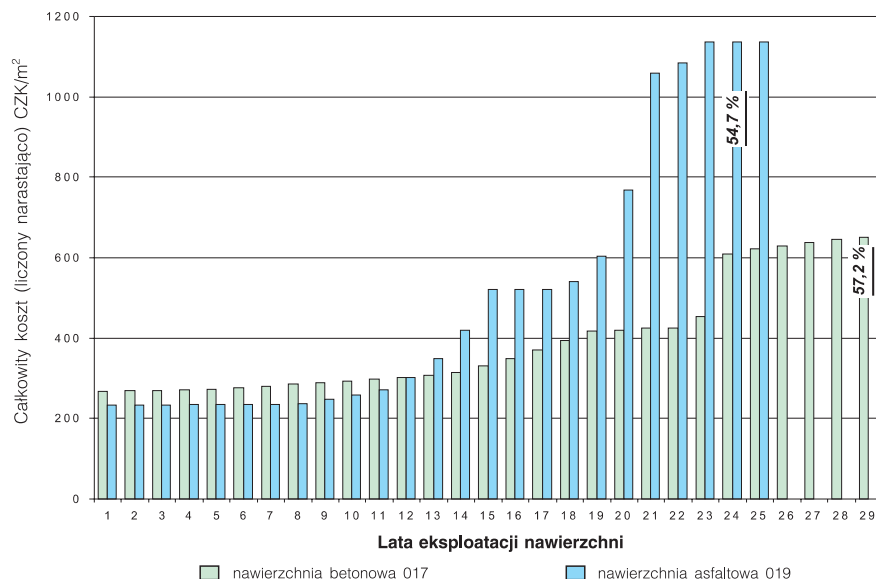
Wybraliśmy dwa odcinki sąsiadujących ze sobą dróg (każda z nich posiadająca nawierzchnię betonową i asfaltową), aby określić i ocenić koszty poniesione na budowę, eksploatację oraz remonty takich nawierzchni. Te sąsiadujące ze sobą drogi poddane obserwacji mają takie samo obciążenie ruchem, są wystawione na takie same warunki atmosferyczne i zostały zbudowane w tym samym czasie, tzn. przy takim samym poziomie wiedzy technicznej i takich samych wymagach dotyczących jakości budowy. Jeden z odcinków znajduje się na autostradzie D1 z Brna do Pragi, a drugi na autostradzie D2 z Brna do Bratysławy.

Oceniając dwa pierwsze odcinki, które są wystawione na działanie takich samych warunków atmosferycznych i obciążenia ruchem, całkowite koszty budowy, utrzymania i remontów nawierzchni betonowej wynoszą tylko 57,2% kosztów poniesionych na nawierzchnię asfaltową, pomimo że odcinek nawierzchni betonowej był użytkowany o cztery lata dłużej niż odcinek asfaltowy. Obciążenie ruchem pojazdów ciężarowych na tych odcinkach wynosi ponad 1500 samochodów ciężarowych na dobę.

Oceniając następne dwa odcinki, które wystawione były na działanie takich samych warunków pogodowych i takie samo obciążenie ruchem, koszty całkowite budowy, utrzymania i remontów nawierzchni betonowej wynoszą tylko 38,6% kosztów poniesionych na drogę asfaltową. Obciążenie ruchem ciężkich pojazdów na tych odcinkach wynosi ponad 1600 samochodów ciężarowych na dobę.

Powyższe oceny nie uwzględniają kosztów ponoszonych przez użytkowników spowodowanych zakłóceniami w ruchu drogowym i pracami remontowymi.

Roczne koszty całkowite ujęte w wyżej zamieszczonych tabelach przedstawiono graficznie na rys. 1 oraz rys. 2.



Rys. 1. Porównanie całkowitych kosztów (liczonych narastająco) budowy, naprawy i utrzymania nawierzchni betonowych i asfaltowych na odcinkach D1-017 i D1-019

Przy porównaniu kosztów nawierzchni betonowej użytkowanej przez okres 29 lat oraz nawierzchni asfaltowej (25 lat eksploatacji), koszty nawierzchni betonowej sięgają tylko 57,2% kosztów nawierzchni asfaltowej (zob. rys. 1). Wykres ten pokazuje również, że przewidywana żywotność nawierzchni asfaltowej została właściwie zaplanowana; zakładamy, że górna warstwa nawierzchni asfaltowej musi być ponownie położona po okresie około 12 lat. Wykres pokazuje, że w rzeczywistości rozpoczęliśmy odnowę nawierzchni poprzez położenie nowej warstwy po 13 latach. Jednakże taka decyzja dotycząca realizacji najtańszego rozwiązania, tj. położenia nowej warstwy wierzchniej, nie była właściwa i najtańsza w perspektywie długoterminowej. Musieliśmy ponownie wykonać remont tego odcinka po okresie 5 do 6 lat, a naprawa ta objęła zarówno wymianę nawierzchni, jak i podbudowy.

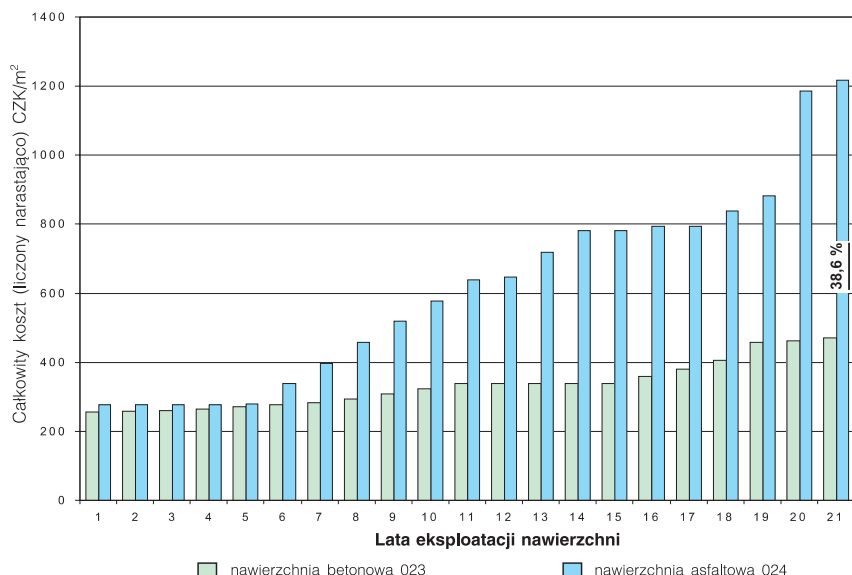
Przewidywania dotyczące dalszego zachowania się tych odcinków wyglądają następująco: nawierzchnia betonowa może pozostać w niezmienionym stanie przez dalsze 10 do 20 lat bez szczególnych nakładów finansowych. Droga asfaltowa także nie wykazuje uszkodzeń, ale prawdopodobnie następną wymiana nawierzchni będzie wymagana za 6 do 7 lat. Do tego czasu krzywa kosztów dla drogi asfaltowej

gwałtownie wzrasta. Przy takiej tendencji koszty ponoszone na drogę betonową nie osiągną prawdopodobnie poziomu kosztów dla drogi asfaltowej, nawet pod koniec żywotności eksploatacyjnej drogi betonowej, kiedy zajdzie potrzeba przeprowadzenia jej remontu kapitalnego.

Nawierzchnia asfaltowa na odcinku D2 (patrz rys. 2.) wypada mniej korzystnie w stosunku do nawierzchni asfaltowej na odcinku D1 (patrz rys.1.). Różnica ta wynika, głównie z powodu dodania do asfaltu kruszyw niełamanych, mimo iż były one zgodne z normami i przepisami. Mieszanina asfaltu z niełamanym kruszywem wykazuje silną tendencję do wytwarzania kolein.

Przewidywania dotyczące dalszego zachowania się tych odcinków wyglądają następująco: nawierzchnia betonowa może pozostać w niezmienionym stanie przez dalsze 15 do 25 lat bez szczególnych nakładów finansowych. Droga asfaltowa musi być etapowo remontowana biorąc pod uwagę całą grubość nawierzchni. Wszystkie warstwy muszą być wymienione. Koszty utrzymania i remontów gwałtownie wzrosną podczas gdy koszty utrzymania i remontów nawierzchni betonowej będą wykazywały wolniejszą tendencję wzrostową.

Jeszcze raz należy tutaj podkreślić, że ta ocena porównawcza wykonana została dla odcinków o identycz-



Rys. 2. Porównanie całkowitych kosztów (liczonych narastająco) budowy, naprawy i utrzymania nawierzchni betonowych i asfaltowych na odcinkach D2-023 i D2-024

nym obciążeniu ruchem i takich samych warunkach pogodowych.

Tak więc, biorąc pod uwagę aspekty ekonomiczne uwzględniające wszystkie koszty, a nie tylko koszty budowy, w przypadku dróg poddanych dużym obciążeniom ruchem, gdzie występuje zagrożenie tworzenia się kolein wyraźnie korzystniejsze są nawierzchnie betonowe.

Wysoki poziom hałasu na drogach betonowych, co jest krytykowane w przypadku wielu starych odcinków dróg, można zredukować i poprawić poprzez zastosowanie innego rodzaju łączenia (montaż kotew i dybli), jak również poprzez fakturowanie powierzchni za pomocą maty jutowej, co daje poziom hałasu porównywalny do nawierzchni asfaltowej (zob. Tabela 3). W ten sposób uzyskuje się również dobrą przyczepność do drogi.

Tabela 3 przedstawia wyniki pomiarów poziomu hałasu dla opony bezbieżnikowej, przy określonych prędkościach na ośmiu rodzajach nawierzchni.

Dla porównania, wyniki pomiarów hałasu zostały przeliczone na wyniki, jakie zostałyby uzyskane w temperaturze 20°C. Różnica nominalna wynosi 1,1 dB(A). Kiedy różnica pomiędzy dwoma nawierzchniami przekracza 1,1 dB(A), obydwie takie nawierzchnie klasyfikuje się jako różne z akustycznego punktu widzenia.

Jak wynika z tabeli 3, nawierzchnia betonowa wykończona matami jutowymi

jest porównywalna do nawierzchni asfaltowej pod względem hałasu. Nawierzchnia betonowa wykończona miotłą stalową daje wyraźnie wyższy poziom hałasu.

Przy odpowiednio dobranym do betonu kruszywie, tzn. kruszywie o dużej odporności na ścieranie, właściwości nawierzchni betonowej wykończonej matami jutowymi są bardzo dobre pod

kątem przyczepności, co wykazały pomiary współczynnika przyczepności.

Po wprowadzeniu dwuwarstwowej metody budowy nawierzchni betonowych, przy zastosowaniu dybli i kotew oraz wykończeniu za pomocą mat jutowych, można stwierdzić, w oparciu o wieloletnie koszty całkowite, że nawierzchnie betonowe stały się popularne przy budowie sieci dróg i autostrad w Republice Czeskiej oraz, że metoda ta jest konkurencyjna w porównaniu z nawierzchniami asfaltowymi. Obydwie metody budowy dróg były zawsze stosowane do budowy sieci dróg i autostrad w Republice Czeskiej.

Wybierając metodę, która będzie najlepiej dostosowana do danej inwestycji i do istniejących dróg, musimy w sposób dokładny i odpowiedzialny podjąć decyzję, biorąc pod uwagę wszystkie aspekty (warunki geologiczne i klimatyczne, natężenie ruchu drogowego, wymogi dotyczące konserwacji nawierzchni w czasie eksploatacji itp.)

inż. Maria Birnbaumová
ZŠD, Brno, Czechy

Tabela 3. Wyniki pomiarów hałasu

Rodzaj nawierzchni	Ogólny poziom hałasu (dB(A)) przy prędkości:		
	60 km/h	90km/h	120km/h
nawierzchnia betonowa, D5, km 102,6, dwuwarstwowa z dyblami i kotwami, powierzchnia wykończona za pomocą maty jutowej	89,6	96,2	100,4
nawierzchnia betonowa, D5, km 103,6 dwuwarstwowa z dyblami i kotwami, powierzchnia wykończona za pomocą maty jutowej	88,9	95,6	100,6
nawierzchnia betonowa, D1, km 228,07, stara metoda bez dybli i kotew, powierzchnia wykończona za pomocą maty jutowej	90,1	96,5	100,8
nawierzchnia betonowa, D11, km 4,0, stara metoda bez dybli i kotew, bardzo głębokie wykończenie powierzchni stalową miotłą	95,8	100,4	106,0
beton asfaltowy, D5, km 59,6	91,8	97,6	101,2
nawierzchnia asfaltowa D1, km 13,0	91,5	96,7	99,9
nawierzchnia asfaltowa D5, km 40,0	92,8	98,5	101,3
nawierzchnia asfaltowa D8, km 11,0	90,4	96,1	98,9

Polski Cement Sp. z o.o.
30-003 Kraków, ul. Lubelska 29
tel. +48 12 423 33 55
tel./fax +48 12 423 33 45

WYDAWNICTWO

POLSKI
CEMENT

<http://www.polskicement.com.pl>, e-mail: wydawnictwo@polskicement.com.pl

KWARTALNIK



Kwartalnik „Budownictwo, Technologie, Architektura” jest kontynuacją wydawanego od 1998 roku czasopisma „Polski Cement”. Wysoki poziom merytoryczny z jednoczesnym zachowaniem charakteru popularno-naukowego sprawiają, że pismo jest chętnie czytane w środowiskach związanych z budownictwem. Na łamach kwartalnika piszą wybitni fachowcy: architekci, projektanci, technolodzy i inni specjaliści. Obok wysokiego poziomu merytorycznego czasopismo wyróżnia się ciekawym sposobem prezentacji zamieszczanych materiałów. Dzięki temu stale rośnie grupa czytelników, którzy w swojej pracy i zainteresowaniach poszukują sprawdzonej wiedzy i najświeższych informacji.

Kwartalnik stanowi znakomite uzupełnienie wszystkich materiałów, które dotychczas wydała oficyna Polski Cement.

Każdy numer czasopisma zawiera materiały na temat dróg betonowych, dlatego szczególnie polecamy go projektantom i wykonawcom dróg.

Prenumeratę (28 zł/rok) można zamówić:
e-mail: wydawnictwo@polskicement.com.pl
fax: (012) 423 3345, tel. (012) 423 3355

KLASYKA WŚRÓD WYDAWNICTW Z ZAKRESU TECHNOLOGII BETONU



Książki są do nabycia w siedzibie wydawnictwa oraz w punktach:

- GDAŃSK: Gdański Dom Książki, ul. Miszewskiego 16; Księgarnia fachowa EKOBIS, ul. Pilotów 17G/4
- GORZÓW WIELKOPOLSKI: Księgarnia DANIEL, ul. Chrobrego 9 • KATOWICE: "Polnorm", ul. Gliwicka 2
- KIELCE: Vena Studio, ul. Alabastrowa 76 • KRAKÓW: Księgarnia Techniczna, ul. Podwałe 4; Wydawnictwa Naukowo - Dydaktyczne AGH, al. Mickiewicza 30; "OLI-MAT", Al. Mickiewicza 30, Paw. B-6; Księgarnia Budowlana, ul. Długa 52; Sklep Papierniczy, ul. Warszawska 24; "ARCUS", ul. Warszawska 24
- LUBLIN: P. H.-U., ul. Narutowicza 18 • ŁÓDŹ: Księgarnia "Politechnika 100", ul. Żeromskiego 116;
- OPOLE: Księgarnia Akademicka, ul. Końskiego 45 • POZNAŃ: Księgarnia "Politechnik", ul. Piotrowo 3; Księgarnia Naukowa "Podgórze", ul. Podgórze 8; • WARSZAWA: Główna Księgarnia Techniczna DOM KSIĄŻKI, ul. Świętokrzyska 14; Księgarnia M.D.M., ul. Piękna 31/37; WACETOB, ul. Hoża 58; Księgarnia Studencka Politechniki Warszawskiej, pl. Politechniki 1; Księgarnia Wydawnictw Prawnych Ekonomicznych Budowlanych i Ogólnosortymentowych, ul. Żurawia 1 A; Centralny Ośrodek Informacji Budowlanej, ul. Bartycka 26; • WROCŁAW: Księgarnia Politechnika, ul. Wybrzeże Wyspiańskiego 27; WERA PUH, ul. Piłsudskiego 74/311; Księgarnia Akademicka, ul. M. Skłodowskiej-Curie 39.