



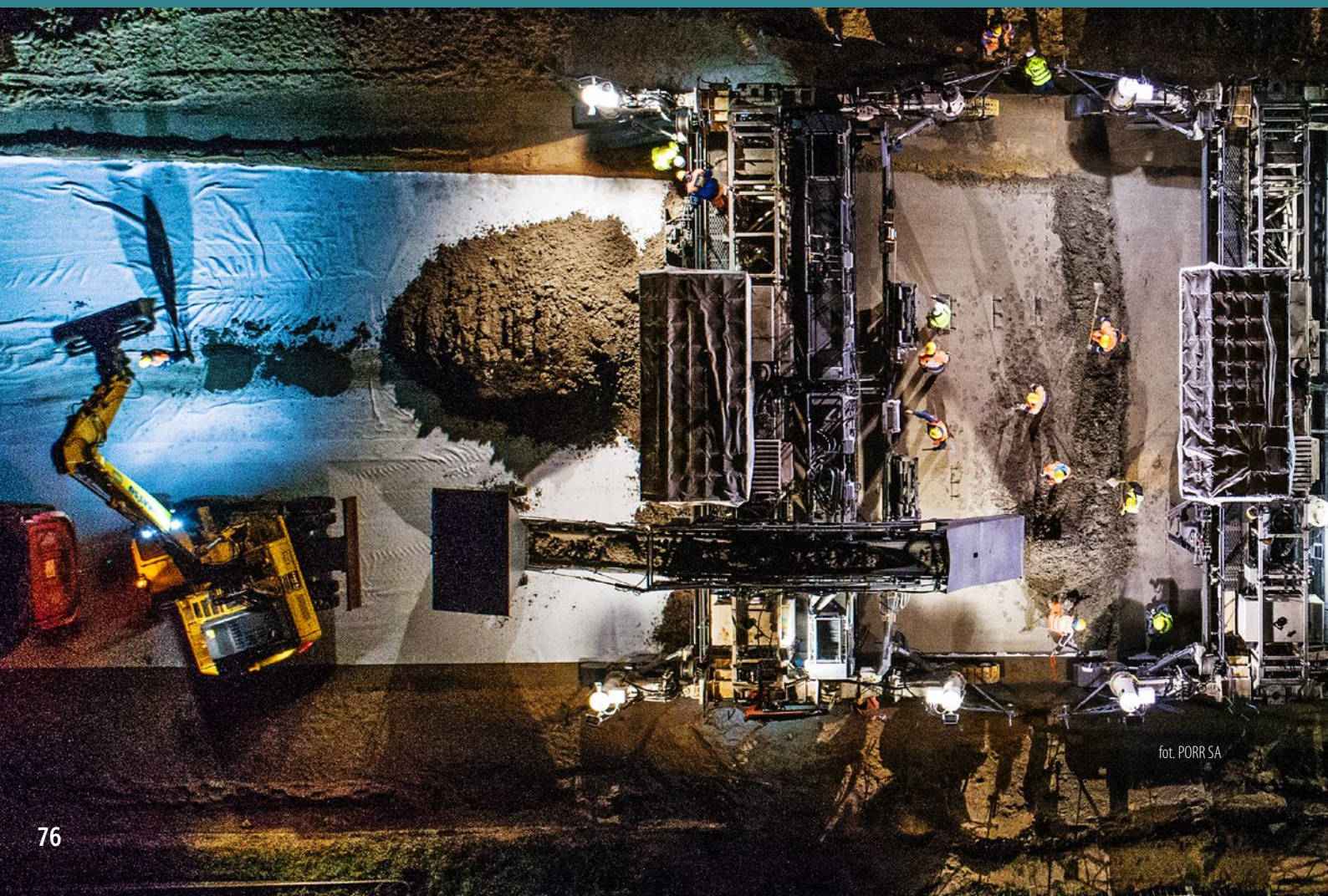
Temat specjalny

Nawierzchnie betonowe a zrównoważone budownictwo

tekst: **MARIA SZRUBA**, Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne

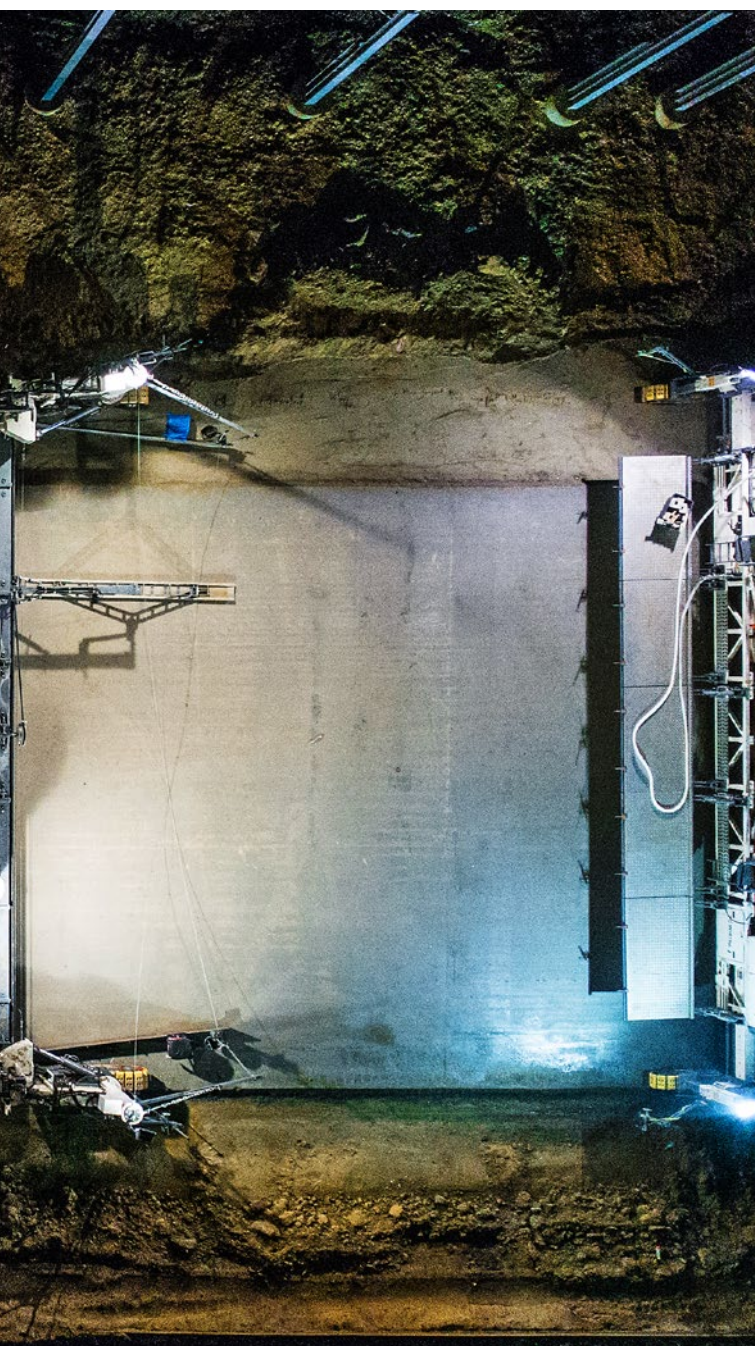


Pierwsze polskie doświadczenia z budową nawierzchni betonowych miały miejsce ok. sto lat temu. Od ponad wieku nie zmieniły się także podstawowe zasady produkcji betonu. Niemniej w budownictwie drogowym i mostowym dzięki betonom nowej generacji można dziś stosować rozwiązania, które do tej pory były nieosiągalne. Wysoka trwałość betonu oraz coraz większa wiedza i doświadczenie wykonawców sprawiają, że na polskich drogach spotyka się go coraz częściej.



fol. PORR SA

Z historii nawierzchni betonowych [2]



Udział dróg o nawierzchni betonowej w Polsce systematycznie wzrasta, co łączy się przede wszystkim z rozwojem sieci dróg ekspresowych i autostrad. Dla użytkowników dróg liczy się zwłaszcza komfort i bezpieczeństwo jazdy. Można także zaobserwować coraz mniejszą akceptację społeczną dla długotrwałych i powtarzających się remontów. Mając to na uwadze, zarządcy dróg stawiają budowanym nawierzchniom odpowiednie wymagania techniczne. Drogi muszą być trwałe i bezpieczne. Dlatego nawierzchnie betonowe, których okres eksploatacji wynosi od 30 do 50 lat, zyskują coraz więcej zwolenników [1].

Nowoczesne rozwiązania technologiczne

Znaczące wydarzenia dla budowy nawierzchni betonowych nastąpiły w latach 20. XX w. W tym czasie Malcolm Westergaard opublikował prace umożliwiające obliczanie naprężeń w płytach z betonu na podłożu sprężystym. Był to także okres, kiedy po raz pierwszy zaczęto stosować dyble w nawierzchniach. Rozwój mechaniki gruntów spowodował wzbogacenie empirycznych reguł projektowania nawierzchni o narzędzia do charakteryzowania materiałów i analitycznego wyznaczania grubości płyt w zależności od obciążania i warunków podparcia.

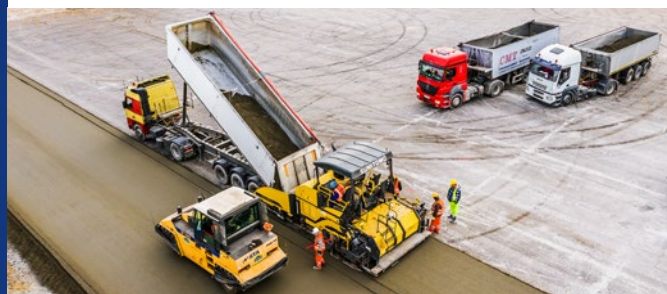
Wieloletnie doświadczenia płynące z eksploatacji dróg z betonu pokazały, że na głównych ciągach transportowych wśród nawierzchni betonowych najskuteczniejsze są nawierzchnie niezbrojone, dyblowane i z kotwami, nawierzchnie zbrojone o zbrojeniu ciągłym oraz nawierzchnie złożone (mieszane), gdzie warstwa betonu jest ułożona na warstwie asfaltobetonu, stosowana głównie jako warstwa wzmacniająca starą nawierzchnię [1].

Wśród nawierzchni zbrojonych wyróżnia się te tworzone z płyt zbrojonych krótkich oraz nawierzchnie o ciągłym zbrojeniu. Zbrojenie płyt zaleca się m.in. w przypadkach spodziewanych nierównomiernych osiadań podłoża (m.in. nad przepustami). Z doświadczeń wynika, że zbrojenie płyt w istotny sposób wpływa na zmniejszenie liczby rys, ich



LH ENGINEERING Sp. z o.o.

ul. Łżecka 26E, 02-135 Warszawa, e-mail: lhe-pl@lhe.com.pl



www.lhe.com.pl

Projektujemy i budujemy lepszą infrastrukturę

LH Engineering wykorzystuje i wdraża wiedzę technologiczną w projektowaniu i wykonawstwie inwestycji infrastrukturalnych i drogowych. Bazując na wiedzy i doświadczeniu firmy Lafarge-Holcim w zakresie technologii nawierzchni betonowych Rolltec™, stworzyliśmy organizację, która jest w stanie wykorzystać wiedzę technologiczną oraz doświadczenie w projektowaniu i wykonawstwie drogowym. Odpowiadając na zapotrzebowanie rynku prowadzimy również realizację robót drogowych w technologiach bitumicznych oraz przy zastosowaniu innowacyjnych technologii nawierzchniowych (Innovative Road Coating).

rozwartości oraz pęknięć, zmniejszenie liczby szczelin skurczowych, a także przeciwdziałania stopniowemu rozszerzaniu pęknięć. Nawierzchnie o ciągłym zbrojeniu (płyty długie) nie mają szczelin, nie wymagają wysokich nakładów na utrzymanie, a ponadto nie występuje w ich przypadku zjawisko przenikania wody do podłoża i pompowania w szczelinach. Tego typu nawierzchnie umożliwiają długi okres eksploatacji oraz komfortową jazdę, którą zapewnia równość i brak klawiszowania szczelin [2].

Dobór cementu

Na trwałość betonu w sposób szczególny wpływa dobór odpowiedniego cementu. Według zaktualizowanej w 2019 r. *Ogólnej specyfikacji technicznej* [3], przy doborze cementu do betonowych nawierzchni drogowych konieczne jest uwzględnienie kategorii ruchu, w jakich nawierzchnia będzie użytkowana (od KR1 do KR4 lub od KR5 do KR7), oraz kategorii środowiskowej E3. Zgodnie z Raportem Technicznym CEN/TR 16349 [4], w odniesieniu do możliwości wystąpienia w betonie zagrożenia destrukcyjną reakcją alkalia – kruszywa (alkali aggregate reaction – AAR), kategoria E3 oznacza najwyższe zagrożenie, czyli środowisko wilgotne z agresywnym oddziaływaniem czynników zewnętrznych na elementy obiektu z betonu. Do kategorii E3 zaliczono:

- elementy wystawione na działanie soli odmrażających;
- elementy wystawione na cykliczne działanie wody morskiej (zanurzanie i suszenie) lub słony oprysk (strefy rozbryzgu);
- wilgotne elementy wystawione na naprzemienne działanie zamarzania i rozmarzania;
- wilgotne elementy wystawione na długotrwałe działanie wysokiej temperatury;
- jezdnie drogowe poddane obciążeniom zmęczeniowym.

Dlaczego nawierzchnie betonowe? [10]

1

Możliwość wykonywania kompletnej nawierzchni w jednym przejściu rozkładarki.



2

Duża sztywność nawierzchni w czasie długotrwałego przeciążenia, zwłaszcza w wysokich temperaturach.



3

Możliwość ponownego użycia materiałów z wyburzenia nawierzchni.



4

Długa żywotność, duża odporność na wysokie i niskie temperatury.



5

Duża jasność nawierzchni – mniejsze koszty oświetlenia.



Oprócz tego w [3] podkreślono, że do betonu dolnej i górnej warstwy należy stosować ten sam rodzaj i klasę cementu.

Dodatki i domieszki

Coraz doskonalsze nawierzchnie betonowe wiele zawdzięczają chemii budowlanej, a w szczególności domieszkom i dodatkom, których stosowanie pozwala na modyfikację składu i poprawę wielu istotnych właściwości użytkowych zapraw, mieszanek betonowych i stwardniałych betonów. Stosowane obligatoryjnie w drogownictwie domieszki napowietrzające powodują wzrost mrozoodporności betonu [2]. Zgodnie z [3], stosowanie innych domieszek niż napowietrzające powinno wynikać z potrzeb technologicznych, podyktowanych warunkami wbudowania mieszanki betonowej. Ponadto przy wyborze domieszki należy uwzględnić jej kompatybilność z cementem. W przypadku zastosowania więcej niż jednej zaleca się sprawdzenie wzajemnej kompatybilności domieszek na etapie wykonywania zarobów próbnych i podczas sprawdzania recepty.

Wśród osiągnięć współczesnej modyfikacji materiałowej betonu ważne miejsce zajmuje rozwój betonów określanych jako autotechnologiczne, które znacznie zmniejszają zakres i uciążliwość operacji technologicznych przy ich wykonywaniu i użytkowaniu. Do takich betonów należy m.in. beton samonaprawialny. Przez umieszczenie materiału naprawczego wewnątrz kompozytu jeszcze na etapie wytwarzania, czyli zanim doszło do uszkodzenia, taki materiał nie wymaga interwencji z zewnątrz jako reakcji na uszkodzenie, ponieważ środek naprawczy jest gotowy do działania, kiedy tylko staje się niezbędne odtworzenie struktury tworzywa [5]. Cztery różne technologie samonaprawiających się betonów zastosowano w 2015 r. w Wielkiej Brytanii w związku z modernizacją autostrady A465 Heads of the Valleys Highway. Dotychczasowe wyniki projektu są bardzo obiecujące [6].

Aspekty środowiskowe

Beton, oprócz tego, że jest trwały i wytrzymały, nie stanowi zagrożenia dla zdrowia człowieka – jest ekologiczny i może odegrać ogromną rolę w rozwoju budownictwa zrównoważonego. Np. beton fotokatalityczny jest jednym z rozwiązań materiałowych, które może się przyczynić do redukcji stężenia tlenków azotu w powietrzu. W badaniach towarzyszących wdrożeniu antysmogowego chodnika przy rondzie Daszyńskiego w Warszawie w 2018 r. potwierdzono m.in. mniejsze zanieczyszczenie tlenkami azotu o nawet 30% w pobliżu nowej nawierzchni z betonu fotokatalitycznego. Początkowo zastosowanie tej technologii związane było z uzyskaniem samooczyszczania się powierzchni betonowych w wyniku procesu fotokatalizy. Dopiero później zaobserwowano, że wskutek reakcji usuwane są również związki NO_x . Tym samym zastosowanie betonu fotokatalitycznego w nawierzchniach może być skutecznym narzędziem do poprawy jakości powietrza w środowiskach dużych aglomeracji miejskich i przy dużych arteriach komunikacyjnych [7].

Beton, tak jak każdy produkt, ma swój określony cykl życia, w którym można wyróżnić poszczególne fazy jego istnienia – począwszy od pozyskania surowców, przez wytworzenie

Czy wiesz, że [11]

1

Beton w prymitywnej formie, wykonany z gipsu i wapna, stosowano już w starożytnym Egipcie przy budowie piramid ponad 5 tys. lat temu.

2

12 km to długość pierwszego odcinka nowoczesnej autostrady betonowej (A18) zbudowanej w 1995 r. w Polsce.

3

Zdaniem ekspertów, Austria, Belgia, Czechy i Niemcy mają najwięcej doświadczeń związanych z budową dróg betonowych.

4

Ronda z betonu ze zbrojeniem ciągłym to wynalazek belgijski.

5

Droga z betonu wałowanego może zostać oddana do użytku już po 48 godzinach od wybudowania.

6

Ekskluzywna marka perfum Comme des Garçons w 2017 r. wypuściła na rynek zapach o nazwie „Concrete” zamknięty we flakonie wykonanym z betonu.



produktu, a skończywszy na utylizacji i zagospodarowaniu powstałych odpadów. W przypadku drogi, bez względu na technologię, w jakiej została wybudowana, w jej cyklu życia można wyróżnić takie etapy, jak wydobycie i przetwarzanie surowców mineralnych, transport, produkcja, budowa, użytkowanie, rozbiórka, recykling [8].

W porównaniu z innymi powszechnie stosowanymi materiałami budowlanymi beton to produkt niskoemisyjny. Na etapie przygotowania jego skład optymalizuje się dzięki domieszkom i dodatkom. Przez lokalne pozyskiwanie kruszywa do jego produkcji zwiększa się efektywność transportu. Beton po zakończeniu eksploatacji konstrukcji można poddać recyklingowi. Pozyskany z wyburzenia może zostać rozdrobniony i ponownie wykorzystany jako kruszywo, materiał do budowy dróg czy jako surowiec do produkcji cementu [9].

Stale prowadzone badania w zakresie wielokryterialnej optymalizacji materiałowo-technologicznej, ekologicznej i ekonomicznej stosowania betonu pozwalają mieć nadzieję, że katalog możliwości tego materiału, a co za tym idzie – także nawierzchni betonowych, nie został jeszcze wyczerpany.

Literatura

- [1] Glinicki M.A.: *Inżynieria betonowych nawierzchni drogowych*. Warszawa 2019.
- [2] Szydło A.: *Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego. Teoria, wymiarowanie, realizacja*. Kraków 2004.
- [3] *Warunki wykonania i odbioru robót budowlanych. D-05.03.04v02. Nawierzchnia z betonu cementowego (dokument wzorcowy)* (online). GDDKiA, 30 września 2019. Dostępny w Internecie: https://www.gddkia.gov.pl/frontend/web/userfiles/articles/d/dokumenty-techniczne_8162/WWiORB/punkt%205/D-05.03.04_NAWIERZCHNIA%20Z%20BETONU%20CEMENTOWEGO_V02.pdf (dostęp 22 kwietnia 2020).
- [4] CEN/TR 16349:2012 (E) *Framework for a specification on the avoidance of a damaging AlkaliSilica Reaction (ASR) in concrete*.
- [5] Łukowski P.: *Modyfikacja materiałowa i jej rola w technologii betonu – spojrzenie z perspektywy dziesięciu konferencji „Dni Betonu”*. „Budownictwo, Technologie, Architektura” 2019, nr 1, s. 62–67.
- [6] Davies R., Teall O., Pilegis M., Kanellopoulos A., Sharma T., Jefferson A., Gardner D., Al-Tabbaa A., Paine K., Lark R.: *Large Scale Application of Self-Healing Concrete: Design, Construction, and Testing* (online). „Frontiers in Materials” 2018, Vol. 5. Dostępny w Internecie: https://www.researchgate.net/publication/327429813_Large_Scale_Application_of_Self-Healing_Concrete_Design_Construction_and_Testing (dostęp 23 kwietnia 2020).
- [7] Chilmon K., Jackiewicz-Rek W.: *Beton fotokatalityczny a możliwość oczyszczania powietrza*. „Budownictwo, Technologie, Architektura” 2019, nr 2, s. 66–69.
- [8] Szabat Ł.: *Beton, a cykl życia drogi*. VII Konferencja Dni Betonu. Wisła, 8–10 października 2012.
- [9] Środa B.: *Beton – niskoemisyjny materiał budowlany przyszłości*. „Budownictwo, Technologie, Architektura” 2017, nr 1, s. 70–71.
- [10] *Kryteria wyboru rodzaju nawierzchni na drogach zarządzanych przez GDDKiA* (online). GDDKiA. Dostępny w Internecie: https://www.gddkia.gov.pl/userfiles/articles/p/prezentacja-gddkia_17447/Kryteria%20wyboru%20rodzaju%20nawierzchni%20na%20drogach%20GDDKiA%20-%20Sejm%20RP%2016.12.2014.pdf (dostęp 18 kwietnia 2020).
- [11] *8 Amazing Facts about Concrete* (online). Dostępny w Internecie: <https://www.neilsullivanandsons.co.uk/wp-content/uploads/2016/06/NS-8-Facts-Infographic-v2-1.pdf> (dostęp 25 kwietnia 2020).



Pominąwszy koszty budowy, utrzymania i remontów, jakie parametry powinny decydować o wyborze rodzaju nawierzchni w realizowanych kontraktach?



ADRIAN FURGALSKI,
prezes zarządu, Zespół Doradców
Gospodarczych TOR Sp. z o.o.

Od 2019 r. o wyborze rodzaju nawierzchni decydują wykonawcy. Jako zwolennik większej liczby dróg w technologii betonowej pozostaję sceptykiem takiego rozwiązania. Beton

jako powłoka wymaga doskonałego ułożenia, a nie wszystkie firmy mają tutaj kompetencje, nie mówiąc o drogich maszynach. Beton powinien być wszędzie tam, gdzie mamy prognozowane duże natężenie ruchu, zwłaszcza ciężkiego. Przy zastosowaniu nowych technologii betonu wysoko wytrzymałościowego uzyskujemy nawet siedmiokrotnie większą trwałość niż w przypadku asfaltu. Niebagatelne jest bezpieczeństwo

ruchu. Nie występuje bowiem zjawisko koleinowania, jasna nawierzchnia poprawia widoczność, szczególnie w złych warunkach atmosferycznych, a dobra szorstkość zapewnia dużą przyczepność. Niemieckie badania wykazały, że wskaźnik wypadkowości na autostradach betonowych jest o jedną trzecią niższy od wskaźnika stwierdzanego na nawierzchniach asfaltowych. Drogi betonowe są także porównywalne do asfaltowych pod względem poziomu hałasu, a różnica mieści się w granicach błędów pomiarowego. Dla środowiska naturalnego ważna jest z kolei możliwość całkowitego i bezpiecznego recyklingu betonu. Odpady bitumiczne są zaś trudne do powtórnego wykorzystania, zawierają bowiem szkodliwe związki węglowodorów aromatycznych. Na koniec, ważna jest także dostępność zasobów. Polska dysponuje wszystkimi surowcami (cement, grysy, żwiry, piasek) niezbędnymi do wykonania dobrych sztywnych nawierzchni betonowych.

Od 20 lat w Polsce co dwa lata odbywa się konferencja Dni Betonu. Jak w tym czasie zmieniła się technologia betonowych nawierzchni drogowych?



prof. JAN DEJA,
dyrektor Biura Stowarzyszenia
Producentów Cementu

20 lat temu na drogach mieliśmy praktycznie do czynienia z monokulturą asfaltową. Obecnie posiadamy w kraju blisko 750 km dróg ekspresowych i autostrad z nawierzchnią betonową.

Pojawienie się technologii betonowej na drogach spowodowało, że dzisiaj możemy cieszyć się lepszą jakością zarówno dróg betonowych, jak i bitumicznych. Konkurencja technologii nawierzchni dróg wymusza jakość i sprzyja kierowcom. Jesteśmy krajem, w którym wzrost ruchu pojazdów ciężkich jest znaczny. Z doświadczeń innych państw i opracowań naukowych wynika, że przy natężeniu ruchu pojazdów ciężkich przekraczającym 5 tysięcy pojazdów na dobę nawierzchnia drogi powinna być wykonana z betonu. Wykonawcy nawierzchni betonowych, poszukując nowych rozwiązań, wprowadzili nawierzchnię betonową z odkrytym kruszywem. Według tej technologii, znanej z zastosowania na drogach europejskich, wybudowano znakomitą większość betonowych dróg ekspresowych i autostrad w Polsce.

Te dwie dekady przyniosły bardzo pozytywne doświadczenia związane nie tylko z wykonawstwem, ale także z eksploatacją dróg betonowych. Pierwsza autostrada betonowa A18 została zbudowana 25 lat temu i dalej służy kierowcom. Na pewno zdaliśmy egzamin z deklarowanej trwałości dróg betonowych. Doczekaliśmy się także wzrostu udziału technologii betonowej w drogach samorządowych. To już ok. 1000 km dróg gminnych, powiatowych czy wojewódzkich, a każdego roku przybywa kolejnych 100 km samorządowych dróg z nawierzchnią betonową. Stowarzyszenie Producentów Cementu popularyzuje te rozwiązania m.in. przez program Dobry Gospodarz, w którym rokrocznie nagradza samorządowców decydujących się na budowę dróg betonowych. Dysponujemy dobrze przygotowaną dokumentacją techniczną. Dla projektantów i wykonawców dróg betonowych przygotowaliśmy *Katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych* oraz *Ogólne specyfikacje techniczne*. Obecnie pracujemy nad nowymi *Warunkami wykonawstwa i odbioru robót budowlanych*. Tematyka dróg betonowych jest jednym z filarów konferencji Dni Betonu, która odbędzie się w dniach 12-14 października 2020 r. w Wiśle.

Budowa nawierzchni drogowych w aspekcie ochrony środowiska wymaga stosowania odpowiednich materiałów. Jak to wygląda w odniesieniu do betonów?



dr inż. WIOLETTA JACKIEWICZ-REK,
Politechnika Warszawska

W ostatnich latach sam wybór technologii nawierzchni sztywnych, jak i projektowanie i realizacja nawierzchni z betonu cementowego ściśle odpowiadają na potrzebę realnej redukcji wpływu na środowisko

naturalne. Beton do nawierzchni projektowany jest z optymalnie dobranych pod względem jakościowym i ilościowym składników dopuszczonych do obrotu i stosowania, powstających przy możliwie minimalnej degradacji środowiska i zużyciu zasobów naturalnych oraz maksymalnie możliwej oszczędności energii. Kiedyś powiedzielibyśmy, że projektujemy „zrównoważony beton” do nawierzchni – teraz raczej, że jest to beton „szyty na miarę”, o pożądanych właściwościach, ale bez zbędnego marnotrawstwa cech i składników. Jednocześnie taki beton jest materiałem, który idealnie odpowiada ideom gospodarki o obiegu zamkniętym, gdzie istotne jest, aby odpady, jeżeli już powstaną, były traktowane jak surowce wtórne i wykorzystane do ponownej produkcji. Beton z nawierzchni może być w pełni poddany recyklingowi – można go rozkruszyć i użyć

jako kruszywo, głównie na podłoża i podbudowy dróg, ale również może być wykorzystany jako częściowy zamiennik kruszywa naturalnego w nowym betonie. Recykling kruszywa ma także duże znaczenie z uwagi na możliwości sekwestracji dwutlenku węgla z powietrza, gdyż duża powierzchnia rozkruszonego kruszywa wtórnego jest w stanie wchłonąć znaczące ilości CO₂ z atmosfery. Cennym składnikiem betonu jest cement, który obecnie powstaje w Polsce w najnowocześniejszych cementowniach Europy, gdzie szczególnie zadbano o redukcję emisji CO₂ nawet o 30%. Nie bez znaczenia jest to, że produkcji cementu towarzyszy zagospodarowywanie prawie 2 mln t odpadów rocznie jako paliw alternatywnych dla paliw kopalnych, które są spalane w piecach klinkierowych, zamiast trafiać na wysypiska. Jest to znacząca korzyść zarówno dla cementowni, jak i dla środowiska naturalnego. Realizacje nowo powstających nawierzchni betonowych opierają się na nowych rozwiązaniach materiałowych i innowacyjnych technologiach, pozwalających na uzyskanie odpowiednio wysokiej trwałości w przewidywanym długim czasie użytkowania. Ta długowieczność betonówek sama w sobie jest ekologiczna, bo nie wymaga angażowania zasobów do napraw i modernizacji przez lata, nie wspominając o innych zaletach, które przyniosą przyjazne środowisku korzyści.