



MAREK DANOWSKI

marekdanowski1@gmail.com

## Utrzymanie nawierzchni betonowych na terenie Saksonii-Anhalt RFN\*

Ze względu na wagę zagadnień związanych z budową i utrzymaniem nawierzchni betonowych oraz biorąc pod uwagę fakt, że w Polsce realizowana jest aktualnie i planowana w kolejnych latach budowa kilkuset kilometrów dróg o tego typu nawierzchniach, na podstawie m.in. opracowania [1] w artykule przybliżono zagadnienia, które są dość istotne przy utrzymaniu i realizacji nawierzchni dróg z zastosowaniem betonu cementowego.

### Skróty i terminy użyte w tekście artykułu:

- LSBB – administracja drogowa Saksonii-Anhalt;
- DEGES – Deutsche Einheit Fernstrassenplanungs und Bau GmbH; instytucja powołana w 1990 r. do realizacji sieci dróg szybkiego ruchu;
- AKR – reakcje alkaliów z kwasem krzemowym (Alkalie-Kieselsäure-Reaktionen);
- Waschbeton – beton z odkrytym kruszywem;
- ZTV Fug-StB – dodatkowe warunki techniczne umów i wytyczne dotyczące szczelin w nawierzchniach betonowych;
- AL Sp-Beton – Poradnik oznaczania wytrzymałości na rozłupanie jako parametru (wartości wejściowej) przy wymiarowaniu nawierzchni betonowych;
- CDF Verfahren – metoda badania odporności betonu na działanie mrozu i soli.

### Autostrady na terenie Saksonii-Anhalt

Władze drogowe Saksonii-Anhalt (LSBB) w 2016 r. miały w administracji 474 km autostrad. Z tej liczby 75% długości stanowią nawierzchnie betonowe, a 25% to nawierzchnie asfaltowe. Saksonia-Anhalt jest klasycznym obszarem nawierzchni betonowych, co wynika przede wszystkim z tradycji historycznej.

Budowane przed II Wojną Światową na terenie Saksonii-Anhalt autostrady były realizowane wyłącznie z nawierzchni betonowej. W okresie istnienia Niemieckiej Republiki Demokratycznej budowa nowych odcinków autostrad była realizowana również w technologii z betonu cementowego, ponieważ wskutek braku dewiz koniecznością było wykorzystywanie do budowy nawierzchni drogowych w jak najwyższym stopniu materiałów miejscowych.

Wyjątek w tym zakresie stanowiła obecna autostrada A2, która w wyniku porozumień dotyczących ruchu tranzytowego przez NRD zawartych pod koniec lat 70 ubiegłego wieku, została poddana remontowi z wykorzystaniem warstw asfaltowych.

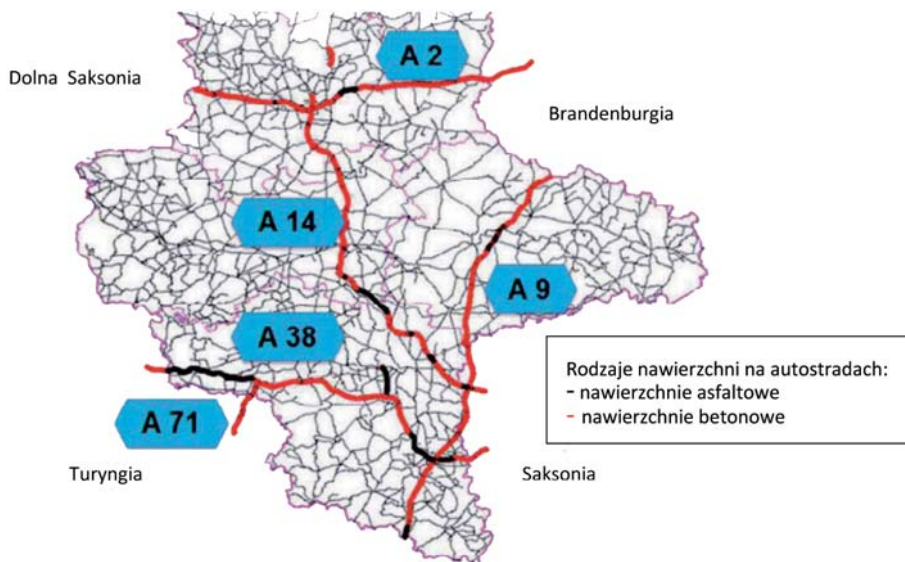
W przypadku inwestycji utrzymaniowych realizowanych w latach 70, niemal 65% kosztów zostało pokryte przez Republikę Federalną Niemiec. W ramach współpracy dostarczony został także sprzęt do budowy dróg, w tym nowoczesna rozkładarka ślizgowa. Rozkładarka została wykorzystana następnie przy budowie nowego odcinka autostrady Berlin–Rostok, a kilka lat później na autostradzie pomiędzy miejscowością Wittstock i ówczesną granicą państwową z RFN.

Dzięki kontaktom ze stroną zachodnioniemiecką w ramach NRD-owskiego Kombinatów Budowy Autostrad i Dyrekcji Dróg stworzony został wówczas odpowiedni potencjał wykonawczy, jak również wysoki poziom znajomości technologii, który był ukierunkowany głównie na budowę nowych odcinków głównych dróg, w tym autostrad.

W 1990 r. sieć autostrad na terenie Saksonii-Anhalt o długości 223 km była w stanie technicznym wymagającym pilnego przeprowadzenia remontów i zabiegów utrzymaniowych. Całości tak ważnej dla całego kraju sieci nie można było jednak od razu poddać remontom. Pierwsze zadanie po zjednoczeniu Niemiec polegało na tym, aby przeprowadzić wybrane rodzaje zabiegów utrzymaniowych. Na południowym przebiegu autostrady A9 już od 1990 r. rozpoczęto realizację przebudów poszczególnych odcinków jeszcze w rozwiązaniu jako dwupasowe i początkowo również bez pasa awaryjnego. Następnie wykonywano pas awaryjnego postoju, a w kolejnej fazie poszerzano jezdnie do 6 pasów ruchu, łącznie z pasem awaryjnego postoju. Pierwszy 40-kilometrowy odcinek został zrealizowany zgodnie z przepisami NRD, na podstawie umowy zawartej uprzednio pomiędzy NRD i RFN – również w technologii betonowej.

Od 1994 r. rozpoczęte zostały przebudowy z poszerzeniem jezdni do 6 pasów ruchu na odcinkach autostrad A2 i A9. Roboty zostały zakończone w latach 2002 i w 2004. Również dwie wymienione autostrady zostały niemal w całości wykonane w technologii betonowej. Uzasadnieniem wyboru technologii betonowej był bardzo duży wzrost natężenia ruchu, jaki miał miejsce w szczególności w przypadku udziału pojazdów ciężarowych i związane z tym dążenie do wyeliminowania zjawiska powstawania kolein w warstwach asfaltowych na tych trasach. Obydwie autostrady stanowią główne arterie komunikacyjne w relacjach północ-południe i wschód-zachód. W 2016 r. ruch na tych autostradach zawierał się w przedziale 60–80 tysięcy pojazdów na dobę,

\* Opracowano na podstawie artykułu pt. *Nawierzchnie betonowe z punktu widzenia inwestora* – Christoph Krelle, Dittmar Marquardt.



Rys. 1. Rodzaje nawierzchni autostrad zlokalizowanych na terenie Saksonii-Anhalt (opracowano na podstawie [1])

przy udziale pojazdów ciężarowych wynoszącym 24%, podczas gdy średni udział pojazdów ciężarowych w Niemczech kształtował się na poziomie 18–19%. W dni robocze udział ten był wyższy i przekraczał znacznie 30%.

Stosowana w Niemczech zasada, aby na silnie obciążonych odcinkach wykonywać nawierzchnie betonowe została utrzymana również na nowo budowanej autostradzie A14. Jedynie początkowy odcinek o długości 12 km pomiędzy miejscowościami Könnern i Löbejün zakończony w 1996 r. został zrealizowany jeszcze z użyciem warstw asfaltowych, w tym warstwę ścieralną z SMA. Inwestor zastępczy w dziedzinie budowy dróg DEGES planował wykonanie również kolejnych odcinków z warstwami asfaltowymi. Przychylnono się jednak do wniosku władz tego kraju związkowego dotyczącego wykonania nawierzchni betonowej. Uznano za przekonujący argument, że autostrada ta przebiega w bliskim sąsiedztwie jednej z największych cementowni w środkowych Niemczech.

Nawierzchnię betonową zastosowano również na autostradzie A38, pomimo że prognozowane obciążenie ruchem było niezbyt wysokie. Uzyskano jednak korzyść, jaką była możliwość stworzenia na całej sieci dróg o nawierzchni betonowej całościowej strategii robót utrzymaniowych.

W połowie pierwszej dekady XXI wieku możliwa stała się kontynuacja rozbudowy sieci autostrad. Ostatnie brakujące odcinki zostały zakończone. W 2009 r. zakończono rozbudowę do sześciu pasów ruchu autostrady A14 pomiędzy Węzłem Schkeuditz i zjazdem do Halle-Peissen, jak również autostrady A38 pomiędzy m. Eisleben i węzłem autostradowym Halle Południe, w technologii odkrytego kruszywa. Oddanie do

ruchu odcinka autostrady A71 na terenie Saksonii-Anhalt z połączeniem do autostrady A38 nastąpiło w 2013 r.

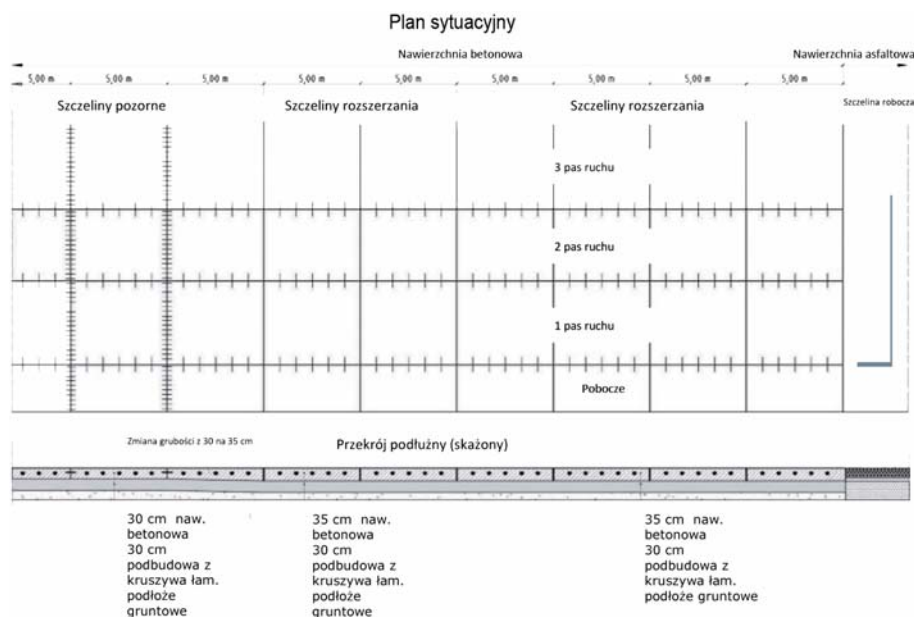
W okresie niemal 20 lat, dzięki prawidłowo ustalonym zasadom zarządzania przez administrację drogową i przy współpracy z DEGES, istniejącą do 1990 r. sieć rozbudowano niemal w całości, uzyskując autostrady sześciopasowe, realizując jedynie jeden nowy odcinek jako czteropasowy (rys. 1).

Z 223 km autostrad jakie odziedziczono po byłej NRD, przy słabej jakości nawierzchni betonowych, podobnie jak i odcinkach o nawierzchni asfaltowej stworzono sieć nowoczesnych i bezpiecznych (dwie jezdnie po 3 pasy ruchu) autostrad o znacznie większej długości. Łączny koszt zrealizowanych robót wyniósł niemal 3 mld euro.

Jednym z problemów, które zostały zaobserwowane w ramach remontów były uszkodzenia zlokalizowane na odcinkach „końcowych” nawierzchni betonowych.

## Odcinki końcowe nawierzchni betonowych autostrad

Obserwacje stanu fragmentów końcowych nawierzchni betonowych, których realizacja następowała zgodnie z wytycznymi ZTV Beton-StB, skłoniły administrację drogową Saksonii-Anhalt w 2012 r. do przyjęcia rozwiązania odbiegającego od dotychczas obowiązujących przepisów technicznych. Miało to miejsce w przypadku dokonywania remontu autostrady A9. Wprowadzono tzw. strefy przejściowe



Rys. 2. Rozmieszczenie szczelin dylatacyjnych i wykonanie tzw. odcinków końcowych (opracowano na podstawie [1])

przed sąsiadującymi odcinkami o nawierzchni asfaltowej. Zastosowano niedyblowane szczeliny rozszerzania, dla których przewidziano wykonywanie pomiarów zmian szerokości oraz temperatury w okresie całego roku. W pierwszym etapie dotyczyło to odcinka nawierzchni betonowej, na którym roboty wykonywano w okresie późnej jesieni, w niskiej temperaturze otoczenia. W następnym roku analogiczne stanowisko pomiarowe wykonano dla nawierzchni, której budowa została zakończona w końcu okresu letniego. Również w tym przypadku prowadzony był monitoring zmian szerokości szczelin i temperatury betonu, tak aby było możliwe uzyskanie większego spektrum informacji odnośnie rzeczywistych zmian szerokości szczelin. Wykorzystanie uzyskanych danych planowane jest przy budowie nowych odcinków, jak również przy zabiegach utrzymaniowych (rys. 2).

Liczba szczelin rozszerzania była dostosowywana do temperatury w trakcie betonowania. Ponieważ w obu przypadkach nawierzchnia betonowa była układana na warstwie z kruszywa łamanego, grubość warstwy betonowej w strefie szczeliny zwiększano z 30 cm do 35 cm. Szerokość szczeliny po wykonaniu wynosiła 2 cm. Jako wkładki zastosowano ściśliwy materiał o określonych właściwościach w zakresie odporności na odkształcenia, nasiąkliwości, odporności na zmiany temperatury. Górny fragment o wysokości 50 mm szczeliny rozszerzania wypełniano zalewą na gorąco, natomiast poniżej umieszczano materiał wypełniający (kord).

Na początku 2016 r. stwierdzono jednak, że na pewnej długości szczelin wykonanych w 2012 r. wystąpiły ubytki w zalewie, co następowało odcinkowo względnie na większej długości. Wkładki z kolei były luźno osadzone w szczelinach. Doprowadzenie do stanu zgodnego z przepisami zostało dokonane w ciągu krótkiego czasu, w celu uniknięcia zjawiska erozji i kolejnych uszkodzeń w tych obszarach.

Przed rozpisanem przetargu na roboty rozważano, jak należy wykonać podłoże w obszarze szczelin. Ze względów technologicznych zdecydowano nie wykonywać progów w podłożu i zastosowano podbudowę tłuczniową. Rozwiązanie to nie jest jeszcze odpowiednio rozpracowane. Realizacja specjalnego tematu badawczego w zakresie wypracowania optymalnych rozwiązań dla tzw. odcinków końcowych powinna doprowadzić do przyjęcia i umieszczenia nowych rozwiązań w wytycznych wykonania nawierzchni betonowych (ZTV Beton-StB).

## Utrzymanie budowlane<sup>1</sup>

### Szczeliny dylatacyjne

Od 2005 r. do chwili obecnej – w takim przedziale czasowym użytkowane są pierwsze odcinki autostrad zrealizowane już po zjednoczeniu Niemiec w 1990 r. Od ponad 12

<sup>1</sup> Utrzymanie budowlane (techniczne) – termin obowiązujący w Niemczech (*Bauliche Erhaltung*) oznaczający zabiegi o różnym zakresie wykonywane w ramach utrzymania nawierzchni. Wyróżnia się również utrzymanie bieżące (*Instandhaltung*) oraz naprawy nawierzchni (*Instandsetzung*). Z kolei odnowa nawierzchni to znacznie szerszy zakres robót aniżeli przyjmowany jest w naszym kraju, włącznie z poszerzeniem nawierzchni i innymi robotami.

lat poddane są zatem oddziaływaniu intensywnego ruchu pojazdów. W wyniku przyjętej strategii dotyczącej szczelin w nawierzchni (nawierzchni betonowych) dokonane ustalenia zostały wzmocnione poprzez strategię utrzymaniową. W pierwszym rzędzie obserwacje, a także miejscowe naprawy, obejmowały wadliwie wykonane wkładki szczelinowe. Następnie ustalono zabiegi utrzymaniowe na pierwszych odcinkach, włącznie z opracowaniem i wdrożeniem strategii odnowy wkładek szczelinowych.

W przypadku nowych nawierzchni betonowych wypełnianie szczelin dokonywane było różnymi systemami:

- w początkowym okresie były stosowane wyłącznie zalewy na gorąco,
- następnie szczeliny poprzeczne były uszczelniane specjalnymi wkładkami (profilami), natomiast szczeliny podłużne zalewane,
- w późniejszym okresie zarówno szczeliny podłużne, jak i poprzeczne, wypełniano z użyciem wkładek szczelinowych (profilu).

Z upływem czasu wkładki (profile) do uszczelniania szczelin miały coraz lepszą jakość. Z tego powodu w przypadku nowych inwestycji wypełnianie szczelin zalewami na gorąco w zdecydowanym stopniu zastąpiono wkładkami. W przypadku administracji drogowej Saksonii-Anhalt w dłuższym okresie czasu stosowane było rozwiązanie wg wariantu: szczeliny poprzeczne uszczelniano przy użyciu profili, natomiast szczeliny podłużne – zalewami na gorąco. W podany sposób uszczelnionych zostało niemal 60% szczelin na nowo zrealizowanych autostradach na terenie Saksonii-Anhalt.

Najlepiej wykonane wypełnienie szczelin podlega niekorzystnym zmianom – pracuje i zużywa się. Występują procesy starzenia, wypełnienie zalewą staje się kruche a ponadto oddziela się od ścianek szczeliny. Ma to miejsce w okresie zarówno letnim, jak i zimowym. Drobne kruszywo znajdujące na nawierzchni może być również przyczyną uszkodzeń. Zasadnicze oddziaływania pochodzą jednak od przejazdów kół pojazdów ciężarowych i to ten rodzaj ruchu powoduje określone uszkodzenia.

Z reguły po okresie 10 lat eksploatacji konieczne jest podjęcie stosownych zabiegów. W pewnych przypadkach może to być nieco dłuższy okres, np. 12 lat. Niekiedy jednak już po 8 latach konieczne jest rozpoczęcie zabiegów naprawczych. Generalnie nawierzchnie betonowe po okresie użytkowania 8 lat muszą zostać poddane szczegółowej kontroli dokonywanej przez pracowników obwodów utrzymania autostrad. W przypadku stwierdzenia konieczności rozpoczęcia prac utrzymaniowych, ich realizacja musi nastąpić w kolejnym roku.

Administracja drogowa Saksonii-Anhalt w temacie obejmującym naprawy szczelin i krawędzi płyt w nawierzchniach betonowych zakłada roczne zakresy rzeczowe prac utrzymaniowych rzędu 30–40 km, co oznacza wydatki wynoszące 3–4 mln euro w ciągu roku. W podanych kosztach zawierają się również inne naprawy, np. podnoszenie względnie stabilizowanie płyt, a w szczególnych przypadkach również wymiana poszczególnych płyt. Spękania płyt są zalewane, natomiast przemieszczające się rzędy płyt kłamrowane. W każdym przypadku naprawione muszą zostać uszkodzone krawędzie płyt, co dokonywane jest przy

użyciu żywic epoksydowych. Celem tych zabiegów jest osiągnięcie takiego stanu technicznego nawierzchni, aby w trakcie kolejnych 8 lat nie zachodziła konieczność prowadzenia zabiegów naprawczych, z wyłączeniem jedynie pojedynczych przypadków.

W systemie okresowym przewidywane jest wykonanie pierwszego zabiegu utrzymaniowego średnio po okresie 10 lat, drugiego zabiegu – po 18 latach.

Ostatecznie zależne jest to jednak od faktycznego stanu uszkodzeń. Od 2011 r. tego rodzaju roboty wykonywane są niemal wyłącznie w porze nocnej. Takie rozwiązanie ma jednak nie tylko zalety, ale i wady. Wskutek prowadzenia prac w porze nocnej koszty napraw są o około 20% wyższe i trwają nieco dłużej. Dla użytkowników autostrad i administracji drogowej są jednak lepszym rozwiązaniem, ponieważ zdarzenia z tytułu spiętrzeń ruchu utrzymują się w normie. Obniżenie jakości robót nie jest tak znaczące, jak to uprzednio zakładano.

W przypadku robót utrzymaniowych, ponowne wbudowanie wkładek szczelinowych nie sprawdziło się. Nie można bowiem zapewnić, że kolejna firma wykonawcza wbuduje odpowiednią wkładkę dla danej szerokości szczeliny. Istotne jest, aby otwarte szczeliny zostały wypełnione w jak najkrótszym czasie. Konieczne jest w związku z tym zapewnienie środków finansowych w odpowiedniej wysokości, a także zapewnienie personelu, w tym z administracji drogowej.

Okresowa konserwacja szczelin musi być powiązana z innymi zabiegami utrzymania budowlanego, co zawierane jest w programie prac utrzymaniowych. Z uwagi na złożoną sytuację związaną z występującymi uszkodzeniami nawierzchni betonowych spowodowanymi reakcjami alkaliów z kwasem krzemowym (AKR) na terenie Saksonii-Anhalt, istnieją obawy co do terminowego ich wykonania.



Fot. 1. Zalwa wyciągnięta ze szczeliny po jednorocznym okresie eksploatacji [1]

Innego rodzaju dodatkowy problem, jaki wystąpił w ostatnich latach na niektórych odcinkach autostrad, dotyczył trwałości użytych systemów wypełniania szczelin przy robotach utrzymaniowych. Stwierdzono stosunkowo szybkie starzenie zalew (tzn. szybkie twarzenie), słabą przyczepność do ścianek bocznych szczeliny, a także częściowe wrywanie (wyciąganie na zewnątrz) wskutek oddziaływania ruchu. Spowodowało to dodatkowe trudności, których rozwiąza-

nie wymagało pilnych działań (fot. 1). Zostały podjęte próby modyfikacji składów przez niektórych producentów zalew, przeprowadzono również badania nowych systemów. W zakresie badań trwałości in situ wykonano odcinki próbne na autostradzie A2 na terenie Saksonii-Anhalt, w Brandenburgii, Szlezwiku Holszynie i Nadrenii Palatynie.

Administracja drogowa zainteresowana jest jak najszybszym wprowadzeniem i stosowaniem nowych systemów w ramach zawieranych umów, ponadto dostosowaniem wytycznych ZTV Fug-StB dotyczących wykonania szczelin w nawierzchniach betonowych. Jest to w interesie wszystkich stron zawierających umowy na roboty naprawcze i utrzymaniowe.

### **Reakcje alkaliów z kwasem krzemowym (reakcje AKR)**

Pierwsze odcinki autostrad zrealizowane po zjednoczeniu Niemiec z nawierzchniami betonowymi, według założeń miały zostać poddane odnowom dopiero na początku lat 20 obecnego stulecia. Od 2004 r. stało się jednak wiadome, że w nawierzchniach na terenie Saksonii-Anhalt zaczynają występować symptomy szkodliwych reakcji alkaliów z kwasem krzemowym. Od 2010 r. było już wiadomym, że szkodliwe reakcje spowodują określone trudności. Stało się to dużym problemem dla kraju związkowego, na terenie którego autostrady w przeważającej części mają nawierzchnie betonowe i na których wystąpiły masowo uszkodzenia spowodowane tymi reakcjami. Zakres uszkodzeń okazał się znaczący, ponieważ zjawisko to wystąpiło na długości około 240 km pojedynczych jezdni autostradowych. Problem ten dotyczy głównie odcinków zlokalizowanych w południowej części Saksonii-Anhalt. Zarząd drogowy tego kraju związkowego sporządził szczegółowy wykaz zagrożonych odcinków, który jest stale aktualizowany.

Doświadczenia wykazały, że początkowa faza uszkodzeń rozpoczyna się od przebarwień betonu w kolorze szarym. Przebarwienia zlokalizowane są głównie w rejonie szczelin poprzecznych, względnie w obszarze skrzyżowań szczelin poprzecznych i podłużnych. Pierwsze objawy uszkodzeń (spękania) pojawiają się po różnym okresie, tj. 7 do 15 lat użytkowania nawierzchni i w pierwszej fazie są



Fot. 2. Przykładowe uszkodzenia powstałe wskutek reakcji alkaliów z kwasem krzemowym (AKR); widoczny jest postęp uszkodzeń w obszarze szczelin [1]

w miejscach przebarwionych, tzn. wzdłuż szczelin. Postęp w powiększaniu się i intensywności uszkodzeń może dokonywać się niekiedy w krótkim czasie i doprowadzać do bardzo poważnych zniszczeń, obejmując coraz większe powierzchnie płyt (fot. 2). Nie stwierdzono dotychczas żadnej systematyki w zakresie tendencji wzrostowej uszkodzeń. Również na podstawie wyników prac badawczych reaktywności betonów w warunkach eksploatacyjnych nie udało się ustalić jednoznacznej tendencji dotyczącej rozwoju uszkodzeń w funkcji czasu.

Na odcinku autostrady A14 pomiędzy miejscowościami Könnern i Bernburg, po uzgodnieniach dokonanych z Federalnym Ministerstwem Komunikacji oraz Federalnym Instytutem Drogowym BAST, w 2008 r. wykonano odcinek próbny mający na celu ustalenie efektywnej strategii oraz jednocześnie wyboru konstrukcji projektowanej dla nawierzchni uszkodzonych w wyniku początkowego stadium oddziaływania reakcji alkaliów z kwasem krzemowym (tabela 1).

Tabela 1. Odcinek próbny dot. sprawdzenia skuteczności zabiegów utrzymaniowych w zakresie zapobiegania reakcjom alkaliów z kwasem krzemowym AKR; lokalizacja – autostrada A14; kier. Magdeburg km 143,5–157,7 (rejon miejscowości Könnern)

| Długość odcinka [m]   | Rodzaj remontu/zabiegu utrzymaniowego                                   | Stan nawierzchni w 2008 r.                            | Stan nawierzchni w 2015 r.  |
|---|---|---|---|
| 5 250   | Pole referencyjne (R) bez zabiegów<br>Początek, środek i koniec odcinka |   | R1: począwszy od AKR – kategoria III, konieczna odnowa<br>R2: AKR kategoria II<br>R3: AKR kategoria I |
| 4 600   | DSK 0/3 i DSK 0/5   | Lekkie przebarwienia w obszarze szczelin, brak spękań | Początki AKR kategoria III, konieczna odnowa  |
| 300   | Żywica epoksydowa z uszorstnieniem (posypką)                            | Zbliżony wygląd na wszystkich odcinkach (sekcjach)    | AKR kategoria III, konieczna odnowa   |
| 500   | Lit   |   | AKR kategoria III, konieczna odnowa   |
| 500   | Środek hydrofobizujący (WA 60)  |   |   |
| 1 500   | Pokost lniany   |   |   |
| 250   | Środek Antygrafitti (Teff-APP)  |   | AKR Kategoria I   |
| Kategorie AKR I–III według „Zaleceń dot. diagnozy i utrzymania nawierzchni betonowych wykazujących uszkodzenia wskutek reakcji AKR”; kwiecień 2012 r. |   |   |   |

W zrealizowanym doświadczeniu chodziło o specjalny rodzaj zabezpieczenia powierzchniowego nawierzchni betonowej, na której stwierdzono pierwsze objawy występowania reakcji alkaliów z kwasem krzemowym, tzn. widoczne przebarwienia nawierzchni zlokalizowane w obszarze szczelin. Uzyskane rezultaty były przedkładane Ministerstwu Komunikacji oraz Federalnemu Instytutowi Drogowemu

BAST, ponadto uwzględnione zostały w planach dotyczących robót utrzymaniowych.

W latach 2008–2009 na odcinku autostrady A9 w pobliżu miejscowości Bad Dürrenberg na jezdni prawej ok. 900 m, jak również pomiędzy węzłami Bitterfeld i Dessau/Południe (dawny tor wyścigowy zlokalizowany na autostradzie), wykonano około 21 km nakładki z zastosowaniem warstwy ścieralnej o grubości 3 cm z mastyksu gryсового SMA 8 S, ułożonej na cienkiej warstwie przeciwspekaniowej SAMI. Obydwie warstwy wykonano z użyciem jako lepiszcza asfaltu modyfikowanego gumą. Powodem dokonania wyboru tego rodzaju zabiegu utrzymaniowego było występowanie na torze przy jezdni prawej ścianki betonowej, której wysokość nie mogła być zaniżona, co tym samym ograniczało grubość nakładki. Rozwiązanie zrealizowane koło Bad Dürrenberg spełniało funkcję pilotażową. Rezultat tej próby można uznać za zadowalający. Po roku od oddania odcinka do ruchu w warstwach asfaltowych musiały jednak zostać wykonane szczeliny podłużne i poprzeczne. W przypadku odcinka zlokalizowanego na „torze wyścigowym” w warunkach niemal takiego samego wykonawstwa, po krótkim czasie pojawiły się pojedyncze pęcherze (bąble). W kolejnym sezonie wiosennym przy znacznych różnicach temperatury występujących w porze nocnej i w ciągu dnia, wystąpiły już mniejsze (niewielkie) pęcherzyki, natomiast w bardzo dużej ilości.

Fakt tworzenia się pęcherzy stanowił duży problem, który był istotny zarówno ze względów prestiżowych, jak również względów wykonawczych. Jako przyczynę tego stanu rzeczy sformułowano jedynie pewne przypuszczenia, nie dokonano natomiast próby wyjaśnienia naukowego. Planowany początkowo okres trwałości wykonanego zabiegu rzędu 8 lat, pomimo pojawiających się okresowo pęcherzy (w okresie wiosennym i na jesieni), wydaje się, że zostanie osiągnięty.

W latach 2009–2012 w przypadku kolejnych odcinków nawierzchni uszkodzonych w wyniku reakcji alkaliów z kwasem krzemowym AKR, zastosowano tzw. podwójną strategię. W przypadku uszkodzonych odcinków o okresie użytkowania do 10 lat (co dotyczyło np. autostrady A14 w części południowej i autostrady A9 w części północnej) – zastosowano zabieg tzw. hydrofobizacji, względnie w zależności od stopnia uszkodzeń wbudowanie cienkiego dywanika na zimno. Celem tych zabiegów było zapobieganie lub spowolnienie szkodliwych procesów zachodzących w betonie poprzez odseparowanie dostępu wilgoci, a także soli stosowanej w zimowym utrzymaniu nawierzchni. Na innych odcinkach, na których uszkodzenia postępowały w dalszym ciągu, rozpoczynano gruntowną odnowę poprzez częściowe zastępowanie uszkodzonej nawierzchni betonowej i ułożenie warstwy ścieralnej i wiążącej w technice kompaktowej, przy założeniu uzyskania okresu trwałości tego rozwiązania minimum 15 lat.

Na starszych nawierzchniach betonowych, przy istniejącym potencjale do spękań i rozpadu, były i są obecnie przejściowo wykonywane zabiegi z użyciem mieszanek mineralno-asfaltowych, w celu zapewnienia odpowiedniej przejeźdności. Następnie nawierzchnie ponownie poddane zostaną zabiegom remontowym, przede wszystkim w technologii

betonu. Dotyczy to głównie południowej części Saksonii-Anhalt, przez którą przebiega autostrada A9. Od 2014 r. odcinki zlokalizowane na autostradzie A14, a także zlokalizowane na północnym odcinku autostrady A9, są poddawane remontom. Od 2013 r. zasadniczy rodzaj prac obejmuje głównie pełne odnowy nawierzchni. W tym zakresie obok napraw w technologii betonu cementowego cztery odcinki na autostradzie A9 i A14 wyremontowano z użyciem asfaltowych warstw kompaktowych. Po sfrezowaniu do głębokości około 10 cm nawierzchni betonowej uszkodzonej wskutek reakcji AKR, beton pozostały przykrywano warstwami asfaltowymi, w celu umożliwienia dalszego okresu użytkowania.

W 2012 r. w ramach doświadczeń pierwszy odcinek o długości 6 km pomiędzy węzłami Lipsk Zachód i węzłem Bad Dürrenberg na autostradzie A9 poddano naprawie według nieco zmodyfikowanej metody. Stara nawierzchnia betonowa była wielokrotnie remontowana z użyciem mieszanki mineralno-asfaltowej, w wyniku czego równość nawierzchni była mocno pogorszona. W związku z tym sfrezowano nawierzchnię na grubość 10 cm i ułożono dwie warstwy kompaktowe o łącznej grubości 11 cm na wcześniej ułożonej warstwie SAMI (fot. 3). W pozostałej starej warstwie betonowej w rozstawie co 50 m nacinano szczeliny rozszerzania, które przykrywano nierdzewną blachą stalową.

Przedstawiony sposób prowadzenia robót był wysoce pracochłonny. W porównaniu do innego rodzaju rozwiązania wykazuje jednak szereg zalet zarówno pod względem wykonania, jak i w zakresie logistyki, ponieważ:

1. umożliwia skrócenie o około 50% czasu wykonania,
2. obniżone zostają koszty realizacji nawet o około 60%,
3. istniejące pasywne urządzenia zabezpieczające i odwadniające mogą być dalej wykorzystywane.

Przy zastosowaniu tego rozwiązania możliwe jest uzyskanie wydłużenia okresu trwałości nawierzchni o co najmniej 15 lat. Kwestią do ustalenia pozostaje natomiast tworzenie się spękań w pozostałej uszkodzonej warstwie betonowej, jak i pojedyncze spękania w warstwach asfaltowych w obszarach szczelin rozszerzania. Wymagać to będzie prowa-

dzenia szczegółowych obserwacji, tak aby umożliwić wyciągnięcie wniosków odnośnie stosowania omawianego sposobu likwidacji uszkodzeń.

Na podstawie doświadczeń, które zebrano z różnymi aplikacjami i rozwiązaniami konstrukcji, pozostającymi w obszarze działań administracji Saksonii-Anhalt, można podać okresy eksploatacji przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2. Szacunkowa trwałość danego zabiegu utrzymaniowego

| Rodzaj zabiegu                        | Szacunkowy okres trwałości [lata]                              | Dotychczasowa wielkość planowana przez administrację [lata] |
|---------------------------------------|--|---|
| Zabezpieczenie powierzchniowe /pokost | 3 – 7  | 5   |
| Cienki dywanik na zimno (DSK)         | 3 – 5<br>(względnie 7 lat przy dużych nakładach na utrzymanie) | 5   |
| Warstwa 3 cm SMA 8S na warstwie SAMI  | ≥ 8  | 8   |
| Gruba nakładka asfaltowa ≥ 10 cm      | ≥ 10   | 15<br>(jednokrotne odnowienie warstwy ścieralnej)           |

Cel zrealizowanych zabiegów wykonywanych przy stosunkowo małym zakresie uszkodzeń, względnie nawet bez wystąpienia uszkodzeń, został osiągnięty. Dochodzą jednak kolejne odcinki autostrad, które zagrożone są reakcjami alkaliów z kwasem krzemowym. W niektórych przypadkach obserwuje się szybkie pogorszenie się stanu technicznego, co było trudne do przewidzenia. Administracja drogowa postawiona jest w bardzo trudnej sytuacji, wynikającej z wzrastających potrzeb finansowych na roboty naprawcze, wskutek powiększania się liczby odcinków uszkodzonych, a możliwościami, które wynikają również ze względów personalnych i ruchowych w odniesieniu do zadań rocznych (fot. 4a/4b).

W dalszym ciągu planowana jest kontynuacja wykonywania zasadniczych napraw w przypadku uszkodzonych nawierzchni betonowych. Istnieje potrzeba wykorzystania zalet szybkich metod budowy, aby w zakresie czasowym i finansowym w kolejnych latach uzyskać lepsze efekty. Na odcinkach autostrad i jezdniach położonych naprzeciw siebie z reguły występują oddziaływania szkodliwych reakcji alkaliów z kwasem krzemowym. Naprawy należy wykonywać bezpośrednio po sobie, ponieważ najczęściej stopień uszkodzeń jest zbliżony. W przypadku, gdy bardziej uszkodzone odcinki położone są bezpośrednio przed, względnie za remontowanym odcinkiem, konieczne jest wykonanie robót obydwu leżących naprzeciw siebie odcinków, często



Fot. 3. Wbudowywanie warstw metodą kompaktową na sfrezowanej nawierzchni betonowej i ułożonej warstwie przeciwspekaniowej [1]

jeszcze w tym samym roku (sezonie robót). Istnieje bowiem niebezpieczeństwo, że położony naprzeciw odcinek w tym czasie ulegnie uszkodzeniom. Tego rodzaju sytuacje wystąpiły np. na jednym kilometrze na autostradzie A14 w 2014 r. koło miasta Halle/Saale (fot. 4a/4b).

a)



b)



Fot. 4. Wzrost zakresu uszkodzeń powstałych wskutek reakcji AKR na autostradzie A14 koło miejscowości Halle/Saale: a) widok nawierzchni w początkowej fazie obserwacji; b) widok nawierzchni po okresie 10 miesięcy [1]

## Wnioski i perspektywy

Od roku 2008 do 2015 administracja drogowa Saksonii-Anhalt (LSBB) na remonty nawierzchni autostradowych na swoim terenie, uszkodzonych wskutek reakcji AKR, wydatkowała kwotę 136,2 mln euro. Z tej kwoty 29,4 mln euro przeznaczono na czasowe zabiegi wykonywane w celu zyskania czasu na zrealizowanie pilnych zabiegów utrzymaniowych. Na odnowy uszkodzeń w obszarze szczelin z zastosowaniem mieszanek mineralno-asfaltowych, w celu zapewnienia bezpieczeństwa ruchu przeznaczono 28,5 mln euro. Zasadnicze naprawy wykonane do końca 2015 r. objęły 18 odcinków, na co wydatkowano łącznie 78,3 mln euro.

Dotyczyło to 65,3 km pojedynczych jezdni całkowicie lub częściowo odnowionych. Remonty z zastosowaniem mieszanek mineralno-asfaltowych były wybierane wyłącznie ze względu na krótszy czas realizacji i przymus spowodowany dużym zakresem uszkodzeń oraz koniecznością wykonania prac na przeciwnych odcinkach w trakcie jednego sezonu budowlanego.

Opierając się na uzyskanych doświadczeniach, jak również uwzględniając fakt koniecznej pełnej odnowy, należy każdorazowo remontować tzw. systemy zatrzymywania pojazdów według RS 2009. Koszty takiej budowy obejmujące jezdnię o długości 5,0 km w zależności od liczby pasów wynoszą 5,5 do 7,0 mln euro.

W ramach tych kwot muszą być realizowane wszystkie inwestycje zarówno w ramach projektów RE, jak i robót zleczanych, po zatwierdzeniu kosztów przez Ministerstwo.

Konieczny jest tym samym dodatkowy okres czasu na przygotowanie się do prac budowlanych, które nie są w pełni dostępne z uwagi na zwiększanie się zakresu uszkodzeń nawierzchni. W tym przypadku zwiększenie limitu zgłoszeń może pomóc w dalszym planowaniu robót utrzymaniowych.

Korzyści dla administracji drogowej wynikają z następujących czynników:

- bardziej elastyczne i szybsze reagowanie na rzeczywiste postępujący proces uszkodzeń,
- możliwości wykonania zasadniczego remontu leżących naprzeciw siebie odcinków przy wymaganym realizacji w ciągu jednego roku,
- realizacji większej liczby zadań niż dotychczas w ciągu roku,
- minimalizowania ryzyka prawdopodobieństwa uszkodzeń na odcinkach autostradowych,
- obniżenia zakresu wprowadzania różnego rodzaju ograniczeń, a także stosowania do wykonania napraw mieszanki mineralno-asfaltowej.

Równoległe do tego, ze strony administracji drogowej LSBB opracowano wariant, w którym dłuższy odcinek zagrożony reakcjami AKR zostaje ujęty jako całość w zadaniu do odnowy i finansowania. Celem było stworzenie bardziej podatnego czasowo i reagującego na działania ukierunkowane na rzeczywisty postęp uszkodzeń.

W okresie od 2015 do 2018 r. na potrzeby remontów nawierzchni odcinków zagrożonych reakcjami AKR zabezpieczono kwotę w wysokości niemal 130 mln euro, natomiast do 2023 r. powyżej 200 mln euro. Nie wliczone zostały przy tym nakłady na roboty z użyciem mieszanek mineralno-asfaltowych, których wykonywanie jest konieczne w celu umożliwienia bezpiecznej przejeżdżalności na autostradach. Nie tylko problemy budowlane i wykonawcze muszą zostać rozwiązane, ale również istotne kwestie dotyczące środowiska.

Jednym z ważniejszych problemów jest możliwość ponownego zużycia betonów rozbiórkowych, zagrożonych reakcjami AKR. Przy dużej ilości tego rodzaju zadań wykonano już nawierzchnię betonową na warstwie tłuczni.

W przypadku dotychczas wykonanych remontów, po szerokim zakresie badań wstępnych nie rozbiórano warstwy podbudowy z tłuczni, ale po wyprofilowaniu i zagęszczeniu (można tego dokonywać walcami gumowymi) warstwa ta była ponownie wykorzystywana.

W przypadku Saksonii-Anhalt beton z rozbiórek był wykorzystywany poza drogownictwem. W jakim zakresie, jak również pod jakimi warunkami możliwe jest przygotowanie i wbudowanie uszkodzonego betonu rozbiórkowego – to stanowi temat oddzielnie realizowanej pracy badawczej. Należy przy tym brać pod uwagę, że kwestia ponownego zużycia betonu nie stanowi problemu dalszej przyszłości, ale może być aktualna już obecnie.

W zakresie ochrony środowiska administracja drogowa Saksonii-Anhalt (LCBB) poczyniła już pewne kroki. W porozumieniu z odpowiednimi władzami tego kraju związkowego uzgodniono jako odstępstwo od obowiązujących przepisów technicznych LAGA M 20 wykorzystanie gruzu budowlanego pod warunkami określonymi jako Warunki Z 2 tzn. do  $< 300 \text{ mg/l}$  (wartość graniczna wg LAGA  $\leq 150 \text{ mg/l}$ ) oraz w zakresie współczynnika przewodności do  $3\,500 \mu\text{S/cm}$ ; przy następujących warunkach brzegowych:

- zastosowanie do budowli technicznej,
- odległość od zwierciadła wody gruntowej  $> 1 \text{ m}$ ,
- warstwa przykrywająca o współczynniku filtracji  $k_f < 5 \times 10^{-9} \text{ m/s}$  i  $d_{\min} > 0,5 \text{ m}$ .

Ponowne zużycie betonu nie może być lokalizowane w strefach chronionych wody, gruntu i na obszarach ochrony przyrody.

Grupa Robocza 8.2.3 „Reakcje alkaliów z kwasem krzemowym AKR” działająca w ramach Stowarzyszenia Badawczego Drogownictwa i Komunikacji (FGSV) przyjęła ten problem do planu. Omawiane są rozwiązania, dotyczące zasadniczej kwestii: jak uszkodzone wskutek zachodzących reakcji AKR betony, po dokonaniu rozbiórki nawierzchni i po odpowiednim przygotowaniu ponownie bezpiecznie stosować do warstw bez spoiwa, względnie do podbudów związanych spoiwem hydraulicznym.

Okólnik Ministerstwa Komunikacji w zakresie „Budownictwo drogowe” nr 4/2013 z 22.01.2013 r., zawiera dane stosowane przez administracje w celu uniknięcia szkodliwych reakcji AKR.

Opracowano rozwiązanie, jak w przyszłości będzie można zapobiegać reakcjom alkaliów z kwasem krzemowym w betonie.

Na stronie internetowej Federalnego Instytutu Drogowego (BASt) opublikowano listę bezpiecznych kruszyw obowiązującą na koniec czerwca 2015 r. Opracowana lista obejmuje kruszywa różnych producentów, tj. 13 kruszyw ocenionych na podstawie badania reaktywności w warunkach eksploatacyjnych (Performance Prüfung) oraz 17 kruszyw sklasyfikowanych na podstawie metody badawczej WS. W wykazie znajduje się jedynie 5 (!) kruszyw niełamanych. Rozmieszczenie przestrzenne wymienionych kruszyw jest bardzo zróżnicowane na terenie Niemiec, co może sprawić, że duże odległości dowozu kruszyw mogą być powodem zwiększonych kosztów realizacji inwestycji drogowych. Trudności pojawiają się często również z przedłożeniem ekspertyz, zwłaszcza w okresie pomiędzy złożeniem zamówienia a rozpoczęciem robót betoniarskich – w przypadku zabiegów utrzymaniowych o większym lub mniejszym zakresie oraz przy wymianach pojedynczych płyt. Należy mieć nadzieję, że liczba dopuszczonych do robót betonowych kruszyw w okresie kilku lat zostanie rozszerzona. Wymaga

to ściślejszej współpracy przemysłu materiałów budowlanych oraz budownictwa.

### **Uszkodzenia nawierzchni spowodowane wysoką temperaturą**

Począwszy od 2013 r. na terenie działania administracji drogowej Saksonii-Anhalt doszło do różnego typu uszkodzeń nawierzchni betonowych spowodowanych wysoką temperaturą. Uszkodzenia te były w formie: wybrzuszeń, wyboczeń płyt, względnie podniesień części powierzchni płyty. Wszystkie przypadki tego rodzaju uszkodzeń miały miejsce na odcinkach autostrad, na których wystąpiły objawy występowania reakcji alkaliów z kwasem krzemowym AKR. Uszkodzenia te nie spowodowały żadnych kolizji i wypadków drogowych. Uszkodzone zostały nawierzchnie betonowe na podbudowie z tłuczni, na asfaltowej warstwie pośredniej, względnie na warstwach stabilizowanych spoiwem hydraulicznym.

Jest zatem prawdopodobne, że oprócz naprężeń wywołanych wysoką temperaturą, na nawierzchnię betonową oddziałują także dodatkowe czynniki wynikające z zachodzących reakcji alkalicznych. W pojedynczych przypadkach stwierdzono wyraźny związek pomiędzy pojedynczymi spękaniami płyt i skutkami wywołanymi przez uszkodzenia. Pewną rolę odgrywają również niekorzystne osłabienia przekroju, powodowane naprawami w obrębie szczelin, wykonane z użyciem mieszanek mineralno-asfaltowych. Tego rodzaju naprawy nie są możliwe do uniknięcia, z uwagi na szybko postępujący rozwój uszkodzeń i konieczny w związku z tym duży nakład prac (fot. 5).



Fot. 5. Roboty naprawcze wskutek uszkodzeń spowodowanych wystąpieniem reakcji AKR; istnieje niebezpieczeństwo powstania uszkodzeń z powodu oddziaływania wysokiej temperatury [1]

Od 2014 r. na najbardziej uszkodzonych odcinkach, gdzie wykonane zostały prowizoryczne naprawy z użyciem mieszanek mineralno-asfaltowych, zapobiegawczo wprowadzono ograniczenia prędkości, dotyczące wszystkich pojazdów, do  $80 \text{ km/godz.}$ , obowiązujące przed krótkimi okre-



sami występowania wysokiej temperatury. Równocześnie zostały wzmocnione kontrole odcinków, prowadzone przez zmotoryzowane patrole drogowe, w celu wcześniejszego wykrycia niekorzystnych zjawisk i ewentualnego wprowadzenia dalszych niezbędnych środków zapobiegawczych. Podany sposób postępowania dotychczas sprawdził się, nie daje on jednak 100% pewności wyeliminowania szkód spowodowanych wysoką temperaturą.

## Podsumowanie

Administracja drogowa kraju związkowego Saksonia-Anhalt planowała pierwotnie rozpoczęcie pierwszych zabiegów utrzymaniowych na autostradach na swoim terenie dopiero po 2020 r., natomiast do tego czasu zamierzała prowadzić roboty zgodnie z ustalonym programem utrzymania nawierzchni. Podane uprzednio powody, tzn. wiele kilometrów uszkodzonych nawierzchni wskutek reakcji alkaliów z kwasem krzemowym, spowodowało zdecydowanie odmienną sytuację. Pojawiło się ponadto nowe niebezpieczeństwo, polegające na opóźnieniach w zakresie normalnego cyklu utrzymania nawierzchni na odcinkach, w obrębie których nie wystąpiły uszkodzenia wywołane reakcjami AKR. Sytuacja tego rodzaju może powodować kolejne problemy.

Należy podkreślić, że omawiane kwestie występowały nie tylko w przypadku nawierzchni betonowych, ale dotyczą również nawierzchni asfaltowych. Także przy tego rodzaju nawierzchniach nie zostaje osiągnięty zakładany okres przydatności eksploatacyjnej dla warstwy ścieralnej i bardzo często również dla warstwy wiążącej. Przyczyny tego stanu rzeczy są zbliżone do tych dla nawierzchni betonowych, tzn. dotyczą jakości użytych materiałów, a w części także wykonania nawierzchni. Istnieją również inne ważne czynniki, które mają wpływ na trwałość nawierzchni. Jednym z tych czynników, mających zasadniczy wpływ na obydwa rodzaje nawierzchni, jest stale wzrastające obciążenie ruchem,

w powiązaniu ze wzrastającym udziałem pojazdów ciężarowych, a także zwiększanie się nacisków na oś.

Realizacja nawierzchni betonowych, w przypadku materiałów spełniających wymagania z zachowaniem prawidłowego wykonania, umożliwiła uzyskanie trwałych nawierzchni, wymagających niewielkich nakładów na utrzymanie i co bardzo ważne – umożliwiła wykorzystanie dostępnych materiałów miejscowych. W kwestii odporności na oddziaływanie dynamiczne oraz na wpływy czynników klimatycznych, nawierzchnie betonowe charakteryzują się bardzo dobrymi właściwościami i to m.in. stanowi główne zalety.

W kolejnych latach będą kontynuowane rozpoczęte działania i poszukiwania prowadzące do rozwiązania problemów związanych z jakością materiałów, a także z wykonaniem robót nawierzchniowych, włącznie z systemem wypełniania szczelin. Konieczna będzie ściślejsza współpraca firm produkujących kruszywa, przemysłu materiałów budowlanych, a także administracji drogowych i placówek badawczych. Przypadki kwestionowania zalet nawierzchni betonowych nie przyczyniają się do rozwiązania omawianych dotychczas problemów związanych ze starszymi odcinkami, natomiast utrudniają znalezienie rozwiązań dotyczących unikania uszkodzeń.

Nawet jeśli te czynniki są brane pod uwagę przy uwzględnieniu podanych zamierzeń i uwarunkowań, administracja drogowa Saksonii-Anhalt zamierza pozostać przy nawierzchniach betonowych na swoim terenie.

Przedstawione doświadczenia i przykłady dotyczące utrzymania i budowy elementów nawierzchni dróg z zastosowaniem betonu cementowego powinny być pomocne polskiej administracji drogowej w kolejnych kilku i kilkunastu latach. Uczmy się na cudzych doświadczeniach, aby uchronić się przed przytaczanymi problemami w przyszłości na polskich odcinkach dróg o nawierzchniach betonowych.

## Bibliografia

- [1] Christoph Krelle, Dittmar Marquardt; Fahrbahndecken aus Beton aus Sicht des Auftraggebers; Strasse und Autobahn nr 3. 2016 r.

Zapraszamy do prenumerowania DROGOWNICTWA w 2018 roku

|  |   |                |
|--|---|----------------|
| <b>prenumerata roczna normalna 250 zł</b>  | } | (w tym 5% VAT) |
| <b>cena 1 egzemplarza 21 zł</b>            |   |                |
| <b>prenumerata roczna studencka 125 zł</b> | } | (w tym 5% VAT) |
| <b>cena 1 egzemplarza 10,50 zł</b>         |   |                |

Uprzejmie informujemy Szanownych Prenumeratorów, że egzemplarze „Drogownictwa” oraz faktury będą wysyłane po przesłaniu zamówienia na adres [prenumerata.drogownictwo@sitkrp.org.pl](mailto:prenumerata.drogownictwo@sitkrp.org.pl) oraz po wpłaceniu należnej kwoty na nasze konto:

**38 1160 2202 0000 0000 2741 3872**

**Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Zarząd Krajowy  
ul. Czackiego 3/5, 00-043 Warszawa**

Redakcja