

Właściwości nawierzchni betonowej autostrady A18 po 82 latach eksploatacji

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań trwałościowych oraz ocenę cech mechaniczno-fizycznych nawierzchni betonowej autostrady A18 wykonanej w 1938 roku. Po 82 latach eksploatacji w trudnych warunkach obciążenia ruchem nawierzchnia jest sukcesywnie poddawana recyklingowi poprzez przekruszenie istniejącego betonu i ponowne jego wykorzystanie w warstwach konstrukcji nawierzchni remontowanej autostrady. Przyjęty program badawczy obejmował głównie określenie rzeczywistej wytrzymałości betonu na ściskanie i rozciąganie przy rozłupywaniu, nasiąkliwości i odporności na działanie mrozu po 150 cyklach zamrażania i odmrażania. W artykule przedstawiono również ocenę petrograficzną kruszywa. Uzyskane wyniki badań betonu po ponad 80 latach eksploatacji nawierzchni autostrady A18 spełniają najwyższe wymagania stawiane obecnie nowym nawierzchniom drogowym. Wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie betonu określona na podstawie badań próbek z odwiertów przekracza 60 MPa i 5 MPa odpowiednio. Nasiąkliwość betonu z dolnej warstwy nawierzchni jest poniżej 4%, a jego mrozoodporność spełnia wymagania dla stopnia mrozoodporności F150.

Słowa kluczowe:

nawierzchnia betonowa, autostrada, recykling betonu, kruszywo z recyklingu betonu

Abstract

This paper presents the results of durability tests and an evaluation of the mechanical and physical properties of the concrete pavement of the A18 motorway made in 1938. After 82 years of operation in difficult traffic load conditions, the pavement has been successively recycled by crushing the existing concrete and reusing it in the pavement structure layers of the motorway undergoing rehabilitation. The research programme adopted mainly involved the determination of the actual compressive and splitting tensile strength of the concrete, the water absorption and frost resistance after 150 cycles of freezing and deicing. The paper also presents a petrographic evaluation of the aggregates. The concrete test results obtained after more than 80 years of operation of the A18 motorway meet the highest requirements currently set for new road surfaces. The compressive and tensile strengths of concrete determined from tests on specimens from boreholes exceed 60MPa and 5MPa respectively. The concrete's water absorption for the lower layer is below 4%, and its frost resistance meets the requirements for frost grade F150.

Keywords:

concrete pavement, highway, concrete recycling, concrete recycled aggregates

1. Wprowadzenie

Obecnie trwają prace budowlane przy przebudowie autostrady A18 na odcinku Olszyna – Gołnice o długości ponad 70 km, złośliwie nazywanej „najdłuższymi schodami Europy”. Stara droga krajowa nr 18 znajduje się w III korytarzu Transeuropejskiej Sieci Transportowej w ciągu drogi międzynarodowej E36 łączącej Ukrainę, Słowację oraz południową Polskę z Dreznem i Berlinem. Celem całej inwestycji jest dostosowanie w pełnym zakresie istniejącego układu komunikacyjnego do parametrów autostrady. Przebudowa jezdni południowej stanowi drugi etap budowy autostrady A18 – pierwszym była budowa jezdni północnej w latach 2004-2006. Całość podzielono na cztery odcinki realizacyjne. W zakres inwestycji wchodzi m.in. rozbiórka zdegradowanej nawierzchni betonowej (jezdni południowa), którą wybudowali Niemcy w latach 1935-1938. Stanowiła ona fragment autostrady

Reichsautobahn 9 (RAB 9) Berlin – Wrocław. Więcej szczegółów związanych z historią jednego z jej fragmentu oraz stanem technicznym i kosztami eksploatacji można znaleźć w publikacji [1].

Warto przypomnieć, że już na etapie przygotowania dokumentacji technicznej założono wykorzystanie (do warstwy podbudowy) materiału uzyskanego z rozbiórki istniejącej nawierzchni betonowej przy budowie nowej konstrukcji nawierzchni. Nie podano jednak żadnych parametrów odnośnie kondycji betonu z nawierzchni autostrady A18. Ponadto w związku z przyspieszeniem budowy nowych dróg i przebudową istniejących znikają bezpowrotnie nawierzchnie betonowe, które powstały w latach 30. XX wieku. Stąd pragnienie i ostatnia szansa na poznanie właściwości betonu z nawierzchni betonowej użytkowanej przez ponad 80 lat eksploatacji.

W pracy [2] przedstawiono już pierwsze wyniki badań nawierzchni autostrady A18. Szczególnie interesujące okazały się wyniki badań petrograficznych, które ujawniły m.in. dużą dowolność w wyborze materiałów składowych mieszanki betonowej. Mimo to właściwości mechaniczne betonu nawierzchniowego pozostały na wysokim poziomie przez cały okres eksploatacji. Szczegółową charakterystykę betonu i uzyskanego kruszywa z przekruszenia płyt nawierzchni autostrady A6 użytkowanej podobnie jak A18 przez kilka dziesięcioleci przedstawiono w artykule [3].

Według wytycznych wykorzystania materiałów pochodzących z recyklingu nawierzchni betonowych opracowanych w ramach [4] przed przystąpieniem do kruszenia betonu należy zidentyfikować jego parametry wytrzymałościowe, a także określić nasiąkliwość i gęstość. W świetle oceny parametrów mechanicznych nawierzchni istotnym czynnikiem jest określenie wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie próbek betonu pobranego z nawierzchni. Ocenę wytrzymałości należy wykonać w oparciu o normę PN-EN 13791:2008 [5] i PN-EN 13877-2:2007 [6]. W zależności od przeznaczenia kruszywa z recyklingu nawierzchni betonowej ustala się graniczne klasy wytrzymałości na ściskanie i wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu (tabela nr 1).

Analiza wymagań ujętych w tabeli 1 pozwala stwierdzić, że przy wykonywaniu warstw podbudowy zasadniczej beton przeznaczony do kruszenia powinien charakteryzować się lepszymi parametrami wytrzymałościowymi niż przy wykonywaniu podłoża ulepszanego i podbudowy pomocniczej. W warstwach podbudowy pomocniczej i podłoża ulepszanego zaleca się stosowanie kruszywa pozyskanego z betonu, którego graniczną klasą wytrzymałości na ściskanie jest CC20, przy jednoczesnej wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu SC1,7. Natomiast w warstwach podbudowy zasadniczej graniczną klasą wytrzymałości na ściskanie jest CC30, przy jednoczesnej wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu SC2,0.

Tabela 1. Wymagania wobec betonu przeznaczonego do kruszenia na warstwy niezwiązane i związane cementem

Badana cecha	Wymagania wg [4]	
	Podłoże ulepszone i podbudowa pomocnicza	Podbudowa zasadnicza
Wytrzymałość na ściskanie	CC20	CC30
Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu	SC1,7	SC2,0



Fot. 1. Widok odwiertów pobranych z nawierzchni

2. Materiały i metodyka badań

2.1. Zastosowane materiały

Z istniejącej jezdni południowej nawierzchni betonowej autostrady A18 pobrano dwadzieścia jeden odwiertów o nominalnej średnicy 100 mm. Przykład pobranych próbek przedstawiono na fotografii nr 1. W laboratorium próbki pomierzono i opisano, a następnie przygotowano do wykonywania dalszych badań.

Przeprowadzone oględziny odwiertów rdzeniowych wykazały, że nawierzchnię betonową wykonano jako dwuwarstwową metodą „mokre na mokre” o średniej grubości ok. 22,3 cm. Górną warstwę nawierzchni o grubości ponad 7 cm (od 7,4 do 8,6 cm) stanowił beton, który zawierał grube kruszywo bazaltowe. Dolna warstwa wykonana była również z betonu na kruszywie bazaltowym i jej grubość wynosiła od 13,7 cm do 15,4 cm (średnio 14,6 cm). Zauważono różnice makroskopowe w wyglądzie warstwy górnej nawierzchni w poszczególnych rdzeniach. Płyty betonowe nawierzchni były wykonane bezpośrednio na zagęszczonym podłożu gruntowym bez warstwy podbudowy. W podłożu gruntowym występowały piaski średnie i grube.

W badanym betonie wykorzystano piaski i żwiry, które stanowią zasadniczą część kruszywa (ok. 60-65% objętości kruszywa) oraz grys bazaltowy (ok. 35-40% objętości kruszywa). Szczegółową ocenę petrograficzną kruszywa przedstawiono w pracy [2].

2.2. Metody badań

W ramach oceny właściwości betonu z nawierzchni autostrady A18 wykonano badania odpowiednio przygotowanych próbek z wykonanych odwiertów według następującego programu badawczego obejmującego swym zakresem:

- oznaczenie wytrzymałości betonu na ściskanie wg normy PN-EN 12390-3 [6]
- oznaczenie wytrzymałości betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu wg normy PN-EN 12390-6 [7]

- oznaczenie gęstości betonu wg normy PN-EN 12390-7 [8]
- oznaczenie nasiąkliwości wagowej betonu wg normy PN-B-06250:1988 [10].

Dodatkowo dla betonu z nawierzchni zaplanowano określenie jego odporności na działanie mrozu (F150) wg procedury opisanej w [10]. Cecha ta nie jest aktualnie objęta w wymaganiach wobec betonu przeznaczonego do kruszenia według [4].

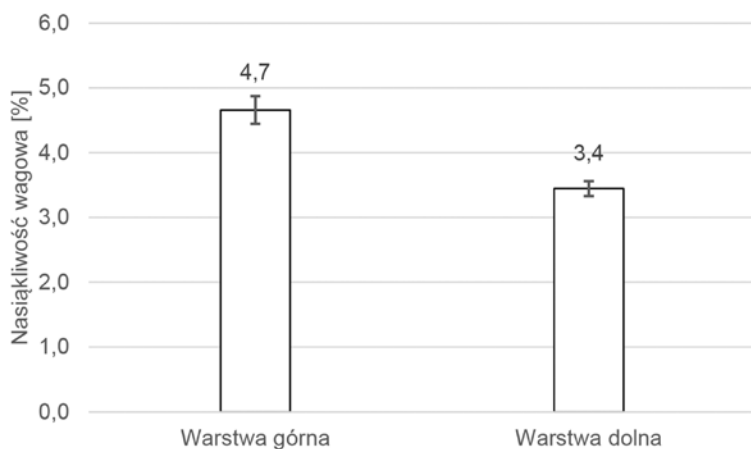
3. Wyniki badań i ich analiza

3.1. Wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie

Przed przystąpieniem do badań wytrzymałościowych betonu określono jego gęstość. Gęstość próbek betonu z górnej warstwy nawierzchni wynosi 2550 kg/m³, a betonu z dolnej warstwy 2490 kg/m³. Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie wykonano na sześciu próbkach, po trzy dla górnej i dolnej warstwy nawierzchni. Z warstwy górnej przygotowano walce o średnicy 10 cm wysokości 7 cm, a dla warstwy dolnej były to walce o średnicy 10 cm i wysokości 10 cm. Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu

Rys. 1. Wyniki badań wytrzymałości badanego betonu na ściskanie i rozciąganie z zaznaczonym odchyleniem standardowym





Rys. 2. Wyniki badań nasiąkliwości wagowej badanego betonu z zaznaczonym odchyleniem standardowym

określono na takiej samej liczbie próbek i ich wymiarów jak dla próby ściskania. Wyniki przeprowadzonych badań zilustrowano na rysunku nr 1.

Średnie wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie betonu z górnej warstwy nawierzchni, określone na próbkach o wymiarach podanych wyżej wynoszą odpowiednio 62,7 MPa i 5,6 MPa. Natomiast średnie wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie betonu z dolnej warstwy były równe odpowiednio 79,5 MPa i 7,2 MPa. Wytrzymałość na ściskanie betonu z warstwy górnej jest wyraźnie niższa (o 26,5%) od wytrzymałości betonu z warstwy dolnej, a w przypadku wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu o 28,5%. Porównując obliczone wartości wskaźników zmienności można stwierdzić, że próbki betonu z górnej warstwy nawierzchni wykorzystane w badaniu wytrzymałości na ściskanie były niejednorodne (współczynnik zmienności wynosił 17,2%). Tym samym stanowi to potwierdzenie wcześniej zauważonych różnic makroskopowych.

Na podstawie uzyskanych wyników badań dokonano oceny wytrzymałości charakterystycznej betonu w konstrukcji zgodnie z wymaganiami punktu 7.3.3 normy PN-EN 13791:2008 [5]. Beton z górnej warstwy analizowanej nawierzchni autostrady A18 na podstawie wytrzymałości charakterystycznej (55,5 MPa) przyporządkowano do klasy CC55, a z dolnej (72,5 MPa) do klasy CC70. Klasę wytrzymałości na rozciąganie betonu, zarówno z górnej, jak i dolnej warstwy, wg [6] określono na SC6,0. W świetle wytycznych [4] należy stwierdzić, że beton pochodzący z recyklingu nawierzchni autostrady A18 spełnia w zakresie wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie przy rozłupywaniu wymagania dla betonu przeznaczonego do kruszenia na warstwy niezwiązane podbudowy pomocniczej i podłoża ulepszanego, a także warstwy podbudowy zasadniczej.

Zbliżone wyniki badań wytrzymałości na ściskanie uzyskali autorzy pracy [2], którzy badali próbki betonu pobranego z innej lokalizacji nawierzchni autostrady A18. Natomiast w porównaniu do przedsta-

wionych w [3] wyników badań betonu z nawierzchni autostrady A6 (oddanej do eksploatacji w podobnym okresie) badany beton z górnej warstwy charakteryzuje się wytrzymałością na ściskanie na zbliżonym poziomie (65,8 MPa). Z kolei średnia wytrzymałość na ściskanie w przypadku betonu z dolnej warstwy nawierzchni A18 jest wyższa o 21,3 MPa.

3.2. Nasiąkliwość betonu

Badanie nasiąkliwości betonów wykonano zgodnie z normą PN-B-06250:1988 [10]. Przygotowano po pięć próbek z każdej warstwy. Średnie z wyników przedstawiono na rysunku nr 2.

Uzyskane wartości nasiąkliwości betonu w przypadku górnej warstwy nawierzchni wahają się w przedziale od 4,3 do 5,2% (średnio 4,7%). Natomiast nasiąkliwość betonu z dolnej warstwy nawierzchni jest znacznie mniejsza i wynosi średnio 3,4%. Porównując uzyskane wyniki nasiąkliwości z danymi przedstawionymi w [2, 3] można stwierdzić, że tylko nasiąkliwość betonu z górnej warstwy jest znacznie wyższa.

3.3. Odporność na działanie mrozu

Badania mrozoodporności próbek z odwiertów wykonano metodą zwykłą. Wg normy [10] beton mrozoodporny charakteryzuje się ubytkiem masy nie większym niż 5% oraz spadkiem wytrzymałości na ściskanie nie większym niż 20% i brakiem spękań. Wyniki badań trwałości betonu, obejmujące ich odporność po nasyceniu wodą na cykliczne zamrażanie i rozmrażanie w zakresie stopnia F150, przedstawiono w tabeli nr 2.

W przypadku próbek betonu pochodzącego z górnej warstwy nawierzchni autostrady A18 badanie mrozoodporności przerwano wcześniej (po 100 cyklach) ze względu na zaobserwowane liczne spękania i uszkodzenia (fotografia nr 2).

Wykonane badania wykazały, że po 100 cyklach zamrażania i rozmrażania nastąpił przyrost masy próbek i wynosił średnio 3,1%. Natomiast średnie zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie wynosiło 64,2%. Brak odporności próbek betonu z górnej warstwy nawierzchni jest dla autorów dużym zaskoczeniem. Z analizy wyników badań ujętych w pracy [3] wynika, że beton z górnej jak i dolnej warstwy nawierzchni autostrady A6 wykonywanej w podobnym okresie charakteryzuje się bardzo dobrą odpornością na działanie mrozu. W związku z negatywnym wynikiem oceny mrozoodporności betonu z górnej warstwy nawierzchni autostrady A18 zdecydowano o wycięciu dodatkowych próbek i powtórnym wykonaniu badań mrozoodporności. Z kolei próbki z dolnej warstwy nawierzchni po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania wykazały średni przyrost masy o 0,1% i średnie zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie o 5,9%. Tym samym można uznać, że beton z dolnej warstwy na-

Tabela 2. Wyniki badań odporności betonu na zamrażanie i rozmrażanie dla stopnia mrozoodporności F150

Kryteria oceny mrozoodporności	Warstwa	
	Górna	Dolna
Średni spadek wytrzymałości próbek, %	64,2	5,9
Średni spadek masy próbek poddanych cyklicznemu zamrażaniu i rozmrażaniu, %	-3,1	-0,1
Wygląd próbek – obecność pęknięć	pęknięcia i uszkodzenia	brak



Fot. 2. Widok próbki betonu z górnej warstwy nawierzchni autostrady po 100 cyklach zamrażania i rozmrażania

wierzchni jest odporny na działanie mrozu i spełnia wymagania dla stopnia mrozoodporności F150.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania i analizy potwierdziły, że badany beton z nawierzchni autostrady A18 spełnia wymagania w zakresie parametrów wytrzymałości (wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie przy rozłupywaniu) i można go wykorzystać do kruszenia. Uzyskane kruszywo może być stosowane w mieszankach niezwiązanych i związanych cementem do podbudowy pomocniczej i zasadniczej oraz podłoża ulepszanego przy budowie zarówno nowych nawierzchni, jak i remontowanych. Beton z analizowanej nawierzchni przyporządkowano w zakresie wytrzymałości na ściskanie do klasy co najmniej CC55, a w zakresie wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu do klasy SC6,0.

Wytrzymałość na ściskanie betonu z nawierzchni autostrady A18 przekracza 60 MPa, a zatem prawie dwukrotnie więcej niż wymagana obecnie klasa wytrzymałości betonu przeznaczanego do nawierzchni betonowej. Pod względem odporności na działanie wody uzyskano zróżnicowane wyniki. Beton z górnej warstwy nawierzchni autostrady okazał się nieodporny na działanie mrozu. Zagadnienie to wymaga jednak dalszych prac badawczych, ze szczególnym uwzględnieniem charakterystyki struktury porów powietrznych. Natomiast beton z dolnej warstwy nawierzchni charakteryzuje się wysoką odpornością na cykliczne zamrażanie i rozmrażanie.

To kolejny dowód, że prawidłowo wykonana nawierzchnia betonowa może być eksploatowana nawet przez ponad pół wieku. Z jednej strony wykorzystanie betonu pochodzącego z nawierzchni o takich parametrach, jak przedstawiono w niniejszej pracy (lub zbliżonych), w warstwach konstrukcji nawierzchni nowych i remontowanych według autorów zapewni ich długotrwałą bezawaryjną pracę. A z drugiej strony możliwość powtórnego wyko-

rzystania kruszywa z recyklingu korzystnie wpłynie na środowisko, m.in. z uwagi na mniejszą eksploatację naturalnych zasobów kruszyw i znaczną redukcję emisji CO₂.

dr hab. inż. Jacek Korentz, prof. UZ
Uniwersytet Zielonogórski w Zielonej Górze
dr inż. Robert Jurczak
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny
w Szczecinie
mgr inż. Filip Szmatała
Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad,
Oddział w Szczecinie
dr inż. Tomasz Rudnicki
Wojskowa Akademia Techniczna w Warszawie

Literatura

1. Polecki A.: Autostrada A-18 (dawniej A-12) – historia i teraźniejszość. *Budownictwo, Technologie, Architektura* nr 4(82), 2018. s. 42- 47.
2. Pawlik T., Polecki A.: Utrzymanie nawierzchni wykonanych z betonu cementowego. *Kondycja betonu po 83 latach eksploatacji – droga krajowa nr 18. Drogownictwo* nr 10, 2020. s. 267-276.
3. Rudnicki T., Jurczak R.: Recycling of a Concrete Pavement after over 80 Years in Service. *Materials* 2020, 13, 2262. <https://doi.org/10.3390/ma13102262>
4. Załącznik nr 9.6. Wytyczne wykorzystania materiałów pochodzących z recyklingu nawierzchni betonowych. *Projekt RID-I-06 Wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu*, 2018
5. PN-EN 13791:2008 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych
6. PN-EN 13877-2:2013-08 Nawierzchnie betonowe – Część 2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych
7. PN-EN 12390-3:2019-03 Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań
8. PN-EN 12390-6:2011 Badania betonu – Część 6: Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek do badań
9. PN-EN 12390-7:2019-08 Badania betonu – Część 7: Gęstość betonu
10. PN-B-06250:1988 Beton zwykły