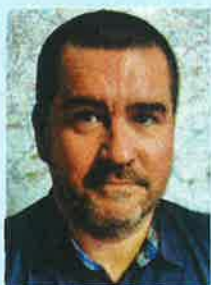


# Utrzymanie nawierzchni wykonanych z betonu cementowego. Kondycja betonu po 83 latach eksploatacji – droga krajowa nr 18



TOMASZ PAWLIK

Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad  
tpawlik@gddkia.gov.pl



ARKADIUSZ POLECKI

Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad  
apolecki@gddkia.gov.pl

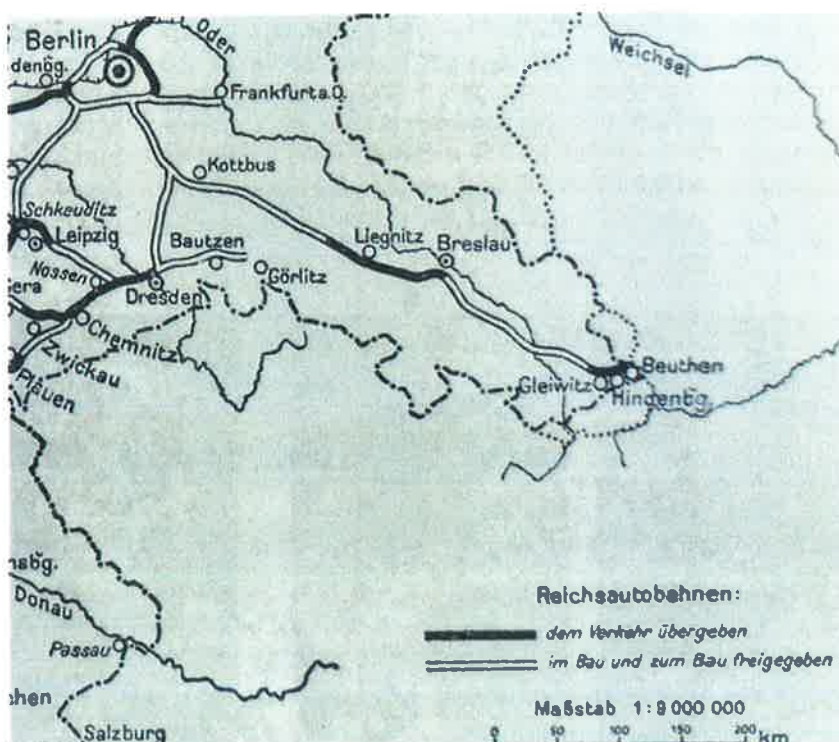
„Nigdy konstrukcja betonowa nie jest lepsza, niż zastosowany do niej beton” [1]. Jest to stwierdzenie, którego potwierdzenia, oprócz betonowych konstrukcji mostowych, można szukać na starych betonowych nawierzchniach drogowych. Przykładem tego typu nawierzchni jest droga krajowa nr 18. Łączy ona przejście graniczne w Olszynie

z najkrótszą autostradą w Polsce, A18 (węzeł Gołnice) [4]. Jej długość to 70,878 km, przechodzi przez województwo lubuskie i dolnośląskie. W większości swojej długości pozostaje w administracji GDDKiA Oddziału w Zielonej Górze. Droga krajowa nr 18 zaliczana jest do głównych dróg w Polsce o znaczeniu przemysłowym i turystycznym. W latach 1936–1945 był to fragment autostrady Reichsautobahn 9 (RAB 9), która łączyła Berlin z Wrocławiem. Po roku 1945, wchodziła w skład drogi krajowej nr 12, łączącej przejście graniczne w Olszynie (granica z NRD) z autostradą A-4 (Krzywa). Od początku XXI wieku, droga nosi numer 18. Jest ona zlokalizowana w III drogowym, transeuropejskim korytarzu transportowym (E36/40) na terytorium Polski. Korytarz ten łączy Ukrainę, Słowację i południową Polskę z Drezniem i Berlinem.

## Historia budowy i eksploatacji drogi krajowej nr 18

Niemcy jako pierwsze państwo na świecie, opracowały program budowy sieci autostrad o łącznej długości 14.000 km [5]. W ramach tego programu budowy autostrad, w latach 1937–1939, zostały otwarte odcinki RAB 9, które przeważnie miały tylko jedną jezdnię. Lokalnie wykonane zostały odcinki dwujezdniowe, między innymi Cottbus – Olszyna oraz Lipiany – Krzywa.

Autostrada RAB 9 łączyła Berlin z Wrocławiem, Opolem oraz dalej z okręgiem górnośląskim (wówczas w granicach



Rys. 1. Przebieg RAB 9 w latach 1935–1945 [6]



Rys. 2. Grafika – Autostrada RAB 9 w latach budowy [2]

III Rzeszy). Przebieg RAB 9 przedstawiono na rysunku nr 1. Miała ona znaczenie strategiczne. Oprócz klasycznego drogowego ruchu cywilnego, autostrada była wykorzystywana do celów wojskowych: przejazdu kolumn wojskowych, transporty zaopatrzenia dla wojsk na froncie, itp. [2]. Sposób budowy RAB 9 przedstawiono na rysunku nr 2.

### Pierwotna konstrukcja nawierzchni

Nawierzchnia została wykonana w technologii betonu cementowego. Na podłożu rodzimym zbudowanym z piasków średnich i grubych z nielicznymi przewarstwieniami glin piaszczystych, została wbudowana pospółka (do ok. 0,6 m). Na podbudowie z zagęszczonej pospółki, ułożono beton nawierzchniowy przeważnie w dwóch warstwach, o grubości od ok. 23 cm do ok. 29 cm, bez dybli i bez kotew. Na głębokości od 4,5 cm do 7,9 cm od niwelety nawierzchni,

podczas wykonywania została ułożona siatka stalowa o wymiarach oczek ok.  $8 \times 8$  cm lub  $10 \times 10$  cm.

Szczeliny poprzeczne wykonano co ok. 5,0 m a szczelinę podłużną mniej więcej w środku szerokości jezdni. Podobna konstrukcja obejmowała odcinki jednojezdniowe, jak i dwujezdniowe [2]. Konstrukcję starej nawierzchni, w tym ułożenie siatki stalowej oraz rodzaj podłoża, zamieszczono na fotografiach 1–4.

W listopadzie 2004 roku rozpoczęty został pierwszy etap dostosowywania drogi krajowej nr 18 do parametrów przyszej autostrady A18. Do istniejącej drogi dobudowana została równoległa, jezdnia północna (lewa), którą oddano do użytku w roku 2006.

Pod koniec roku 2019 rozpoczęto prace na jezdni południowej – prawej, które polegają na wyburzeniu starej konstrukcji i ułożeniu nowych warstw nawierzchni. Roboty budowlane prowadzone są na odcinku od Olszyny do łłowej.



←  
Fot. 1 i 2.  
Konstrukcja starej  
nawierzchni wraz  
z siatką stalową [7]

↓ Fot. 3 i 4.  
Konstrukcja  
starej nawierzchni  
betonowej [2]



## Badania betonu cementowego ze starej nawierzchni

W związku z dostosowywaniem drogi krajowej nr 18 do parametrów przyszłej autostrady A-18, prowadzone są prace, które polegają między innymi na wyburzeniu i usunięciu starych płyt nawierzchni betonowej. Podobnie jak na drogach o tej samej genezie – np. drodze krajowej nr 22 „Berlinka” [6], powstała ostatnia szansa na sprawdzenie właściwości betonu nawierzchniowego po kilkudziesięcioletniej eksploatacji.

W celu przeprowadzenia badań nawierzchni, zostały pobrane próbki betonu cementowego o średnicy  $f$  100 mm i wysokości równej pełnej grubości warstwy jezdni w poszczególnych lokalizacjach. Próbki walcowe zostały pobrane na jezdni prawej, południowej za pomocą wiertnicy mechanicznej *Strassen Test Baustoff-Prufsysteme* 15,7 kW, typ 290, umieszczonej na przyczepie jednoosiowej. Łącznie pobrano 21 próbek. Próbki zostały oznakowane i przewiezione do laboratorium. Przykłady pobranych próbek przedstawia fotografia nr 5. W laboratorium próbki zostały pomierzone, opisane i przygotowane do wykonywania dalszych badań. Lokalizacje miejsc pobrania próbek zostały przedstawione w tabeli nr 1.

Tabela 1. Lokalizacja punktów pobrania próbek walcowych na drodze krajowej nr 18 jezdni prawa [7]

Lp.	Km / lokalizacja	Numer próbki
1	35+408 / pas wewn.	42/20
2	35+425 / pas zewn.	43/20
3	35+490 / pas wewn.	44/20
4	35+520 / pas zewn.	45/20
5	35+555 / pas wewn.	46/20
6	35+850 / pas zewn.	47/20
7	35+865 / pas wewn.	48/20
8	35+880 / pas zewn.	49/20
9	35+890 / pas wewn.	50/20
10	38+390 / pas wewn.	1118/20
11	38+355 / pas zewn.	1119/20
12	38+320 / pas wewn.	1120/19
13	38+280 / pas wewn.	1121/19
14	38+300 / pas zewn.	1122/19
15	38+360 / pas zewn.	1123/19
16	38+240 / pas wewn.	1124/19
17	38+200 / pas zewn.	1125/19
18	38+150 / pas wewn.	1126/19
19	38+100 / pas zewn.	1127/19
20	38+080 / pas wewn.	1128/19
21	38+030 / pas zewn.	1129/19

W celu uzyskania obrazu kondycji betonu nawierzchniowego pobranego z drogi krajowej nr 18, zaprojektowano program badań, który obejmował: badania nasiąkliwości według normy PN-88/B-06250, badania wytrzymałości na

ściskanie według normy PN-EN 12390-3, badania wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu według normy PN-EN 12390-6. Dodatkowo zaplanowano wykonanie szlifów mikroskopowych oraz przeprowadzenie makroskopowych badań petrograficznych.



Fot. 5. Przykłady pobranych walcowych próbek nawierzchni droga krajowa nr 18 [7]

Do badań nasiąkliwości według normy PN-88/B-06250, zostało wytypowanych 15 próbek. Uzyskane wyniki badań przedstawia tabela nr 2. Uzyskano średnio nasiąkliwość na poziomie 3,28 %.

Tabela 2. Wyniki badań nasiąkliwości próbek z drogi krajowej nr 18 wg normy PN-88/B-06250 [7]

Lp.	Numer próbki	Nasiąkliwość
1	1118/19	3,57 %
2	1119/19	2,87 %
3	1120/19	3,45 %
4	1124/19	2,97 %
5	1125/19	3,67 %
6	1126/19	2,78 %
7	1127/19	3,57 %
8	1128/19	3,05 %
9	1129/19	3,51 %
10	42/20	3,38 %
11	43/20	3,42 %
12	44/20	3,06 %
13	45/20	3,10 %
14	49/20	3,32 %
15	50/20	3,54 %
Średnia nasiąkliwość:		3,28 %

Do badań wytrzymałości na ściskanie według normy PN-EN 12390-3, zostało wytypowanych 6 próbek, które podzielono na dwie grupy. Jedna grupa obejmowała próbki walcowe o wymiarach 10 × 10 cm z dolnych warstw nawierzchni, druga grupa objęła próbki walcowe o wymiarach 10 × 10 cm, uzyskane z górnej warstwy nawierzchni. Łącznie przebadano 12 próbek. Uzyskane wyniki badań przedstawia tabela nr 3. Uzyskano średnią wytrzymałość na ściskanie dla warstwy dolnej: 71,49 MPa, dla warstwy górnej: 59,22 MPa, średnia wytrzymałość na ściskanie ze wszystkich próbek: 65,36 MPa.

Tabela 3. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie próbek walcowych 10 × 10 pobranych na drodze krajowej nr 18 wg normy PN-EN 12390-3 [7]

Lp.	Numer próbki	Rodzaj warstwy	Siła niszcząca [kN]	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
1	46/20	DOLNA	595,20	75,78
2	47/20		598,30	76,17
3	48/20		659,90	84,02
4	1121/19		549,60	69,98
5	1122/19		511,50	65,13
6	1123/19		454,60	57,88
Średnia:			<b>561,52</b>	<b>71,49</b>
7	46/20	GÓRNA	554,70	70,63
8	47/20		514,60	65,51
9	48/20		445,80	56,76
10	1121/19		392,10	49,93
11	1122/19		426,90	54,35
12	1123/19		456,80	58,16
Średnia:			<b>465,15</b>	<b>59,22</b>
Średnia ze wszystkich:			<b>513,34</b>	<b>65,36</b>

Do badań wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu według normy PN-EN 12390-6, zostało wytypowanych 15 próbek. Uzyskane wyniki badań przedstawiono w tabeli 4. Uzyskano średnią wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu: 4,82 MPa.

Tabela 4. Wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu według normy PN-EN 12390-6, próbek z drogi krajowej nr 18 [7]

Lp.	Numer próbki	Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu [MPa]
1	1118/19	4,3
2	1119/19	5,4
3	1120/19	4,2
4	1124/19	4,8
5	1125/19	4,0
6	1126/19	5,3
7	1127/19	4,8
8	1128/19	6,3
9	1129/19	4,3
10	42/20	5,4
11	43/20	5,1
12	44/20	4,9
13	45/20	4,8
14	49/20	4,7
15	50/20	4,4
Średnia:		<b>4,85</b>

## Badania petrograficzne nawierzchni betonowej

Do badań petrograficznych wyznaczono cztery próbki rdzeniowe, po wykonaniu badań wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu. Były to próbki o numerach: 1118/19, 1124/19, 42/20, 49/20 (fot. 6). Podstawą wyboru były istotne różnice makroskopowe w wyglądzie poszczególnych rdzeni, a w szczególności barwa zaczynu, rozkład ziaren kruszywa oraz porowatość.



Fot. 6. Próbki wytypowane do badań petrograficznych, kolejno od lewej: 1118/19, 1124/19, 42/20, 49/20 [7]

Badania petrograficzne wykonano w świetle przechodzącym przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego NIKON Eclipse LV100POL na próbkach w postaci cienkich szlifów o grubości 25–30 μm. Zastosowana technika umożliwiła na podstawie cech optycznych określenie zarówno rodzaju kruszyw, jak i różnic w stwardniałym zaczynie cementowym. Ponadto możliwe było przeanalizowanie niektórych cech strukturalnych betonu takich jak obecność i charakter porów i pustek czy też rozmieszczenie ziaren kruszywa. Przy wstępnej ocenie petrograficznej zastosowano także cyfrowy mikroskop Keyence VHX-6000, który umożliwił analizę betonu na powierzchni przelamu.

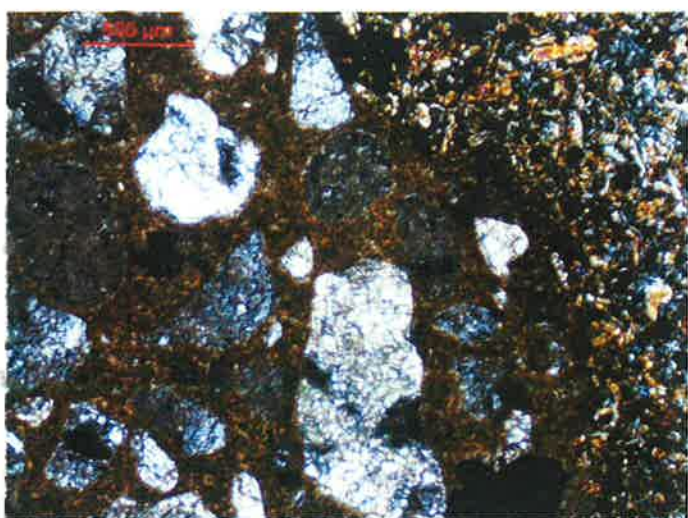
## Wyniki badań petrograficznych

Pod względem zastosowanych kruszyw badane próbki nie wykazują znaczących różnic. W betonie wykorzystano zarówno żwiry i piaski, stanowiące zasadniczą część kruszywa (ok. 65% objętości kruszywa), oraz grys bazaltowy (ok. 35% objętości kruszywa). Nie stwierdzono zanieczyszczeń w postaci fragmentów drewna, szkła czy ceramiki (fot. 7–14). Piasek cechuje się dużą jednorodnością i monotonnością składu. Jest to piasek kwarcowy. Obok dominujących monokrystalicznych ziaren kwarcowych (80–87% objętości frakcji piaskowej) występują także ziarna polikrystaliczne, odpowiadające kwarcytom, piaskowcom kwarcytowym i skałom krzemionkowym – radiolarytom i litytom (10–15% objętości frakcji piaskowej). Nie stwierdzono obecności krzemienia. Rzadko pojawiają się ziarna skaleniowe (3–5% objętości frakcji piaskowej), a zupełnie sporadycznie skaleniowo-lyszczykowe i kwarcowo-skaleniowo-lyszczykowe (odpowiadające prawdopodobnie skałom granitoidowym lub

gnejsowym). Nieznacznie większy udział ziaren innych niż kwarcowe, kwarcytowe i ze skał krzemionkowych obserwuje się w dolnej warstwie betonu (beton jasnoszary i ciemnoszary – próbki 1118/19 i 1124/19).

Pewne zróżnicowanie widoczne jest także w morfologii ziaren. We wszystkich próbkach mamy do czynienia z piaskiem, w którym dominują ziarna obtoczone i półobtoczone, o kształcie owalnym, rzadziej kulistym (75–95% objętości frakcji piaskowej).

Mniejszość stanowią ziarna o kształcie nieregularnym, niższym stopniu obtoczenia, półostrokrawędziste i ostrokrawędziste (być może częściowo powstałe wskutek naturalnego przekruszenia). Występują w zmiennych proporcjach w zależności od próbki i warstwy betonu (od 5–25% objętości frakcji piaskowej). Wydaje się, że bardziej wzbogacony w tego typu ziarna piaskowe jest beton z warstwy dolnej



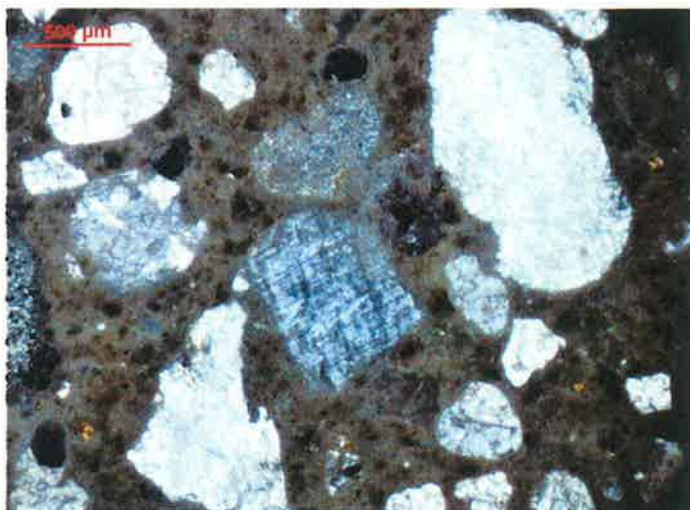
Fot. 7. Próbką 1118/19 – górna warstwa betonu; widoczne ziarna piasku i bazaltu (po prawej); obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]



Fot. 8. Próbką 1118/19 – dolna warstwa betonu; widoczne ziarna piasku, żwiru i bazaltu (lewy dolny róg); obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]



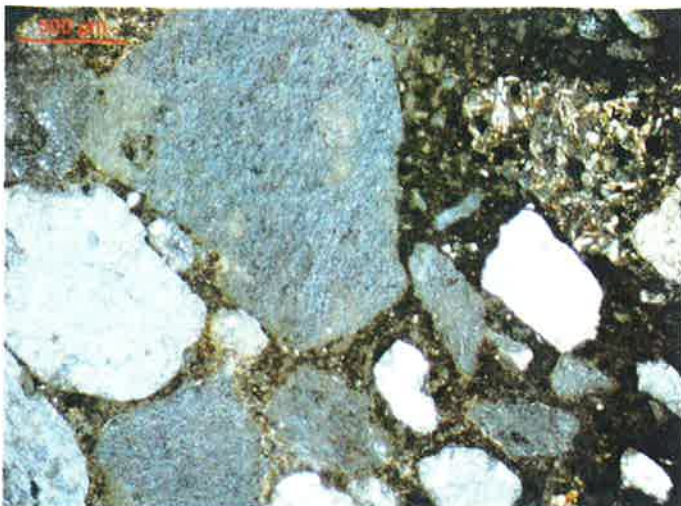
Fot. 9. Próbką 1124/19 – górna warstwa betonu; widoczne ziarna piasku i żwiru; obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]



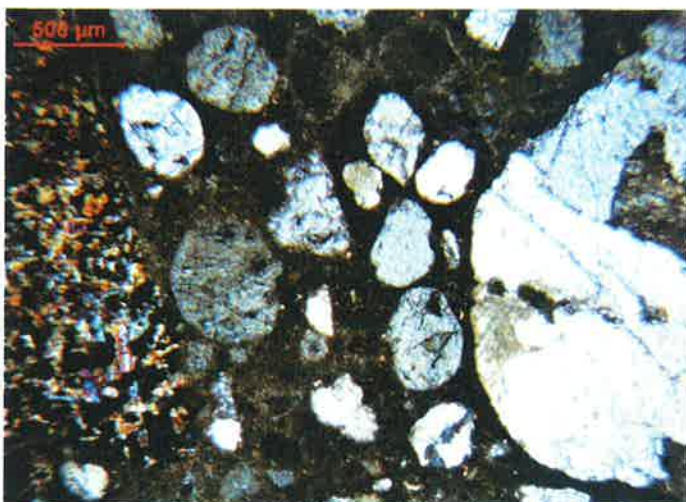
Fot. 10. Próbką 1124/19 – dolna warstwa betonu; widoczne ziarna piasku; obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]



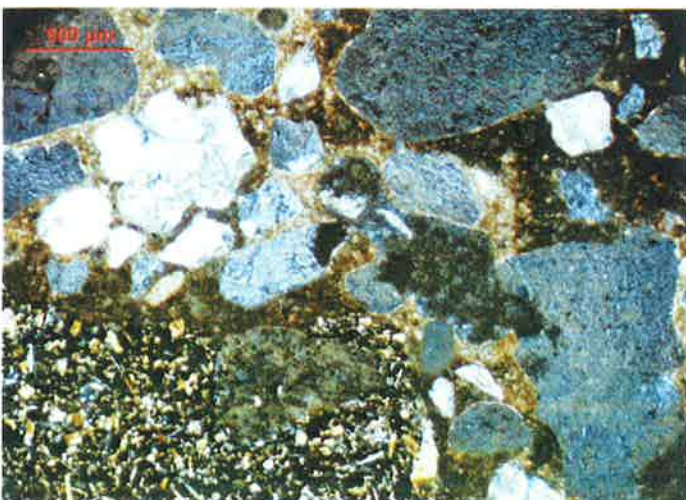
Fot. 11. Próbką 42/20 – górna warstwa betonu; widoczne ziarna piasku i żwiru; obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]



Fot. 12. Próbką 42/20 – dolna warstwa betonu; widoczne ziarna piasku i bazaltu (prawy górny róg); obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]



Fot. 13. Próbką 49/20 – górna warstwa betonu; ziarna piasku (w centrum) pomiędzy ziarnem żwiru (po prawej) i bazaltu (po lewej); obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]

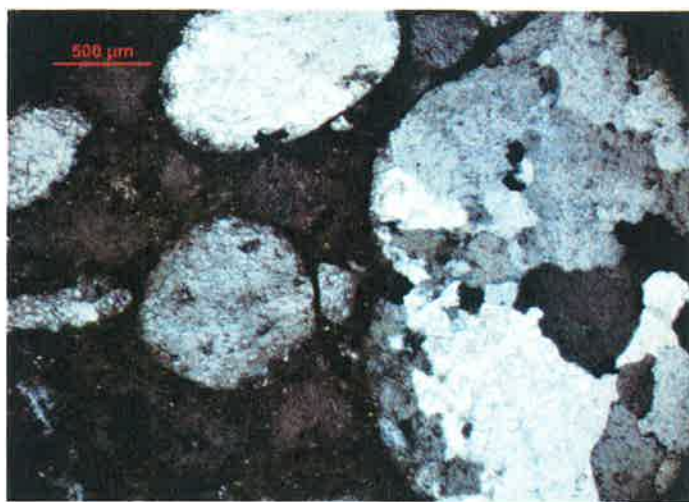


Fot. 14. Próbką 49/20 – dolna warstwa betonu; ziarna piasku i bazaltu (lewa strona, dół); obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]

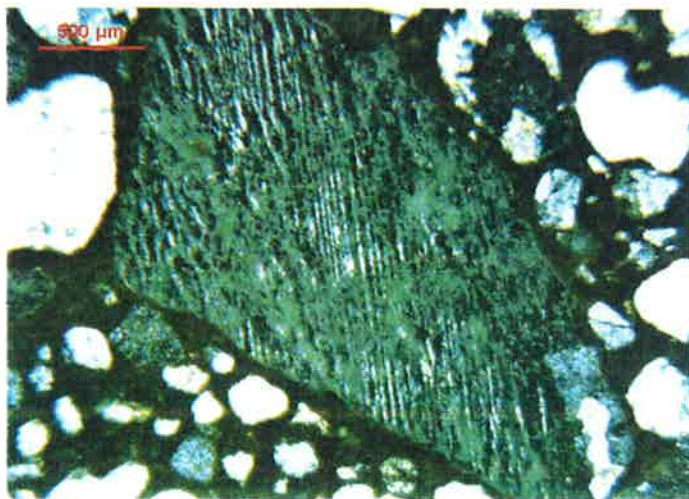
(jasnoszary i ciemnoszary – próbki 1118/19 i 1124/19), choć obserwuje się także nagromadzenie takich ziaren w niektórych partiach górnej warstwy betonu (brązowoszary; próbka 42/20). Różnice w udziale ziaren o zmiennym stopniu obtoczenia mogą pośrednio wskazywać na zastosowanie piasków z więcej niż jednego źródła.

Żwir, podobnie jak piasek, charakteryzuje się dużą homogenicznością składu. Dominują ziarna kwarcowe i kwarcytowe (87–95% objętości frakcji żwirowej) (fot. 15). Spotyka się nielicznie ziarna skaleniowe (fot. 16) i granitoidowe oraz krzemionkowe (lidy, radiolaryt, krzemień). Dominują ziarna obtoczone i półobtoczone, owalne. Udział ziaren półostrokrawędzistych jest dość stały w badanych próbkach, stanowiąc 10–15% objętości frakcji żwirowej. Jednorodność składu i pokroju ziaren nie pozwala na wyciągnięcie wniosków co do ilości źródeł, z których ten materiał pochodzi.

Bazalty (w ujęciu technologicznym i złożowym) reprezentowane są przez bazalt nefelinowy lub bazanit (fotografie nr.



Fot. 15. Próbką 42/20 – górna warstwa betonu; kwarcowe ziarno żwiru (po prawej); obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]



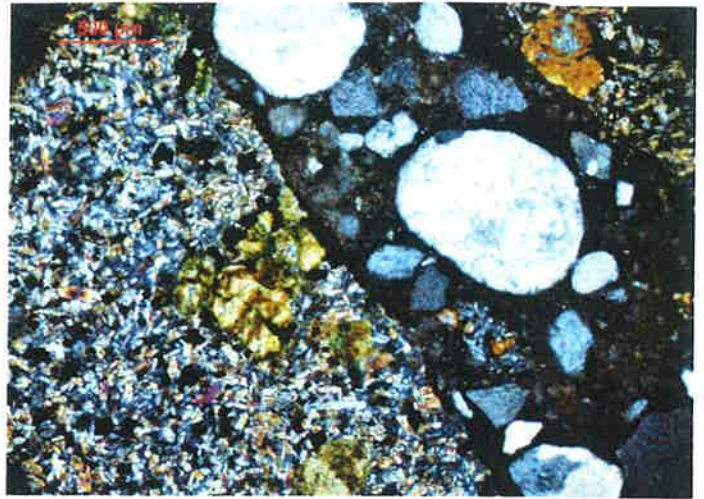
Fot. 16. Próbką 1124/19 – górna warstwa betonu; w centrum skaleniowe ziarno żwiru; obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]

17, 18, 19). Dodatkowo w dolnej warstwie betonu w próbce 49/20 stwierdzono obecność pojedynczego ziarna trachyandezytu lub trachybazaltu (melafiru), będącego prawdopodobnie przypadkowym zanieczyszczeniem. Pod względem struktury bazalty są dość zróżnicowane, często również w obrębie jednego preparatu. Przeważają ziarna o strukturze porfirowej z drobnokrystalicznym lub afanitowym tłem skalnym. Dominującymi składnikami tła skalnego są (w zmiennych proporcjach) pirokseny, plagioklasy wapniowe, nefelin oraz minerały nieprzezroczyste (tlenki żelaza i tytanu). W zmiennych, ale niewielkich ilościach stwierdzono także obecność szkliska. Jako fenokryształy (większe kryształy tkwiące w cieście skalnym) dominują oliwiny oraz – w mniejszym stopniu – pirokseny. Oliwiny w różnym stopniu objęte są typowymi dla tego minerału wtórnymi przeobrażeniami. W świetle przechodzącym spolaryzowanym zmiany te uwidaczniają się jako brunatny iddingsyt (mieszanina getytu i chlorytu) oraz zielonobrunatny bowlingit (mieszanina serpentynów i minerałów ilastych) (fotografie nr 17 i 19). Przeobrażenia te rozwijają się wokół ziaren oraz wzdłuż pęknięć wewnątrz kryształów. Same ziarna bazaltoidów nie są zwietrzałe, nie stwierdzono oznak zgorzeli słonecznej (brak typowych dla tego zjawiska charakterystycznych jaśniejszych plamek widocznych makroskopowo oraz drobnych spękań, prowadzących do rozpadu ziarna). Pod względem rozmiaru dominują ziarna duże o długości 10 mm – 30 mm (wielkość mierzona w preparacie, nie odpowiada rzeczywistemu wymiarowi kruszywa określanemu w analizie sitowej), w mniejszej ilości zaś występują ziarna o długości 4–10 mm.

Trudno określić, czy użyty w badanych betonach materiał bazaltowy pochodzi z jednego czy wielu źródeł. Skąpy wulkaniczne tzw. dolnośląskiej formacji bazaltowej są dość zróżnicowane petrograficznie. Zmienność ta ujawnia się nie tylko pomiędzy poszczególnymi wystąpieniami, ale także często w obrębie jednego złoża. Geograficznie najbliższe złoża bazaltów znajdują się w okolicach Lubania oraz Złotoryi.

Zaczyn cementowy to element betonu, który w badanych próbkach wykazuje najwyrazistsze zróżnicowanie zarówno w ocenie makroskopowej, jak i analizie mikroskopowej. Generalizując, dla górnej warstwy betonu (powyżej zbrojenia) typowe jest, makroskopowo, ciemniejsze brązowoszare zabarwienie, natomiast warstwa dolna (poniżej zbrojenia) charakteryzuje się kolorem jasnoszarym (próbka 1118/19). Istnieją jednak wyjątki od tej reguły. W próbkach 49/20 oraz 45/20 (niewyselekcjonowanej do badań petrograficznych) brązowoszary zaczyn występuje na całej długości. Z kolei w próbce 42/20 jasnoszary zaczyn pojawia się tylko w najniższej partii dolnej warstwy betonu. W próbce 1124/19 zaczyn w dolnej warstwie odznacza się nieco ciemniejszym odcieniem szarości niż w typowych próbkach. Obserwacje mikroskopowe w świetle przechodzącym potwierdzają istnienie pewnych cech zaczynu, wpływających na jego zabarwienie.

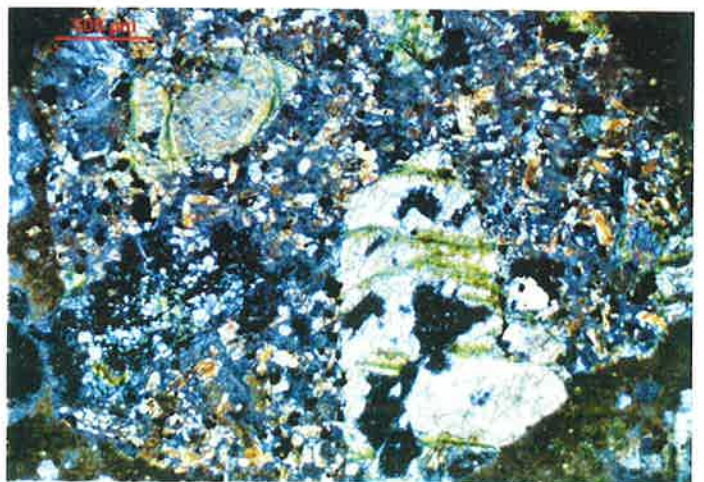
Zaczyn brązowoszary w świetle pojedynczo spolaryzowanym przybiera zabarwienie ciemnobrązowe, jest niepleochroiczny (nie zmienia barwy podczas obrotu preparatu). Widoczne są liczne ziarna niezhydratyzowanego cementu z dużą ilością czarnych inkluzji glinożelazianu (III) czterowapniowego (brownmillerytu). Wielkość ziaren cementu waha się w szerokim zakresie 20–150  $\mu\text{m}$ . Czarne, izotro-



Fot. 17. Próbką 42/20 – dolna warstwa betonu; ziarna bazaltu – po lewej i prawy górny róg; obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]



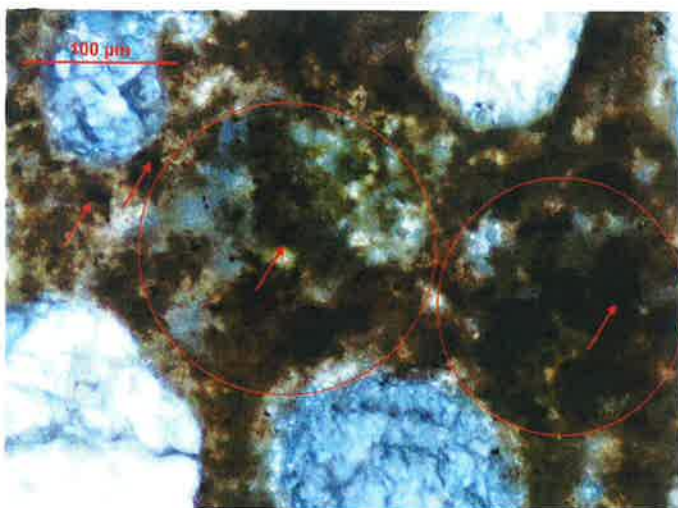
Fot. 18. Próbką 1118/19 – dolna warstwa betonu; ziarno bazaltu; obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]



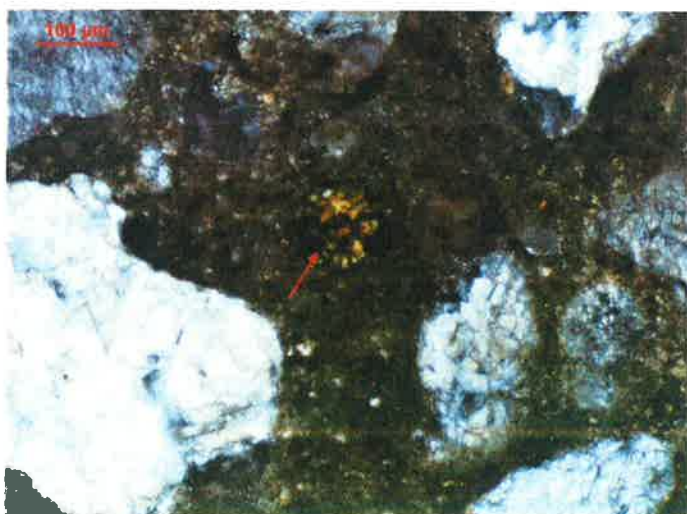
Fot. 19. Próbką 49/20 – górna warstwa betonu; ziarno bazaltu; widoczne fenokryształy oliwiny wtórnie przeobrażone w zielony bowlingit; obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]

powe optycznie inkluzje brownmillerytu wielkości 2–10  $\mu\text{m}$  w dużej ilości rozproszone są w całym zaczynie, również poza granicami rozróżnialnych niezhydratyzowanych ziaren cementu (fotografie nr 20 do 23). Prawdopodobnie to duża zawartość tego składnika może powodować charakterystyczne ciemniejsze zabarwienie zaczynu.

W typowym betonie z dolnej warstwy zaczyn przy skrzyżowanych polaryzatorach jest szary, niepleochroiczny (fot. 24). W jego obrębie również widoczne są ziarna niezhydratyzowanego cementu. Wielkość poszczególnych ziaren waha się w granicach 10–120  $\mu\text{m}$ , jednak zazwyczaj nie przekracza 30–50  $\mu\text{m}$ . Dominującym składnikiem tych ziaren jest żółtobrazowy belit (fotografia nr 25). W porównaniu z zaczynem szarobieżowym, inkluzje brownmillerytu (wielkości 2–5  $\mu\text{m}$ ) występują w mniejszej ilości. W próbce 1124/19



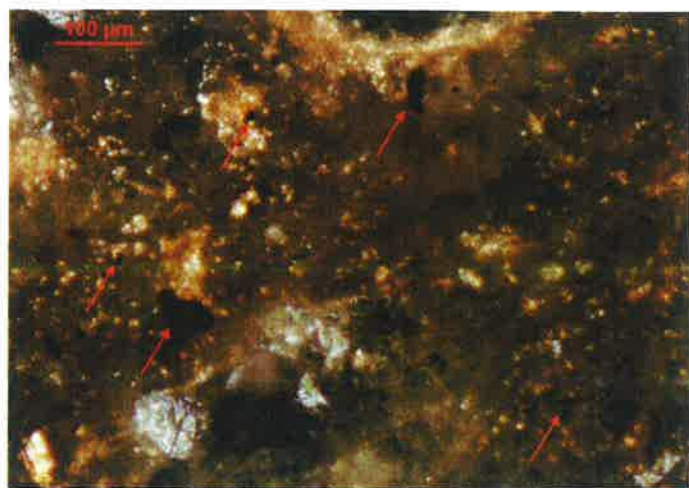
Fot. 20. Próbką 1118/19 – górna warstwa betonu; stwardniały zaczyn cementowy (brunatny) z relikami niezhydratyzowanych ziaren cementu (zaznaczone okręgami) i skupieniami czarnego brownmillerytu (czarne plamki i punkty zaznaczone strzałkami); obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]



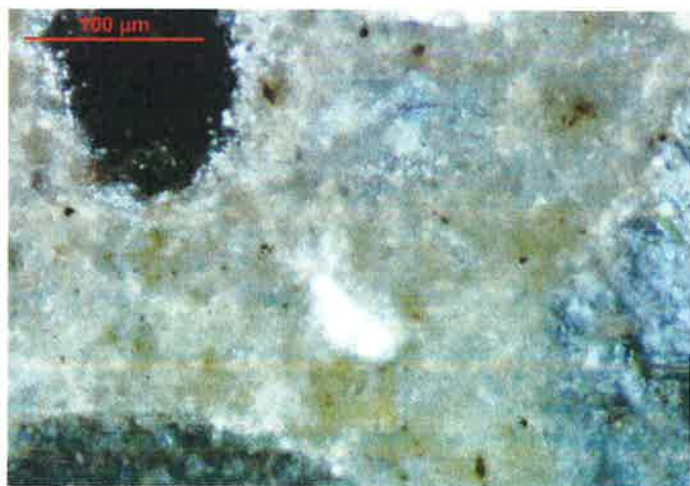
Fot. 21. Próbką 1118/19 – górna warstwa betonu; niezhydratyzowane ziarno cementu w stwardniałym zaczynie (zaznaczone strzałką); obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]



Fot. 22. Próbką 42/20 – górna warstwa betonu; stwardniały zaczyn cementowy (brązowy) z relikami niezhydratyzowanych ziaren cementu (okręgi) i skupieniami czarnego brownmillerytu (strzałki); obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]

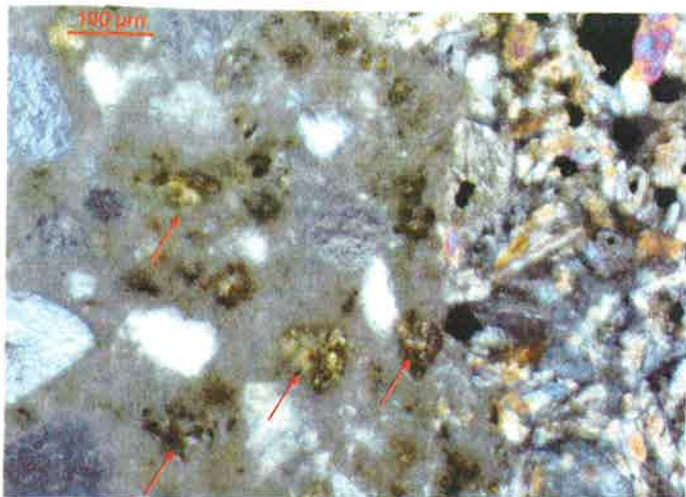


Fot. 23. Próbką 49/20 – dolna warstwa betonu; stwardniały zaczyn cementowy (brązowy) ze skupieniami czarnego brownmillerytu (strzałki); obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]

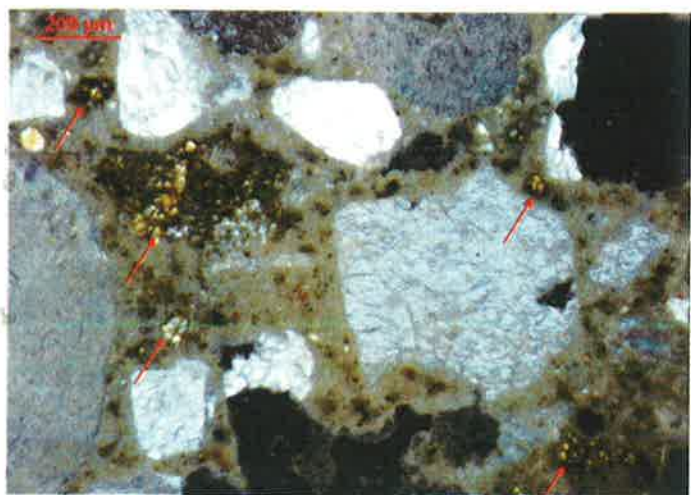


Fot. 24. Próbką 1118/19 – dolna warstwa betonu; stwardniały zaczyn cementowy; obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]

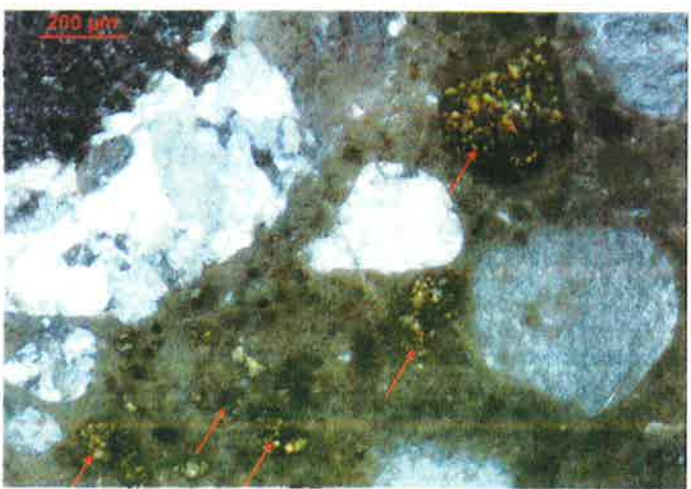




Fot. 25. Próbką 1118/19 – dolna warstwa betonu; stwardniały zaczyn cementowy z niehydratyzowanymi ziarnami cementu (strzałki); obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]



Fot. 26. Próbką 1124/19 – dolna warstwa betonu; stwardniały zaczyn cementowy z niehydratyzowanymi ziarnami cementu (strzałki); obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]



Fot. 27. Próbką 1124/19 – dolna warstwa betonu; stwardniały zaczyn cementowy z niehydratyzowanymi ziarnami cementu (strzałki); obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym spolaryzowanym (skrzyżowane polaryzatory) [7]

(zaczyn ciemnoszary) ziarna niehydratyzowanego cementu występują w większej ilości i osiągają większe rozmiary (do 230  $\mu\text{m}$ ) (fot. 26 i 27). Udział ziaren przekraczających 100  $\mu\text{m}$  również jest wyższy niż w zaczynie jasnoszarym. Duże ziarna cementu (powyżej 50  $\mu\text{m}$ ) najczęściej gromadzą się przy ziarnach kruszywa.

Makroskopowe i mikroskopowe różnice w wyglądzie zaczynów wynikają prawdopodobnie z zastosowania odmiennych cementów, do produkcji których użyto innych surowców. Znaczna ilość stosunkowo dużych niehydratyzowanych ziaren cementu może świadczyć o: zastosowaniu cementu grubomielonego; zbyt małej ilości wody w zaczynie (niski stosunek w/c); nieodpowiednich warunkach twardnienia zaczynu.

W strukturze betonu, pory powietrzne oraz nieregularne pustki występują w zmiennych ilościach, nie wykazując pod względem wielkości i kształtu związku z warstwą betonu. Owalne pory powietrzne osiągają wielkość do 3 mm (fot. 28 i 29). Nieregularne pustki koncentrują się głównie pod ziarnami kruszywa (pory sedimentacyjne), zwłaszcza bazaltowymi i żwirowymi. Osiągają nawet długość 1 cm (fot. 30).



Fot. 28. Próbką 1118/19 – górna warstwa betonu, widoczny jest por powietrzny [7]



Fot. 29. Próbką 1118/19 – górna warstwa betonu, widoczny por powietrzny z mineralizacją (być może ettringit) na ściankach [7]

Wyjątkowo dużą ilością nieregularnych pustek charakteryzuje się beton z dolnej warstwy w próbce 49/20, co może być efektem niewystarczającego zawibrowania (fot. 31).



Fot. 30. Próbką 1118/19 – górna warstwa betonu, widoczne nieregularne pustki przy ziarnie bazaltu [7]



Fot. 31. Próbką 49/20 – dolna warstwa betonu, widoczna porowata struktura betonu [7]

Ziarna grysowe oraz żwirowe i piaskowe są rozmieszczone nierównomiernie. Szkielet kruszywowy jest bardziej zwarty w warstwie górnej niż w dolnej, choć z taką sytuacją mamy do czynienia tylko w przypadku typowej próbki (górna warstwa z betonu brązowszarego, dolna z szarego). W próbkach 42/20 i 49/20, gdzie beton brązowszary występuje zarówno w górnej, jak i dolnej warstwie, stopień zwartości szkieletu ziarnowego jest niejednorodny.

We wszystkich próbkach kruszywo bazaltowe wykazuje duży udział ziaren płaskich. Ziarna takie układają się równoległe do płaszczyzny powierzchni.

## Podsumowanie

W wyniku badań laboratoryjnych uzyskano następujące średnie wartości: nasiąkliwość – 3,28 %; wytrzymałości na

ściskanie – 65,36 MPa (dla warstwy dolnej: 71,49 MPa, dla warstwy górnej: 59,22 MPa); wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu – 4,82 MPa.

W wyniku badań petrograficznych trudno określić, czy użyty w badanych betonach materiał bazaltowy pochodzi z jednego czy wielu źródeł. Skaly wulkaniczne tzw. dolnośląskiej formacji bazaltowej są dość zróżnicowane petrograficznie. Zmienność ta ujawnia się nie tylko pomiędzy poszczególnymi wystąpieniami, ale także często w obrębie jednego złoża. Kruszywo bazaltowe wykazuje duży udział ziaren płaskich. Ziarna takie układają się równoległe do płaszczyzny powierzchni. Różnice w udziale ziaren piasku o zmiennym stopniu obtoczenia mogą pośrednio wskazywać na zastosowanie piasków z więcej niż jednego złoża.

Jednorodność składu i pokroju ziaren żwiru nie pozwala na wyciągnięcie wniosków co do ilości złóż, z których ten materiał pochodzi.

Makroskopowe i mikroskopowe różnice w wyglądzie zaczynów cementowych, wynikają prawdopodobnie z zastosowania odmiennych cementów, do produkcji których użyto innych surowców. Znaczna ilość dużych niezhidratyzowanych ziaren cementu może świadczyć o zastosowaniu cementu grubomielonego, zbyt małej ilości wody w zaczynie (niski stosunek w/c) oraz o nieodpowiednich warunkach twardnienia zaczynu.

Dobrze wykonana nawierzchnia betonowa bez żadnego problemu osiąga dwudziestoletni okres użytkowania. Standardem jest eksploatacja przez 30 lat [5]. Dolny Śląsk, jako region aktualnie nadgraniczny, jest ważnym elementem szlaków transportowych w Polsce i w Europie [3]. Również przed II wojną światową, łączył przy pomocy RAB 9 stolicę Niemiec z najdalej wysuniętymi na wschód aglomeracjami przemysłowymi. Wykonana wówczas nawierzchnia z betonu cementowego przetrwała do końca drugiej dekady XXI wieku.

Z przeprowadzonych badań laboratoryjnych wynika, że właściwości mechaniczne betonu nawierzchniowego pozostają na wysokim poziomie do dzisiaj. Natomiast badania petrograficzne ujawniły pewną niedbałość podczas trwania budowy oraz dużą dowolność w wyborze materiałów składowych mieszanki betonowej.

## Bibliografia

- [1] Jamroży Z. *Beton i jego technologie*. Wydawnictwa Naukowe PWN SA. Warszawa 2015.
- [2] Polecki A. *Autostrada A18 (dawniej A12) – historia i teraźniejszość*. „Magazyn Autostrady” nr 4/2019. Wydawnictwo ELAMED. Katowice 2019.
- [3] Polecki A. *Konstrukcje nawierzchni dróg szybkiego ruchu – klasy A i S, na Dolnym Śląsku. Stan na koniec 2018 r.* „Przegląd Komunikacyjny” nr 11/2018. Wydawnictwo SliTK RP Warszawa 2018.
- [4] Polecki A. *Utrzymanie nawierzchni wykonanych z betonu cementowego – typowe uszkodzenia eksploatacyjne, przykłady technologii napraw*. „Drogownictwo” nr 2/2020. Wydawnictwo SliTK, Warszawa 2020.
- [5] Szydło A. *Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego*. Polski Cement Sp. z o.o. Kraków 2004.
- [6] Wądołowski A., Lempaszek P. *Ocena jakości betonu w nawierzchni „Berlinki”*. Prezentacja dla GDDKiA. Józefów 2008 r.
- [7] GDDKiA Oddział we Wrocławiu. Podręczne archiwum autorów.