



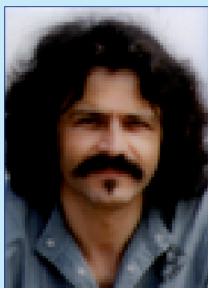
ZDZISŁAW ADAMCZYK

Politechnika Śląska
zdzislaw.adamczyk@polsl.pl



JACEK NOWAK

Politechnika Śląska
jacek.nowak@polsl.pl



KRZYSZTOF
CHLIPALSKI

Politechnika Śląska
krzysztof.chlipalski@polsl.pl



BARTŁOMIEJ GRZESIK

Politechnika Śląska
bartlomiej.grzesik@polsl.pl

Niepokojąco przebarwienia warstwy ścieralnej wykonanej z użyciem kruszywa amfibolitowego

W ciągu ostatnich 2 lat kilkakrotnie napływały sygnały o pojawianiu się charakterystycznych, brunatnych przebarwień na nowo powstałych warstwach ścieralnych nawierzchni drogowych na terenie Śląska. Przebarwienia te miały charakter punktowy o średnicy od kilku do ok. 30 mm i wystąpiły z różną intensywnością na powierzchni warstw ścieralnych, zarówno z betonu asfaltowego, jak i mieszanki SMA. W ocenie makroskopowej ich źródłem każdorazowo było pojedyncze ziarno kruszywa. Dotychczas, za przyczynę większości przypadków podobnych przebarwień uważano, zawierający pozostałości żelaza metalicznego, żużel hutniczy, bądź inne metaliczne zanieczyszczenia (np. fragmenty stalowych drutów ze szczotek czyszczarek mechanicznych). Analizowany na przestrzeni listopada i grudnia 2010 r. w Politechnice Śląskiej przypadek dotyczył wykonanej jesienią tego samego roku warstwy ścieralnej z SMA 0/11 na jednym z odcinków nowo budowanej autostrady A1. Pomimo spełnienia przez warstwę wszystkich stawianych jej w dokumentacji technicznej wymagań, pojawienie się na niej nietypowych przebarwień nie pozostało niezauważone przez inżynierów nadzorujących kontrakt. Przebarwienia ujawniły się w ciągu kilku tygodni po wykonaniu warstwy, podczas gdy odcinek został oddany do użytku (zgodnie z planem) niemal rok później – jesienią 2011 r. Obserwacje terenowe prowadzono jeszcze do końca 2011 r., w celu uchwycenia wpływu ruchu na ewentualny rozwój niepokojącego zjawiska.

Ze względu na brak ruchu na tym odcinku autostrady A1, w pierwszej kolejności z grupy czynników powodujących przebarwienia wykluczono

wycieki płynów eksploatacyjnych pojazdów i środki zimowego utrzymania drogi. Kolejnym krokiem było pobranie próbki SMA z warstwy. Odwiertu dokonano w obszarze nawierzchni,

na którym przebarwienia występowały najliczniej (fot. 1), a ich powierzchnia lokalnie obejmowała do ok. 3% powierzchni warstwy ścieralnej. Pozyskany rdzeń o średnicy 100 mm zawierał, zgodnie z założeniem, w centralnej części jedno wyraźne źródło przebarwienia (fot. 2). Podczas badań wstępnych w składzie pobranej z warstwy mieszanki SMA nie wykryto obecności żużla ani metalicznych zanieczyszczeń obcych. Żużel nie stanowił składnika mieszanki mineralno-asfaltowej na etapie zatwierdzania recepty, nie wykryto jego obecności podczas przewidzianych specyfikacją badań kontrolnych składu mieszanki, wykonywanych regularnie w trakcie kilkunastomiesięcznych prac budowlanych. Ustalono, że źródło przebarwień musi znajdować się w mieszance kruszyw skalnych użytych w produkcji SMA.

Powyższe, wstępne ustalenia pozwoliły na zaplanowanie dalszych badań. Pierwszy etap stanowiły badania mineralogiczne, mające na celu rozpoznanie mechanizmu powstawania przebarwień, w drugim etapie podjęto próbę oceny wpływu zaobserwowanego zjawiska na trwałość nawierzchni.



Fot. 1. Fragment nawierzchni na którym wystąpiły przebarwienia (fot. B. Grzesik)

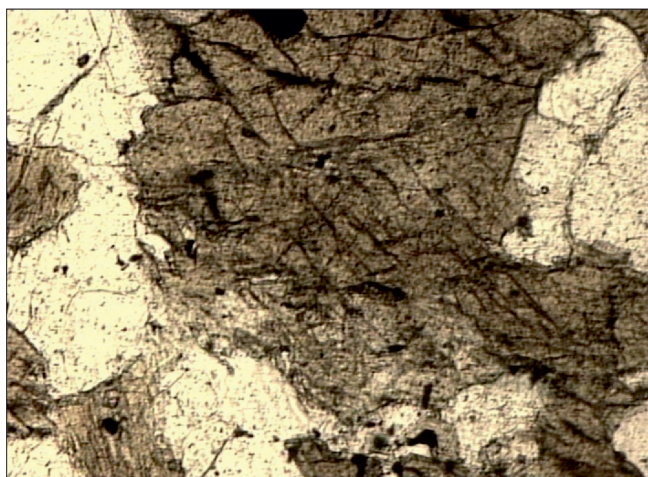


Fot. 2. Źródło przebarwienia. Największe ziarna na fotografii mają wielkość ok. 12 mm (fot. B. Grzesik)

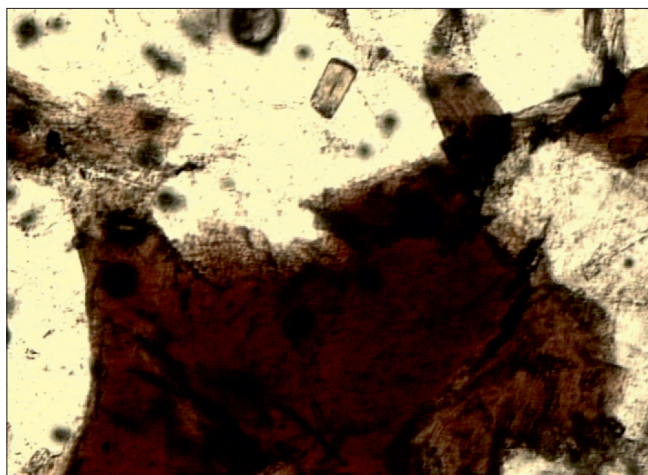
Badania mineralogiczne – mechanizm powstawania przebarwień – pierwszy etap badań

Z odwierconego z nawierzchni rdzenia wyizolowano ziarno znajdujące się w centrum przebarwienia i odmyto lepiszczem asfaltowym rozpuszczalnikiem (czterochloroetylenem). Pod względem petrograficznym ziarno to było amfibolitem. Pozostałą część rdzenia poddano ekstrakcji w czterochloroetylenie. W jej wyniku uzyskano kruszywo o masie 518 g. Na podstawie obserwacji makroskopowych ustalono, że w skład kruszywa wchodzi okrusz gabra i amfibolitu. Wśród ziaren amfibolitu wydzielono dwie populacje: o barwie szarej z odcieniem zielonkawym oraz o barwie szarej z odcieniem czerwonym [1].

Analiza składu petrograficznego kruszywa wykluczyła obecność w nim domieszek kruszywa sztucznego z żużli hutniczych. Nie stwierdzono także obecności zanieczyszczeń obcych, w tym metalicznych. Tak więc proces powstawania rdzawobrunatnych przebarwień związany był z naturalnymi składnikami kruszywa.



Fot. 3. Mikrofotografia próbki A-Zi, w centrum zielonkawego kryształu amfibolu. Światło przechodzące, jeden nikol, powiększenie 100× (fot. Z. Adamczyk)



Fot. 4. Mikrofotografia próbki A-Cz, w centrum brunatnego kryształu silnie przeobrażonego amfibolu. Światło przechodzące, jeden nikol, powiększenie 100× (fot. Z. Adamczyk)

Przeprowadzone badania mineralogiczne amfibolitów wykazały wyraźne różnice w składzie mineralnym pomiędzy ziarnami amfibolitu szarego z odcieniem zielonkawym a amfibolitem szarym z odcieniem czerwonym. W tym pierwszym dominują amfibole (56%(v/v), w tym 4%(v/v) ze śladami przeobrażeń) (fot. 3), a skład mineralny uzupełniają kwarc, plagioklasy, piryty, chalkopiryty i chalkozyny. W amfibolicie szarym z odcieniem czerwonym dominują plagioklasy (45%(v/v)), zaś amfibole stanowią 27%(v/v) (w tym niemal wszystkie przeobrażone) (fot. 4), a pozostałe składniki to: kwarc, biotyt, piryty, maghemit, hematyt, chalkopiryty, chalkozyny oraz śladowe ilości ilmenitu, cyrkonu i kowelinu z bornitem [1].

Przeobrażenia amfiboli w amfibolicie zachodziły już w złożu amfibolitu. Produkty przeobrażeń amfiboli zasobne w żelazo, a także obecność innych składników mineralnych zawierających żelazo (siarczki, tlenki żelaza, tlenki żelaza i miedzi z domieszkami niklu), mogły łatwo ulegać procesom wietrzenia. Żelazo zawarte w minerałach stanowiących produkty tego wietrzenia barwi je na kolor rdzawobrunatny. Bezpośrednie oddziaływanie czynników atmosferycznych na okruszki tego typu obecne w nawierzchni przyspiesza proces tworzenia się rdzawobrunatnych przebarwień.

Jak wskazały szczegółowe badania [1] ziarnami wywołującymi pojawienie się rdzawobrunatnych nalotów są szare amfibolity z odcieniem czerwonym. Przebarwienia wywołane są obecnością rozenitu, copiapitu, fibroferytu, metasyderonatriytu oraz wodorotlenków żelaza, powstających w wyniku wietrzenia, pod wpływem czynników atmosferycznych, składników mineralnych amfibolitu zawierających żelazo [1].

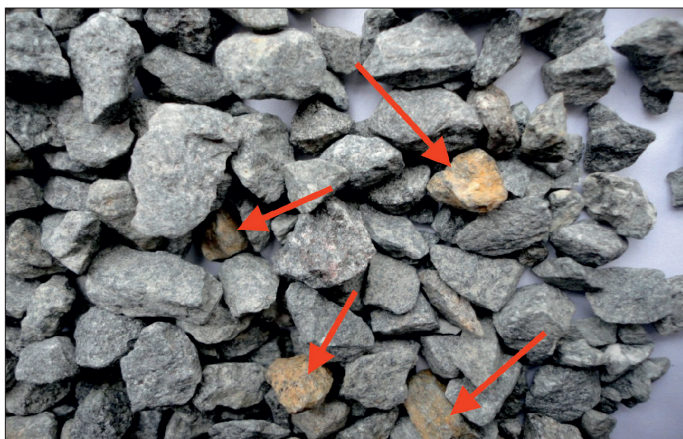
Badania właściwości kruszywa – wpływ procesu wietrzenia amfibolitu na trwałość nawierzchni – drugi etap badań

Wyniki badań wykonanych podczas pierwszego etapu zrodziły naturalne pytania o wpływ zjawiska na trwałość warstw wykonanych z mieszanek mineralno-asfaltowych, do produkcji których użyto amfibolitu, w szczególności warstwy ścieralnej. Kruszywo amfibolitowe poddane zostało dalszym badaniom w celu uchwycenia ewentualnego wpływu opisanego zjawiska na cechy istotne z punktu widzenia trwałości nawierzchni drogowej, w tym parametrów, których poziom określają Wymagania Techniczne [2] i [3].

Źródłem materiału podczas drugiego etapu badań była próbka 60 kg grysłu amfibolitowego 8/11 pozostałego z produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej SMA 0/11, przeznaczonej na warstwę ścieralną. Na podstawie dokonanej oceny wizualnej z próbki podstawowej amfibolitu szarego wyłoniono dwie populacje ziaren tego kruszywa (fot. 5):

- o odcieniu czerwonym (w tym częściowo lub całkowicie przebarwionych w procesie wietrzenia) – oznaczoną dalej jako A-Cz,
- o odcieniu zielonkawym oznaczoną jako A-Zi.

Charakterystyczne zabarwienie ziaren A-Cz i A-Zi dobrze oddaje zestawienie przedstawione na fotografii 6. Należy zaznaczyć, iż ziarna A-Cz stanowiły ok. 10% całej masy próbki grysłu amfibolitowego. Podobny rozkład populacji A-Cz i A-Zi występował w amfibolicie odzyskanym po ekstrakcji pobranej z nawierzchni próbki SMA.



Fot. 5. Ziarna A-Cz z widocznymi zmianami spowodowanymi wietrzeniem (zaznaczone strzałkami) na tle ziaren A-Zi i A-Cz bez śladów wietrzenia (fot. B. Grzesik)



Fot. 6. Charakterystyczne zabarwienie ziaren amfibolitu, kolejno od lewej: A-Zi, A-Cz oraz A-Cz z widocznymi efektami wietrzenia w postaci rdzawego zabarwienia (fot. B. Grzesik)

Stwierdzenie w pierwszym etapie badań obecności w kruszywie amfibolitowej grupy ziaren podatnych na wietrzenie wskazało jasny kierunek dalszych badań. Celem prostego programu badawczego stało się poznanie skali spodziewanych różnic między wynikami oznaczeń wybranych cech kruszywa: odpornego oraz podatnego na wietrzenie. Te z kolei miały stanowić podstawę do rokowania dotyczącego trwałości nawierzchni. Otrzymane wyniki posłużyły jedynie względnemu porównaniu. Nie mogły być odnoszone do wyników tych samych oznaczeń uzyskanych przez laboratoria, producenta mieszanki mineralno-asfaltowej, wykonawców warstwy ścieralnej czy nadzór inwestycji, ponieważ w każdym z tych przypadków kruszywo amfibolitowe zostało przebadane i dopuszczone do wytworzenia SMA.

W tabeli 1 zestawiono oznaczenia wykonane na zbiorach ziaren kruszywa A-Zi i A-Cz.

Oznaczeń 2-5 dokonano wedle aktualnych w dniu badań norm przywołanych w ówczesnie obowiązujących Wymaganiach Technicznych [2] z 2008 r. Należy podkreślić, iż w 2010 r. zostały zaktualizowane normy [5] i [8], a w Wymaganiach Technicznych [2] opublikowanych w 2010 r. metodę badania mrozoodporności w 1% roztworze NaCl wg załącznika B normy [7] zastąpiono metodą opisaną w normie [9]. W programie badań wyjątek stanowiło oznaczenie przyczepności as-

Tabela 1. Zestawienie oznaczeń wykonanych na ziarnach kruszywa A-Zi i A-Cz

Lp.	Oznaczenie	Norma
1.	Przyczepność asfaltu	PN-84 B-06714/22 [4]
2.	Rozpad żelaza jak w żużlu wielkopiecowym	PN-EN 1744-1 [5]
3.	Nasiąkliwość	PN-EN 1097-6, załącznik B [6]
4.	Mrozoodporność Mrozoodporność w 1% NaCl	PN-EN 1367-1 [7] PN-EN 1367-1, załącznik B
5.	Odporność na rozdrabnianie w bębnie LA	PN EN 1097-2, załącznik A [8]

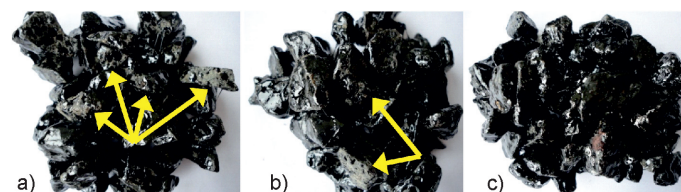
faltu wykonane wg Polskiej Normy z 1984 roku PN-84 B-06714/22 [4] wciąż obecnej w zbiorze Polskiego Komitetu Normalizacyjnego, pomimo równolegle funkcjonującej od 2004 roku normy PN-EN 12697-11 [10]. Wybór „starej” normy uzasadniono krótszą procedurą badań, a podjętą decyzję częściowo usprawiedliwia zamiar jedynie względnego porównania wyników. Zauważyć należy też, że powyższa cecha oznaczana wg nowej normy [10] nie znalazła się wśród wymaganych wobec kruszywa w Wymaganiach Technicznych [2] zarówno w 2008 r., jak i zaktualizowanych w 2010 r. Wszystkie badania przeprowadzono na frakcji kruszywa amfibolitowego 8/11 mm. Autorzy nie mieli dostępu do innych frakcji tego kruszywa.

Oznaczenie przyczepności asfaltu do kruszywa amfibolitowego

Celem możliwie wiernego oddania właściwości tej cechy w istniejącej warstwie ścieralnej, do sporządzenia próbek użyto identycznych jak w receptie składników (asfalt modyfikowany i środek adhezyjny, również w proporcjach odpowiadających receptie).

Badanie przeprowadzono na dwóch seriach trzech próbek: ziaren A-Zi, ziaren A-Cz, niewykazujących śladów wietrzenia oraz ziaren A-Cz o powierzchni w 50% do 100% przebarwionej wskutek wietrzenia. Celem badania było określenie wpływu zmienionej procesem wietrzenia powierzchni kruszywa na jej zdolności adhezyjne (powiązanie kruszywo-asfalt).

Do otoczenia kruszywa użyto asfaltu modyfikowanego polimerami PmB 45/80-55 z dodatkiem 0,3%(m/m) środka adhezyjnego w stosunku do asfaltu. Oba materiały w takich proporcjach zostały użyte do produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej SMA 0/11. Z takiej mieszanki wykonano warstwę ścieralną, na której wystąpiły przebarwienia. Wyniki badania przedstawia tabela 2, a wygląd próbek po badaniu fotografia 7.



Fot. 7. Wygląd próbek serii I kruszywa po badaniu. a) A-Zi, b) niezwietrzały A-Cz, c) zwietrzały A-Cz. Strzałki wskazują powierzchnie obmyte z asfaltu (fot. B. Grzesik)

Tabela 2. Wyniki oznaczenia przyczepności asfaltu do ziaren kruszywa

Próbka	Wynik serii I [%]	Wynik serii II [%]	Wynik końcowy [%]
Amfibolit szary z odcieniem zielonkawym A-Zi	85	85	85
Amfibolit szary z odcieniem czerwonym A-Cz bez śladów wietrzenia	85	85	85
Amfibolit szary z odcieniem czerwonym A-Cz o ziarnach przebarwionych w procesie wietrzenia	95	95	95

Zmiany powierzchni ziaren A-Cz w postaci rdzawobrunatnego nalotu nie wpływają negatywnie na adhezję bierną asfaltu, a wręcz w sposób zauważalny (95%) ją poprawiają. Można wskazać tu analogię relacji stali zbrojeniowej i betonu cementowego – powierzchniowe produkty procesów korozji są pożądane ze względu na poprawę przyczepności (fizycznej) zaprawy cementowej do zbrojenia. Po oznaczeniu przyczepności asfaltu do kruszywa jedną próbkę A-Cz o ziarnach przebarwionych w procesie wietrzenia częściowo zanurzono w wodzie destylowanej na okres 60 dni. Próba miała na celu po raz kolejny odtworzenie procesu wietrzenia z udziałem ziaren – podobnie jak na powierzchni warstwy ściernalnej – całkowicie lub częściowo pokrytych warstwą asfaltu. W wyniku eksperymentu na kilku ziarnach częściowo pozbawionych otoczki asfaltowej pojawiły się rdzawobrunatne wykwity (fot. 8).



Fot. 8. Rdzawobrunatne wykwity produktów wietrzenia po 60-dniowej ekspozycji na działanie środowiska wilgotnego. Przedstawione ziarna mają wymiar od 8 do 11 mm (fot. B. Grzesik)

W warunkach rzeczywistych część ziaren kruszywa na powierzchni warstwy ściernalnej również zostaje częściowo pozbawiona otoczki asfaltowej już na etapie wykonywania warstwy. Szczególnie dotyczy to warstw z SMA zagęszczanych stalowymi walcami, a następnie uszorstnianych dodatkowo posypką kruszywa 2/4 lub 2/5 mm. W tym przypadku proces wietrzenia kruszywa, rozpoczęty prawdopodobnie już w momencie pozyskania skały ze złoża, będzie toczyć się dalej po wbudowaniu w warstwę, o ile kruszywo pozostanie wyeksponowane na działanie czynników zewnętrznych.

Pełna otoczka asfaltowa na pozostałych ziarnach poddanych eksperymentowi zahamowała proces wietrzenia, izolu-

jąc aktywną powierzchnię kruszywa od dostępu czynników zewnętrznych. W warunkach rzeczywistych proces przemian, prowadzący do tworzenia się rdzawobrunatnych przebarwień, w ziarnach całkowicie otoczonych asfaltem i znajdujących się poza strefą bezpośredniego oddziaływania czynników atmosferycznych (w głębi warstw) i eksploatacyjnych (ścieranie otoczki asfaltowej) nie rozwija się. Procesy technologiczne wytwarzania mieszanki mineralno-asfaltowej na gorąco całkowicie pozbawiają kruszywo wody, tym samym eliminując przyczynę przemian w tych ziarnach kruszywa.

Oznaczenie rozpadu żelaza

Badanie przeprowadzono wg p.19.2 normy [5] jak w przypadku żuźla wielkopieczowego chłodzonego powietrzem. Celem badania była weryfikacja tempa zachodzących przemian (hydroliza siarczków żelaza) i ich efektu na tle analogicznego procesu, zachodzącego w żużlach wielkopieczowych i wg kryteriów do niego przewidzianych. Do oznaczenia użyto 30 ziaren amfibolitu o wymiarze powyżej 10 mm przebarwionych w procesie wietrzenia. Ziarna umieszczono na 48 h w wodzie o temperaturze 20°C. Po upływie 48 h na żadnym ziarnie nie ujawniły się pęknięcia ani żadne ziarno nie uległo rozpadowi. Stwierdzić należy, iż kruszywo wyjściowo wykazujące cechy przemian związków żelaza pozostaje odporne na rozpad w rozumieniu normy [5].

Oznaczenie nasiąkliwości

Badanie przeprowadzono wg załącznika B normy [6]. Wykonano oznaczenie na próbce amfibolitu szarego o odcieniu zielonkawym A-Zi oraz na próbce amfibolitu szarego o odcieniu czerwonym A-Cz. Z próbki A-Cz do oznaczenia nasiąkliwości wybrano wyłącznie ziarna z widocznymi przebarwieniami.

Uzyskane wyniki nasiąkliwości 0,4%(m/m) oznaczonej na zbiorze ziaren A-Zi oraz 0,5%(m/m) na zbiorze ziaren A-Cz zgodnie z PN-EN 13043:2004 [11], kwalifikują zarówno ziarna A-Cz jak i A-Zi do kategorii W_{cm} 0,5, zatem obie odmiany amfibolitu można uznać za mrozo odporne (tabela 3).

Tabela 3. Wyniki oznaczenia nasiąkliwości

Próbka	Nasiąkliwość [% (m/m)]	Kategoria W_{cm}
Amfibolit szary o odcieniu zielonkawym A-Zi	0,4	W_{cm} 0,5
Amfibolit szary z odcieniem czerwonym A-Cz o ziarnach przebarwionych w procesie wietrzenia	0,5	W_{cm} 0,5

Oznaczenie mrozoodporności

Badanie przeprowadzono zgodnie z normą [7] na próbkach ziaren A-Cz i A-Zi. Choć względne porównanie wyników (tabela 4) ujawnia czterokrotnie mniejszą mrozoodporność ziaren A-Cz w stosunku do A-Zi, to obie odmiany amfibolitu kwalifikują się do najwyższej kategorii F_1 (poniżej 1%) ubytku masy) odporności na mróz wg [11], czego należało oczekiwać w związku z ich małą nasiąkliwością. Na analogicznych próbkach przeprowadzono również oznaczenie odporności

na mróz w 1% roztworze NaCl wg załącznika B normy [7] w celu określenia wpływu tego istotnego czynnika na proces przemian w kruszywie. Uzyskane wyniki przedstawiono w tabeli 5. Norma [11] nie wymienia kategorii badania w soli, umownie przyjęto ją jako F_1 do obu zbiorów ziaren amfibolitu. Nieoczekiwanie wpływ soli na tempo procesu wietrzenia okazał się nieznaczny.

Tabela 4. Wyniki oznaczenia mrozoodporności

Próbka	Mrozoodporność [%]	Kategoria F
Amfibolit szary o odcieniu zielonkawym A-Zi	0,15	F_1
Amfibolit szary z odcieniem czerwonym A-Cz, w tym ziarna przebarwione w procesie wietrzenia	0,61	F_1

Tabela 5. Wyniki oznaczenia mrozoodporności w 1% roztworze NaCl

Próbka	Mrozoodporność [%]	Kategoria F
Amfibolit szary o odcieniu zielonkawym A-Zi	0,20	F_1
Amfibolit szary z odcieniem czerwonym A-Cz, w tym ziarna przebarwione w procesie wietrzenia	0,71	F_1

Oznaczenie odporności na rozdrabnianie w bębnie Los Angeles

Badanie przeprowadzono zgodnie z załącznikiem A normy [8] na próbkach ziaren A-Cz i A-Zi o uziarnieniu 8/11 mm (uwzględniono korektę dotyczącą liczby kul). Wynik, przedstawiony w tabeli 6 wskazuje na widoczną, większą odporność na rozdrabnianie ziaren A-Zi. Wynik 14,2%(m/m) plasuje ziarna A-Zi w najwyższej kategorii LA_{15} przewidzianej normą [11], podczas gdy wynik 21% (m/m) pozwala na zaklasyfikowanie ziaren A-Cz do o dwa poziomy niższej kategorii LA_{25} . Kategoria LA_{25} jest wg Wymagań Technicznych [2] najniższą kategorią odporności na rozdrabnianie kruszyw z grupy B (w wydaniu z 2010 r. zaniechano wyróżniania grup A, B, C kruszyw ze względu na pochodzenie, utrzymano natomiast poziom LA_{25}) dopuszczającą do stosowania w warstwach ścieralnych z SMA na drogach obciążonych ruchem kategorii KR5-6.

Tabela 6. Wyniki oznaczenia odporności na rozdrabnianie

Próbka	Odporność na rozdrabnianie [% (m/m)]	Kategoria LA
Amfibolit szary o odcieniu zielonkawym A-Zi	14,16	LA_{15}
Amfibolit szary z odcieniem czerwonym A-Cz, w tym ziarna przebarwione w procesie wietrzenia	20,97	LA_{25}

Podsumowanie

Przeprowadzone w Politechnice Śląskiej badania pozwoliły w sposób jednoznaczny określić źródło przebarwień, jak

również poznać mechanizm prowadzący do ich powstania. Zjawisko spowodowane było przemianami chemicznymi zachodzącymi w ziarnach amfibolitu wskutek oddziaływania na nie czynników atmosferycznych. Zjawisko należy uznać za niezmiernie rzadkie – autorom badań nie udało się natrafić w literaturze na opis dającego podobne efekty procesu wietrzenia amfibolitu. Od czasu pobrania próbek, do czasu oddania odcinka do ruchu nie zaobserwowano wystąpienia nowych ognisk przebarwień ani rozwoju wcześniej zinwentaryzowanych. Wnioski dotyczące pomijalnego wpływu zaobserwowanego zjawiska na trwałość opisaną warstwę, wynikające przede wszystkim z niewielkiego udziału wietrzejących ziaren w mieszance mineralnej, autorzy wyciągnęli jeszcze przed oddaniem odcinka do ruchu. Obserwacje prowadzone już w trakcie eksploatacji nawierzchni potwierdziły ich trafność. Na pasach ruchu przebarwienia uległy wytarciui, pozostały natomiast widoczne np. na pasach awaryjnych, na których ruch się nie odbywa. Naturalny proces zużycia warstwy ścieralnej okazał się dominujący, tempo ścierania warstwy większe od ubytków masy ziaren kruszywa powodowanych trwającym wietrzeniem.

Obecnie jedynym badaniem służącym eliminacji w założeniu zwietrzałego kruszywa skalnego jest badanie odporności kruszywa bazaltowego na „zgorzel słoneczną” wg PN-EN 1367-3 [12]. Autorzy dowiedli, że proces wietrzenia zachodzący w innych kruszywach skalnych może zostać ujawniony również w sposób pośredni, np. przy pomocy badań wykonanych przez autorów.

Opisany przypadek stanowi ważny sygnał, iż nawet popularne kruszywo skalne, pochodzące z jednego źródła, może wykazywać zmienne właściwości, a nawet zaskakiwać niespotykanymi wcześniej cechami.

Bibliografia

- [1] Z. Adamczyk, J. Nowak, B. Grzesik, Przebarwienia nawierzchni asfaltowej wykonanej na bazie kruszywa amfibolitowego, *Kwartalnik „Górnictwo i Geologia”*, t. 7, z. 3, Wyd. Pol. Śl., Gliwice 2012
- [2] Wymagania Techniczne „Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utwaleń na drogach publicznych”, WT-1 Kruszywa 2008, Warszawa 2008
- [3] Wymagania Techniczne „Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych”, WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2008, Warszawa 2008
- [4] PN-84 B-06714-22 Kruszywa mineralne – Badania – Oznaczanie przyczepności bitumów
- [5] PN-EN 1744-1 Badania chemicznych właściwości kruszyw – Analiza chemiczna
- [6] PN-EN 1097-6 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw Część 6: Oznaczanie gęstości ziaren i nasiąkliwości
- [7] PN-EN 1367-1 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych. Część 1: Oznaczanie mrozoodporności
- [8] PN EN 1097-2 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie
- [9] PN-EN 1367-6 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych – Część 6: Mrozoodporność w obecności soli
- [10] PN-EN 12697-11 Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 11: Oznaczanie powinowactwa pomiędzy kruszywem i asfaltem
- [11] PN-EN 13043 Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych do ruchu
- [12] PN-EN 1367-3 Badanie właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych. Część 3: Badanie bazaltowej zgorzeli słonecznej metodą gotowania ■