

**Dr inż. Bartłomiej Grzesik, Katedra Geotechniki i Dróg, Wydział Budownictwa,
Politechnika Śląska**

**„Przeobrażenia mineralne kruszyw naturalnych jako czynnik wpływający na ich
właściwości fizyko-mechaniczne i potencjalna przyczyna uszkodzeń nawierzchni”**

W 2010 środowisko inżynierskie zwróciło uwagę na brunatne, punktowe przebarwienia nawierzchni wykonanych z mieszanek mineralno-asfaltowych. Zjawisko to tłumaczono zamierzoną albo przypadkową obecnością, mogących zawierać metaliczne żelazo, ziaren żużli wielkopieczowych w mieszankach mineralno-asfaltowych. Wykonane badania składu mieszanek mineralno-asfaltowych zastosowanych w warstwach ścieralnych tych nawierzchni wykluczyły jednak obecność tych składników, wskazując jednoznacznie na kruszywo naturalne jako przyczynę niepokojącego zjawiska.

W latach 2010-2015 podjęto obserwacje na czterdziestu fragmentach nawierzchni zlokalizowanych w dwudziestu pięciu miejscowościach na terenie pięciu województw (Dolnośląskie, Małopolskie, Mazowieckie, Śląskie, Zachodniopomorskie). Warstwy ścieralne tych nawierzchni zostały wykonane w latach 2005-2013, z zastosowaniem różnych rodzajów mieszanek mineralno-asfaltowych (asfalt lany, beton asfaltowy, mieszanka grysow-mastykowa), do których użyto różnych rodzajów kruszyw naturalnych. Do szczegółowych badań wytypowano nawierzchnie w pięciu spośród czterdziestu lokalizacji, które cechowało zróżnicowanie funkcji jaką pełniły w sieci drogowej (drogi: gminne, powiatowe, wojewódzkie, krajowe, lotnisko), obciążenie ruchem, czas eksploatacji, rodzaj użytej mieszanki, ale przede wszystkim zastosowane w warstwie ścieralnej kruszywa. Z fragmentów nawierzchni dotkniętych przebarwieniami pobrano próbki warstw ścieralnych z których wykstrahowano mieszanki mineralne. Następnie ziarna kruszyw o rozmiarach powyżej 5 mm zostały poddane badaniom petrograficznym, które pozwoliły na wykluczenie obecności zanieczyszczeń metalicznych w tym żużla wielkopieczowego, jak również posłużyły one weryfikacji rzeczywistego składu mieszanek mineralno-asfaltowych w odniesieniu do składu projektowanego. W dwóch z pięciu przypadków ujawniono obecność składników innych niż projektowane. W pierwszym przypadku stwierdzono obecność ziarn hornfelsu w kruszywie granodiorytowym, w drugim przypadku obecność otoczków wapiennych, których nie wykazano w projekcie składu mieszanki mineralno-asfaltowej (receptie). Dalsza analiza pozwoliła ustalić, że hornfels był naturalnym składnikiem kruszywa granodiorytowego, natomiast obecność żwiru wapiennego była nieuprawnionym, zamierzonym działaniem człowieka. W celu ustalenia typu petrograficznego ziaren powodujących wykwit, wykstrahowane z próbek warstw ścieralnych mieszanki mineralne zostały poddane badaniom petrograficznym, a wybrane ziarna kruszywa badaniom eksperymentalnym i mineralogicznym. Następnie za pomocą mikroskopu optycznego, dyfraktometru rentgenowskiego oraz skaningowego mikroskopu elektronowego w sposób dokonano w sposób jednoznaczny identyfikacji ziaren pochodzących bezpośrednio z ognisk wykwitów na nawierzchniach. Na podstawie obecności typowych dla skał minerałów głównych ziarna kruszyw z kolejnych lokalizacji zidentyfikowano jako: zsausurytyzowane gabro, hornfels, wapień, dolomit i amfibolit. Zauważono także, że pewna niewielka liczba wekstrahowanych ziaren reprezentujących te same skały co ziarna z ognisk wykwitów, ma podobne brunatne zabarwienie i reaguje z wodą destylowaną czego skutkiem jest powstanie brunatnego osadu, jaki pobserwowany był na nawierzchniach. Jak ustalono w drodze badań ziarna te, w odróżnieniu do pozostałych ziaren reprezentujących ten sam typ petrograficzny jednak o barwie typowej dla skały, charakteryzował znacznie bogatszy inwentarz minerałów pobocznych i akcesorycznych. Należały do nich zawierające żelazo minerały z grupy siarczków, węglanów i tlenków (m.in. piryt, ankeryt, maghemit). Równolegle przedmiot

badan mineralogicznych stanowiły osady powstałe na szalkach Petriego w wyniku oddziaływania wody destylowanej na poszczególne ziarna pozyskane z ognisk wykwitów. Jak ustalono na podstawie badań mikroskopowych (mikroskop optyczny i skaningowy mikroskop elektronowy) oraz badań rentgenowskich, osady zawierały łącznie szesnaście minerałów wtórnych, głównie siarczanów i uwodnionych siarczanów żelaza i wapnia. Stałymi składnikami wszystkich osadów były gips i kornelit. Istotna była również obecność, pełniącego w osadzie rolę pigmentu, brunatnego wodorotlenku żelaza III, który był częstym składnikiem osadów. Połowę ze stwierdzonych minerałów wtórnych (m.in. jarosyt, parabutleryt) również cechowała barwa inna niż biała, a zatem odgrywały one rolę w zabarwianiu wykwitów.

W celu rozpoznania wpływu zjawiska na właściwości użytkowe kruszywa w kolejnym etapie badania skoncentrowano na kruszywach zidentyfikowanych jako źródło ziaren powodujących wykwity na nawierzchni. Kruszywa do badań, tożsame pod względem źródła złożowego, co zastosowane w nawierzchniach, pobrano ze składowisk wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych. W trakcie przygotowywania próbek zauważono, że podobnie jak w przypadku zastosowanych w mieszankach mineralno-asfaltowych, kruszywa: amfibolitowe, dolomitowe, gabrowe ze składowisk wykazały zróżnicowanie w zakresie barwy. Również pewna liczba ziaren reprezentujących jedną z odmian hornfelsu w kruszywie granodiorytowym ze składowiska cechowała się barwą zgodną z barwą ziarna odpowiedzialnego za powstanie wykwitów na nawierzchni. Powyższe obserwacje nasuwają wniosek, że zróżnicowanie barwy w obrębie jednego typu petrograficznego nie jest zjawiskiem incydentalnym, lecz pewną tendencją, której źródeł należy poszukiwać w niejednorodności surowca skalnego. Badania najistotniejszych, z uwagi na rolę warstwy ścierniczej, właściwości kruszyw przeprowadzono na dziesięciu populacjach ziaren wyodrębnionych z czterech rodzajów kruszyw. Zauważono, że w obrębie tego samego typu petrograficznego ziarna przebarwione w stosunku do ziaren o barwie typowej dla skały wykazują m.in.: nieznacznie mniejszą gęstość pozorną, nieznacznie większą nasiąkliwość, zauważalnie większy ubytek masy po dziesięciu cyklach zamrażania w 1% roztworze NaCl (mniejszą mrozoodporność) oraz zauważalnie większy ubytek masy podczas badania odporności na rozdrabnianie (mniejszą odporność). Ponieważ jednak ziarna o brunatnym zabarwieniu stanowiły w przedmiotowych kruszywach od niespełna 1% do ok. 15% masy próbek, należy stwierdzić, że niższe parametry tych populacji nie wpływają istotnie na wyniki oznaczeń uzyskiwanych podczas standardowych badań tych kruszyw (bez rozdzielania na populacje). Na opisany problem należy spojrzeć jednak z perspektywy trwałości poszczególnych ziaren, nie zaś wypadkowych parametrów dla całego kruszywa. Opisane przeobrażenia mineralne sprzyjają eksudacji zaliczanej do procesów wietrzenia fizycznego. Minerale wtórne mające często wielokrotnie większą objętość molową od minerałów pierwotnych stanowiących źródło ich składników, krsztalizując na powierzchni częściowo odsłoniętego z otoczki asfaltowej ziarna kruszywa będą przyspieszać proces oddzielania się ziarna z powierzchni warstwy ścierniczej. W dalszej perspektywie zjawisko to prowadzi do destrukcji ziaren kruszywa, a w konsekwencji może inicjować uszkodzenia warstw ścierniczych mające charakter punktowy lub lokalny. Zasadniczą rolę w przeobrażeniach odgrywają czynniki hipergeniczne charakterystyczne dla nawierzchni drogowych. Do najistotniejszych z nich należą, obok sezonowego zróżnicowania temperatur i promieniowania słonecznego, opady atmosferyczne. Jak pokazują dane z raportów o stanie środowiska dla województw, w których podjęto obserwacje terenowe, pH opadów w latach 2009 do 2013 wahało się w granicach 3,21 a 7,88, a w 53% przypadków dobowych próbek opadów ich pH wyniosło mniej niż 5,6, co kwalifikuje je do tzw. kwaśnych deszczy.

Przeobrażenia mineralne rozpoczynające się już w złożu, trwające w trakcie produkcji i składowania kruszywa oraz dalej w nawierzchni w trakcie jej eksploatacji, w strefie

oddziaływania czynników hipergenicznych, prowadzą do całkowitej degradacji niektórych ziaren. Proces ten nie jest na tyle gwałtowny aby powodowane nim zmiany trwałości ziaren kruszywa ujawniały się podczas badania kruszywa wg standardowych procedur. W trakcie prac terenowych zaobserwowano przypadki degradowania warstwy ścieralnej przebiegającego wg. opisywanego schematu, przy czym należy zwrócić uwagę, że zjawisko to będzie miało zdecydowanie najbardziej szkodliwy wpływ na cienkie warstwy ścieralne (o grubości 15 do 25 mm), gdyż ubytek pojedynczych ziaren może skutkować uszkodzeniem warstwy na całej jej grubości. Z uwagi na stale rosnącą popularność cienkich warstw ścieralnych uzasadniona staje się potrzeba uznania skłonność do przeobrażeń mineralnych za niepożądaną właściwość kruszywa.

Kończącym etapem prac były badania eksperymentalne ukierunkowane na poszukiwanie substancji możliwie wiernie imitującej warunki hipergeniczne pracy kruszywa w nawierzchni (środowisko kwaśne), która aktywowałaby proces przeobrażeń mineralnych prowadzący do powstania brunatnych osadów w możliwie krótkim czasie. Spośród kilkunastu czynników o zróżnicowanym charakterze chemicznym, wyłoniono jedną substancję szczególnie skuteczną pod względem wymagań jej stawianych. Wiedzę tę wykorzystano do zmodyfikowania i uproszczenia znanej w technologii betonu cementowego metody wykrywania skłonności kruszywa do powodowania brunatnych wykwitów. W rezultacie zastosowania ogólnie dostępnego i taniego czynnika, uzyskano metodę sprowadzającą się do prostego testu, możliwego do wykonania w każdym polowym laboratorium na wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych. Skuteczność metody została zweryfikowana podczas badań dziesięciu popularnych kruszyw wykorzystywanych w warstwach ścieralnych. Wynik świadczący o podatności niektórych ziaren na przeobrażenia mineralne wykazały: gabra, dolomit, wapień, hornfels i amfibolit, a zatem kruszywa, których ziarna przejawiały aktywność prowadzącą do powstawania brunatnych wykwitów na obserwowanych nawierzchniach.

Podsumowując można stwierdzić, że:

- brunatne wykwitki są wtórnymi produktami przeobrażeń głównie pobocznych i akcesorycznych minerałów pierwotnych zawierających żelazo,
- przeobrażenia prowadzące do powstawania osadów minerałów wtórnych powodują zmiany właściwości użytkowych kruszywa,
- przemianom mineralnym zachodzącym w strefie oddziaływania czynników hipergenicznych towarzyszy proces eksudacji; zjawisko to powoduje osłabianie adhezji asfaltu do powierzchni ziaren kruszywa oraz ich destrukcję, co w konsekwencji może inicjować uszkodzenia warstw ścieralnych o charakterze lokalnym,
- opisane przeobrażenia mineralne mogą występować we wszystkich rodzajach skał, a co za tym idzie mogą ujawniać się w postaci wykwitów na warstwach ścieralnych nawierzchni dróg wszystkich kategorii oraz klas technicznych, bez względu na obciążenie ruchem oraz rodzaj zastosowanej mieszanki-mineralno-asfaltowej,
- właściwym kierunkiem eliminowania problemu wydaje się profilaktyka polegająca na wykrywaniu partii kruszyw podatnych na tworzenie wykwitów przy użyciu prostych, możliwych do przeprowadzenia w warunkach polowych, oznaczeń chemicznych, z zastosowaniem powszechnie dostępnych czynników.