kruszywo, wypełniacz, wapno

Poradnik drogowo-budowlany

Kraków 2011

Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego
www.wapno-info.pl

kruszywo, wypełniacz, wapno

Poradnik drogowo-budowlany

Kraków 2011

Redakcja:
mgr inż. Konrad Jabłoński
mgr inż. Krzysztof Błażejowski

© Copyright by Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego
Kraków 2011

30-056 Kraków, ul. Toruńska 5
tel. 12 626 18 76, fax 12 626 28 87
e-mail: info@wapno-info.pl
www.wapno-info.pl

ISBN 978-83-925644-4-7

Spis treści

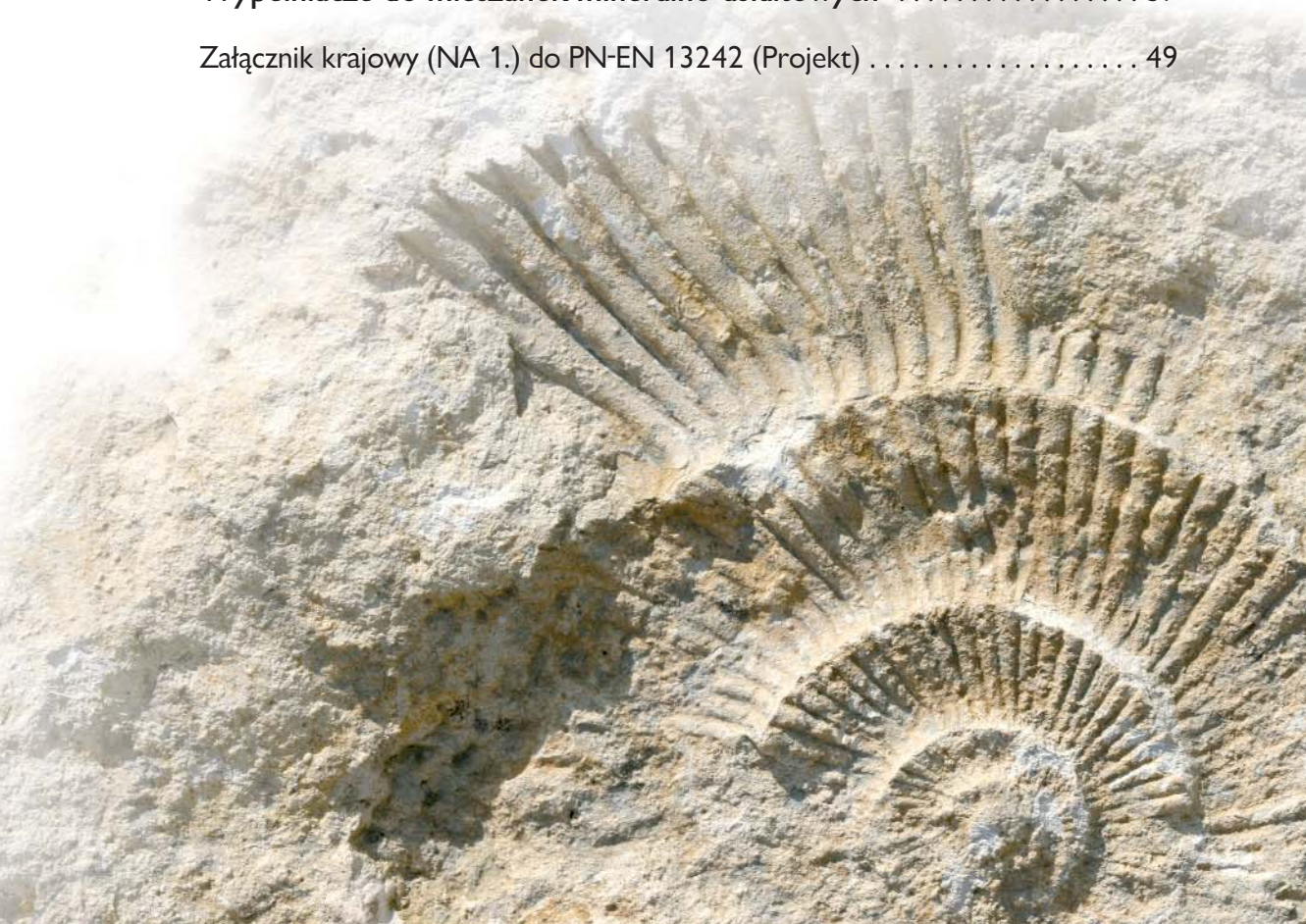
Wstęp 5

Jarosław Majewski, Rafał Pożyczka, Robert Wrzeski
Ulepszanie i stabilizacja gruntów wapnem 6

Marek Iwański
Kruszywo wapienne przeznaczone do materiałów konstrukcyjnych nawierzchni drogowych 14

Wojciech Płaza
Wypełniacze do mieszanek mineralno-asfaltowych 37

Załącznik krajowy (NA 1.) do PN-EN 13242 (Projekt) 49



Wstęp

Od ostatniego wydania „Kruszywo, wypełniacz, wapno. Poradnik drogowca" minęły już 4 lata. Przygotowana w 2007 r. publikacja spełniła swoją rolę informacyjną i edukacyjną w branży drogowej. Jednak technika i normalizacja drogowa nie stoi w miejscu. Zaszło wiele zmian, pojawiły się nowe informacje i wyniki badań. Dziś, w 2011 r., oddajemy do rąk Czytelników kolejną edycję Poradnika Stowarzyszenia Przemysłu Wapienniczego (SPW).

Tak jak w 2007 r., w przedkładanej publikacji Stowarzyszenia Przemysłu Wapienniczego zamieszczono trzy referaty poświęcone materiałom i technologiom związanym z zastosowaniem następujących produktów wapienniczych:

- *wapna* do ulepszania i stabilizacji podłoża gruntowego,
- *kruszyw wapiennych*, łamanych i granulowanych, do warstw podbudowy mineralnej i mieszanek mineralno-asfaltowych,
- *wypełniacza wapiennego* do mieszanek mineralno-asfaltowych.

Wszystkie wymienione materiały stosowane są od wielu lat w krajowym drogownictwie i wydawało by się, że ich znajomość powinna być powszechna. Warto jednak sięgnąć do przedstawianych tekstów, ponieważ zawarte w nich zaktualizowane informacje mogą być przydatne dla każdego. Doświadczony inżynier odświeży swoją wiedzę, a stawiający pierwsze kroki w zawodzie poznają podstawy technologii. Wszystko po to, aby w rzeczywistych warunkach budowy uniknąć problemów.

Prezentowane informacje przedstawiają obecny stan techniki, datowany na koniec roku 2010. Wdrażanie Norm Europejskich trwa w Polsce od kilku lat i choć jest procesem ciągłym, niezakończonym, w coraz większym stopniu wypiera stare Polskie Normy. W związku z tym, w referatach można znaleźć informacje o technologii opisane wg dotychczasowych metod i terminologii (stablizacje), jak i przedstawiające zarówno nowe, jak i stare podejście (kruszywa i wypełniacze). Przejście w sposób kompletny na nowy system norm PN-EN jest procesem trwającym w czasie, stąd i stopniowa ewolucja techniki drogowej odzwierciedlona została w treści publikacji.

Zachęcamy zatem do skorzystania z informacji zawartych w niniejszej publikacji. Mamy nadzieję, że będzie ona pomocna w pracy zawodowej wszystkich odbiorców produktów wapienniczych.

Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego
oraz Redakcja

Jarosław Majewski, Rafał Pożyczka, Robert Wrzeski

Ulepszanie i stabilizacja gruntów wapnem

1. Definicje

- **Ulepszanie gruntu:** proces zmian właściwości gruntu przez użycie spoiwa mający natychmiastowy wpływ na właściwości geotechniczne gruntu (wilgotność, indeks plastyczności).
- **Stabilizacja gruntu:** proces zmian właściwości gruntu przez użycie spoiwa, które znacząco wzmacnia średnio i długoterminowo parametry mechaniczne oraz poprawia w sposób ciągły odporność mechaniczną, szczególnie w aspekcie odporności powstałej mieszanki na działanie wody i mrozu.

2. Ulepszanie i stabilizacja gruntów wapnem

Stabilizacja gruntów przy użyciu **wapna palonego (CaO)** jest jedną z najstarszych form wzmacniania słabego podłoża gruntowego. W Polsce technologia ta znana jest już od lat 50. ubiegłego wieku. Niestety w przeszłości, przy braku odpowiednich maszyn, roboty takie wykonywane były najczęściej sprzętem rolniczym. Tak wzmocnione podłoże tylko teoretycznie spełniało swoje zadanie, przykryte kolejnymi warstwami konstrukcji drogowej często pękało mieszając się z gruntem rodzimym.

Obecnie do mieszania gruntu z wapnem stosuje się maszyny, które potrafią przemieszać grunt nawet do głębokości 50 cm, co w znacznej mierze zrewolucjonizowało sposób prowadzenia robót ziemnych.

3. Technologia

3.1. Przydatność gruntów do stabilizacji lub ulepszenia

Do stabilizacji wapnem nadają się grunty spoiste zawierające minerały ilaste, nie wyłączając bardzo spoistych iłów nawet w stanie miękkoplastycznym oraz żwiry gliniaste, pospółki gliniaste, gliny piaszczyste, piaski gliniaste, lessy i pyły (Pachowski, Skarżyński, 1961). Wapno palone (CaO) mielone może być stosowane również do stabilizacji lub ulepszania gruntów kwaśnych oraz o wilgotności znacznie wyższej od optymalnej.

Wzmacnianie jest najbardziej efektywne dla gruntów spoistych o wskaźniku plastyczności Ip > 10% i zawartości frakcji iłowej (<0,002mm) ponad 7%. Nieprzydatne są natomiast grunty o zawartości części organicznych powyżej 10%. Nie nadają się również

piaski, a w szczególności piaski równoziarniste oraz grunty o zawartości frakcji kamienistej powyżej 15% ze względu na utrudnione mieszanie.

Wymagania wobec gruntów przeznaczonych do stabilizacji wapnem wg PN-S-96011 przedstawia Tablica 1.

Tablica 1. Wymagania wobec gruntów

Właściwości	Wymagania
Wskaźnik plastyczności, (%) (m/m), nie mniej niż	7
Zawartość ziaren większych od # 40 mm, % (m/m), nie więcej niż	15
Zawartość części organicznych, % (m/m), nie więcej niż	10
Wskaźnik piaskowy WP, nie więcej niż	30

3.2. Podstawy fizykochemiczne procesu wapnowania

Podczas stabilizacji w mieszance wapienno-gruntowej zachodzą reakcję pucolanowe, tworząc związki o właściwościach hydraulicznych. Procesy powstawania i krystalizacji hydratów krzemianów wapnia, jak również powstawanie węglanu wapnia przy wiązaniu przez wodorotlenek wapnia dwutlenku węgla z powietrza, powodują powstanie trwałej struktury wapienno-gruntowej. Dodatek wapna do gruntu zmienia jego wilgotność optymalną.

Proces wapnowania bazuje na:

- reakcji egzotermicznej hydratacji tlenku wapnia

CaO	+	H_2O	$\longrightarrow$	$Ca(OH)_2$	+	1,140 kJ / kg CaO
(wapno palone)	+	(woda)	$\longrightarrow$	(wapno hydratyzowane)	+	(ciepło)

W rezultacie następuje

- osuszanie wilgotnych gruntów *(1% CaO redukuje zawartość wody od 0,8 do 1,4 %)*,
- granica plastyczności wzrasta,
- wskaźnik plastyczności ulega zawężeniu,
- wilgotność optymalna wzrasta wraz z granicami konsystencji,
- CBR gruntu ulega znaczącej poprawie, natomiast IP rośnie niemal dwukrotnie.

Tlenek wapnia (CaO), wprowadzony do wilgotnego gruntu, silnie reaguje ze znajdującą się w nim wodą. W procesie tym, zwanym hydratacją, wydzielają się duże ilości ciepła, co dodatkowo wpływa na proces osuszania. Następnie w procesie karbonizacji wodorotlenku wapnia $Ca(OH)_2$ zachodzą reakcje jonowowymienne ze znajdującymi się w gruncie minerałami ilastymi, aż do utworzenia się wstępnej fazy CSH. Wapno poprawia przez to parametry gruntu m.in.: przesusza grunt, obniża jego plastyczność oraz prowadzi w końcowym efekcie do jego wzmocnienia. Na wykonanym zgodnie z wymaganiami

określonymi w Tablicach 1 i 2 normy PN-S-96011:1998 ulepszonym podłożu, możemy układać kolejne warstwy konstrukcji nawierzchni.

W przypadku ulepszania gruntów na terenach silnie zurbanizowanych, gdzie koniecznym staje się ograniczenie pylenia podczas rozładunku, rozścielania i mieszania spoiw niezbędnym stało się stosowanie produktów o obniżonej pylności. Mając to na względzie przemysł wapienniczy opracował produkt o zmniejszonej pylności w porównaniu do tradycyjnych spoiw sypkich stosowanych do ulepszania gruntów. Produkt ten jest zgodny z normą PN-S-96011 i ogólnymi specyfikacjami technicznymi dotyczącymi wapna do stabilizacji gruntów, spełniając aktualne wymagania dotyczące składu chemicznego i całkowitej zawartości tlenków.

Dodatek spoiwa wapiennego do gruntu w ilości 1-5% i właściwe zagęszczenie mieszanki powoduje wzrost wytrzymałości na ściskanie stabilizowanego gruntu, a przez to zwiększenie jego nośności.

Wyjątkowo można stosować **wapno hydratyzowane ($Ca(OH)_2$)**. Jego działanie jest jednak pozbawione najczęściej poszukiwanego efektu osuszania zbyt plastycznego gruntu, co uzyskuje się wapnem palonym (CaO). Woda (H_2O), którą wapno palone wiąże chemicznie, dodawana jest do gruntu jako składnik wapna hydratyzowanego. Ulepszana wapnem hydratyzowanym glina ulega flokulacji i dalsze procesy wiązania następują już identycznie.

3.3. Technologia wykonywania stabilizacji nawierzchni wapnem

Dobór rodzaju i ilości wapna

Działanie wapna dzielimy ze względu na szybkość reakcji na:

a. *działanie natychmiastowe*, które następuje natychmiast po wymieszaniu z gruntem (dotyczy stanu wilgotnościowego gruntu i w dalszym działaniu właściwości gliniastych gruntu),
b. *działanie w czasie*, które następuje po kilku miesiącach, a nawet wielu latach po wbudowaniu gruntu ulepszanego / stabilizowanego wapnem.

Skład mieszanki zależy od rodzaju gruntu i wapna oraz jej przeznaczenia. Ilość dozowanego wapna i wody powinna być każdorazowo ustalona laboratoryjnie w stosunku do masy gruntu suchego. Orientacyjny dodatek wapna (CaO) do gruntu w zależności od przeznaczenia mieszanek można przyjąć w granicach:

- dla górnej warstwy ulepszonego podłoża drogi: 1÷3%,
- na dolną warstwę podbudowy dla dróg o ruchu lekkim: 2÷4%,
- do wstępnego osuszania gruntów przeznaczonych do dalszej stabilizacji lub do wbudowania w nasyp poniżej 1,0 m (dolne warstwy ulepszonego podłoża): 2÷4%.
- w przypadku ulepszania gruntów wysadzinowych w strefie przemarzania, zaleca się nie przekraczanie dozowania 4% wapna palonego (CaO).

Oczywiście, ostatecznym kryterium są wymagania nośności dla danego typu nawierzchni określane modułem E2 i E0.

Wymagania wobec gruntów poddanych stabilizacji

Wymagania wobec gruntów poddanych stabilizacji samym wapnem to kryteria nośności typu nawierzchni określane modułem E2 i E0. Traktować je więc należy wg kryteriów dla górnej warstwy robót ziemnych.

Wymagania wobec gruntów poddanych stabilizacji wapnem i cementem można przyjmować wg PN-S-96012:1997, przy czym dolne warstwy R_m = 2,5 MPa, górne R_m = 5,0 MPa. Często dobrze jest założyć, że rzeczywista wytrzymałość na ściskanie będzie sytuowała się bliżej dolnej granicy wg (PN-S-96012:1997).

Tablica 2. Wymagania wobec gruntów (zawartość cementu)

Kategoria ruchu	Maksymalna zawartość cementu w stosunku do masy suchego gruntu		
	podbudowa zasadnicza	podbudowa pomocnicza	ulepszone podłoże
KR 4-6	6	6	8
KR 1-3	8	10	10

Tablica 3. Wymagania wobec gruntów (wytrzymałość na ściskanie, mrozoodporność)

Rodzaj warstwy w konstrukcji nawierzchni drogowej	Wytrzymałość na ściskanie próbek nasyconych wodą		Wskaźnik mrozo-odporności
	R_7	R_{28}	
Podbudowa zasadnicza nawierzchni drogowej obciążonej ruchem kategorii KR1 lub podbudowa pomocnicza nawierzchni drogowej obciążonej ruchem kategorii KR2-KR6	1,6÷2,2 MPa	2,5÷5 MPa	0,7
Górna część warstwy ulepszonego podłoża gruntowego o grubości co najmniej 10 cm w przypadku budowy nawierzchni dróg obciążonych ruchem kategorii KR5-KR6 lub górna część warstwy ulepszenia słabego podłoża z gruntów wątpliwych oraz wysadzinowych	1÷1,6 MPa	1,5÷2,5 MPa	0,6
Dolna część warstwy ulepszonego podłoża gruntowego w przypadku posadowienia konstrukcji nawierzchni na podłożu z gruntów wrażliwych na działanie mrozu i wody (wątpliwych oraz wysadzinowych)	–	0,5÷1,5 MPa	0,6

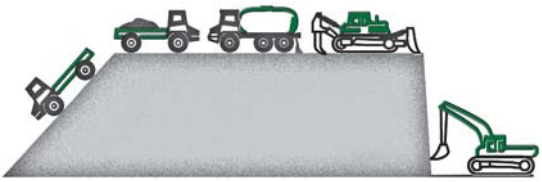
W zależności od sprzętu wykonuje się badania wytrzymałości na ściskanie R lub badanie wskaźnika nośności CBR. Dodatkowo zaleca się określić wskaźnik piaskowy WP po rozkruszeniu gruntu stabilizowanego i przesianiu przez sito #2 mm i kapilarność bierną K_b. Dla gruntów ulepszonych lub stabilizowanych wapnem i rozkruszonych po 28 dniach pielęgnacji materiału przesianego przez sito #2 mm wskaźnik piaskowy WP powinien wynosić ≥ 35, a kapilarność bierna $K_b \leq 1{,}0$ m.

Podbudowy z gruntów stabilizowanych spoiwami (wapno)

Roboty wstępne można podzielić na następujące czynności:

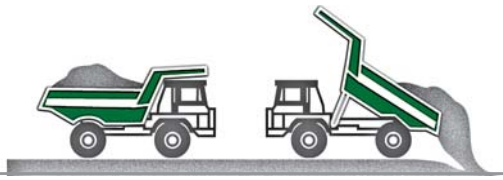
Przygotowanie*
Selekcja gruntów, oczyszczenie (na przykład z kamieni, korzeni, itp.), ujednorodnienie i ewentualny dodatek wody.

* ta czynność nie zawsze jest potrzebną, jej konieczność zależy od konkretnych warunków danej budowy.



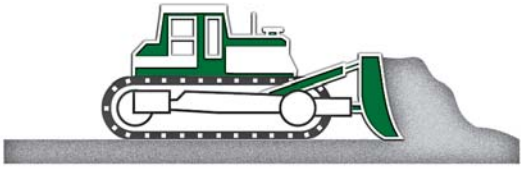
Rozłożenie** warstwy materiału

** operacja ta dotyczy przypadku, gdy warstwa stabilizowana znajduje się w nasypie lub jest drugą warstwą stabilizowaną.



Wyrównanie*
Polega na rozłożeniu dowiezionego z odkładu materiału lub na wyrównaniu granicy robót ziemnych (w przypadku pierwszej warstwy stabilizowanej w wykopie i konieczności korekt powierzchni robót ziemnych).

* ta czynność nie zawsze jest potrzebną, jej konieczność zależy od konkretnych warunków danej budowy.



Zamknięcie* warstwy (lekkie zagęszczenie),
Ta czynność jest zawsze konieczną, gdy dowozi się materiał w stanie „nieulepszonym" w miejsce warstwy podbudowy zasadniczej.

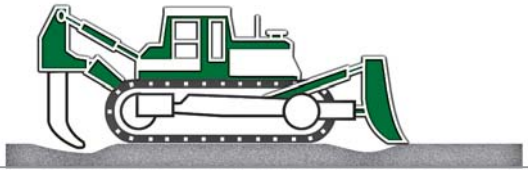
* ta czynność nie zawsze jest potrzebną, jej konieczność zależy od konkretnych warunków danej budowy.

Kolejne czynności stabilizacji wapnem:

Wyrównanie wstępne (rzędna uwzględniająca współczynnik spulchnienia). W przypadku dowozu spulchnionego materiału (gruntu) należy określić współczynnik spulchnienia. W praktyce grubość rozkładanego materiału wynosi 1,1÷1,25 grubości materiału po zagęszczeniu.

Odspojenie* warstwy

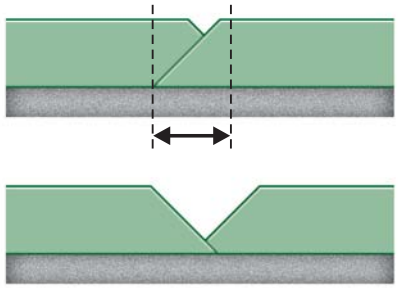
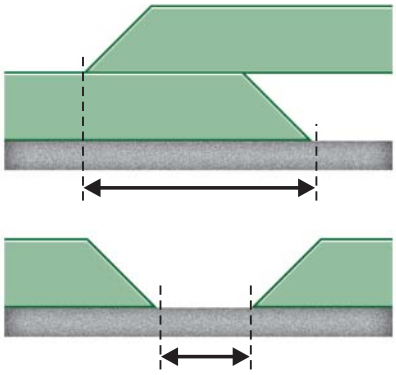
* ta czynność nie zawsze jest potrzebną, jej konieczność zależy od konkretnych warunków danej budowy.



Rozkładanie spoiwa
Wapno dowozi się na plac budowy luzem.
Ze względu na pylenie wapna palonego, należy je rozkładać maszynowo przy bezwietrznej pogodzie (o ile to możliwe).
Równomierność rozkładania spoiwa (wapna palonego lub cementu) warunkuje jakość stabilizacji. Należy sprawdzać dokładnie ilość rozłożonego spoiwa na 1 m^2 wg receptury wykonawczej.
Często, że względu na pylenie (rozwiewanie) konieczna jest poprawka zwiększająca w ustawieniu maszyny, jednak do gruntu przed mieszaniem musi trafić założona ilość spoiwa. Stosowanie nowoczesnych maszyn do rozkładania spoiwa pozwala praktycznie wyeliminować ten problem.

UWAGA 1: Należy starać się prawidłowo i dokładnie dozować wapno.

UWAGA 2: Szczególną uwagę należy zwrócić na połączenia płaszczyzn rozścielania spoiwa i nie dopuszczać do przerw lub nakładek podwajających dozowanie.

Połączenia prawidłowe	Połączenia niedopuszczalne
	

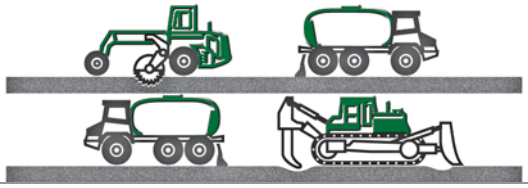
Nawet wielokrotne mieszanie nie jest w stanie zniwelować niedokładności rozłożenia spoiwa.

Mieszanie gruntu ze spoiwem
Po rozłożeniu założonej ilości wapna, grunt wraz z nim należy przemieszać do uzyskania mieszanki o jednolitej barwie, bez smug i plam na całej głębokości warstwy stabilizowanej. Kontrola jakości wymieszania polega na ocenie wizualnej. Występowanie grud otoczonych spoiwem świadczy o złym przemieszaniu. Stopień wymieszania zależy od ilości przejść maszyny (przeważnie wystarcza jedno) i od jej prędkości roboczej. Należy oceniać stopień przemieszania (wystąpienie dużych grud bez spoiwa wymaga ponownego przemieszania) i sprawdzać grubość stabilizowanej warstwy gruntu rodzimego (uwaga na współczynnik spulchnienia).

Należy sprawdzać przemieszanie i grubość warstw w trudno dostępnych dla maszyn narożnikach stabilizowanych obszarów. Powszechnie stosowanym zabiegiem jest zasypywanie tych miejsc gruntem już wymieszanym ze spoiwem w innym miejscu.

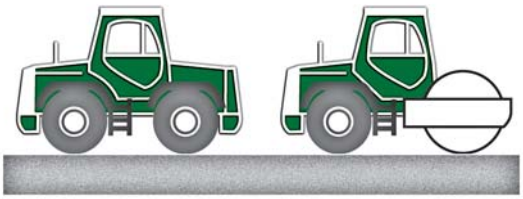
Regulacja wilgotności*
W czasie mieszania w razie potrzeby uzupełnia się ilość wody dla uzyskania wilgotności optymalnej.

* ta czynność nie zawsze jest potrzebna, jej konieczność zależy od konkretnych warunków danej budowy.

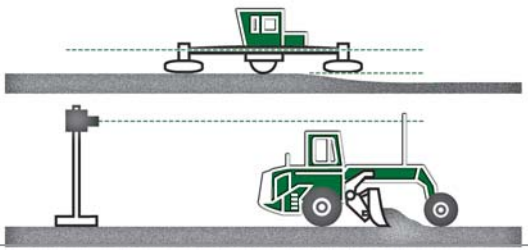


Zagęszczenie częściowe
Mieszankę należy zagęścić walcem ogumionym lub wibracyjnym do uzyskania wymaganego stopnia zagęszczenia (około 80% energii potrzebnej do zagęszczenia ostatecznego).

Zagęszczenie ostateczne
Mieszankę należy zagęści walcem ogumionym lub wibracyjnym do uzyskania wymaganego stopnia zagęszczenia (wg PN wskaźnik zagęszczenia ostatniej warstwy powinien wynosić 1.00 lub 1.03).



Wyrównanie dokładne
Tolerancje określają Polskie Normy, jednak w interesie wykonawcy jest uzyskanie większej dokładności rzędnych górnej warstwy stabilizacji. Wyrównanie grysem powierzchniowego utrwalenia lub warstwą wiążącą na pewno będzie kosztowniejsze.



Rozłożenie grubego grysu* 16/20 mm
Ten zabieg jest stosowany wyłącznie w przypadku używania części (lub całości) wykonanej warstwy jako drogi technologicznej czasie budowy. Prawie zawsze dotyczy to autostrad lub dróg. W przypadku platform parkingów, ten zabieg nie jest potrzebny.

* ta czynność nie zawsze jest potrzebna, jej konieczność zależy od konkretnych warunków danej budowy.

Zabezpieczenie powierzchni
(warstwa pielęgnacyjna / powierzchniowe utrwalenie lepiszcze-grys). W okresie twardnienia, warstwa gruntu stabilizowanego powinna być pielęgnowana przez posypanie piaskiem i polewanie wodą lub przez spryskanie emulsją asfaltową i posypanie żwirem lub piaskiem. Projekt przewiduje wykonanie powierzchniowego utrwalenia na górnych warstwach stabilizacji, co między innymi zastępuje pielęgnację i polewanie wodą. Przed nałożeniem materiału drugiej warstwy stabilizowanej, już wykonaną dolną należy zwilżyć unikając nadmiaru wody. Należy dążyć do sytuacji, w której nałożenie górnej warstwy nastąpi przed odparowaniem wody z pielęgnacji.

Prof. nadzw. dr hab. inż. Marek Iwański
Politechnika Świętokrzyska w Kielcach

Kruszywo wapienne przeznaczone do materiałów konstrukcyjnych nawierzchni drogowych

1. Definicje i podział surowca skalnego

Surowcem skalnym do produkcji kruszywa wapiennego są skały pochodzenia osadowego – organicznego, które powstały w wyniku obumarcia organizmów żywych przed milionami lat. W wyniku oddziaływania ciśnienia warstw wyżej położonych jak również masy wody nastąpiła konsolidacja oraz twardnienie tych cząstek organicznych i wyniku tego procesu powstały wapienie oraz dolomity.

Głównym składnikiem mineralnym skał osadowych organicznych są węglany występujące w postaci kalcytu (węglan wapnia) $CaCO_3$, magnezytu $MgCO_3$ i syderytu $FeCO_3$. Największe jednak znaczenie jako minerały skałotwórcze mają kalcyt i dolomit, które wpływają na właściwości fizykomechaniczne skały.

Wapienie w swoim składzie zawierają prawie tylko węglan wapnia. Wytrzymałość wapieni na ściskanie wynosi 10÷200 MPa. Są to więc skały od bardzo miękkich do dość twardych (do 3 wg skali Mohsa). W związku z tym można otrzymywać z nich kruszywo do celów drogowych o zróżnicowanych parametrach jakościowych [1].

Skały wapienne występują w różnych odmianach, z których najważniejszymi są:

- **wapień zbity** – charakteryzujący się jednolitą masą bez widocznego uziarnienia; koloru białego, szarego lub żółtego o przełomie muszlowym. Wapienie o barwie ciemnej zabarwione są dodatkami substancji organicznych,
- **wapień skalisty** – zbliżony jest wyglądem do wapienia żółtego, lecz jest on znacznie twardszy, ponieważ zawiera dodatek krzemionki. Czasami tego rodzaju wapienie błędnie nazywane są również marmurami.

Istotnym czynnikiem wpływającym na właściwości skał wapiennych jest okres geologiczny w którym one się formowały. **Wapienie jurajskie jako młodsze zaliczane są do skał miękkich a wapienie wykształcone w dewonie do skał bardziej twardych,** znacznie bardziej wytrzymałych na ściskanie.

W przypadku kiedy oprócz węglanu wapnia w skale występuje również węglan magnezu tworzy się dolomit. Jest to skała o twardości około 4 wg Mohsa, czyli bardziej twarda niż wapienie. Dolomity są na ogół skałami uwarstwionymi o barwie białej lub żółtej, a czasami również brunatnej.

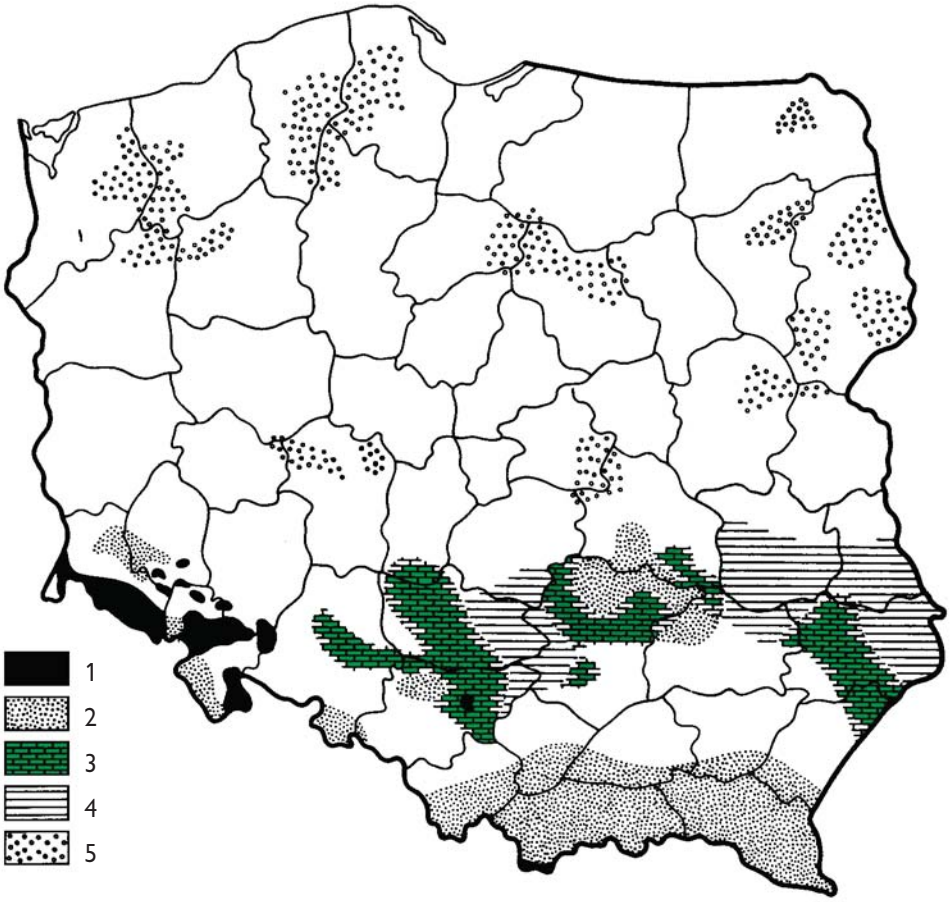
Rozróżnienie skały wapiennej od dolomitowej można przeprowadzić w następujący sposób: wapień reaguje z rozcieńczonym kwasem solnym lub octowym na zimno, w przypadku dolomitu, kwas burzy się dopiero gwałtownie pod wpływem działania na ogrzany

kamień. W ten sposób można łatwo odróżnić wapień dolomityczny o ciemnej barwie czy też dolomit ciemny od bazaltu, który nie reaguje z tymi kwasami.

W zależności od zawartości węglanu wapnia i magnezu skała dolomitowa nosi nazwę [2]:

- dolomit 5÷10% $CaCO_3 + MgCO_3$
- dolomit wapnisty 10÷25% $CaCO_3 + MgCO_3$
- dolomit wapienny 25÷50% $CaCO_3 + MgCO_3$
- wapień dolomitowy 50÷75% $CaCO_3 + MgCO_3$
- wapień dolomityczny 75÷95% $CaCO_3 + MgCO_3$

Wapienie i dolomity są skałami, które występują przede wszystkim w Górach Świętokrzyskich, na obszarze śląsko-krakowskim, w paśmie krakowsko-wieluńskim, w Karpatach oraz na Dolnym Śląsku (rys. 1) [3]. Lokalne niewielkie złoża występują również na terenie Pomorza i Wielkopolski.

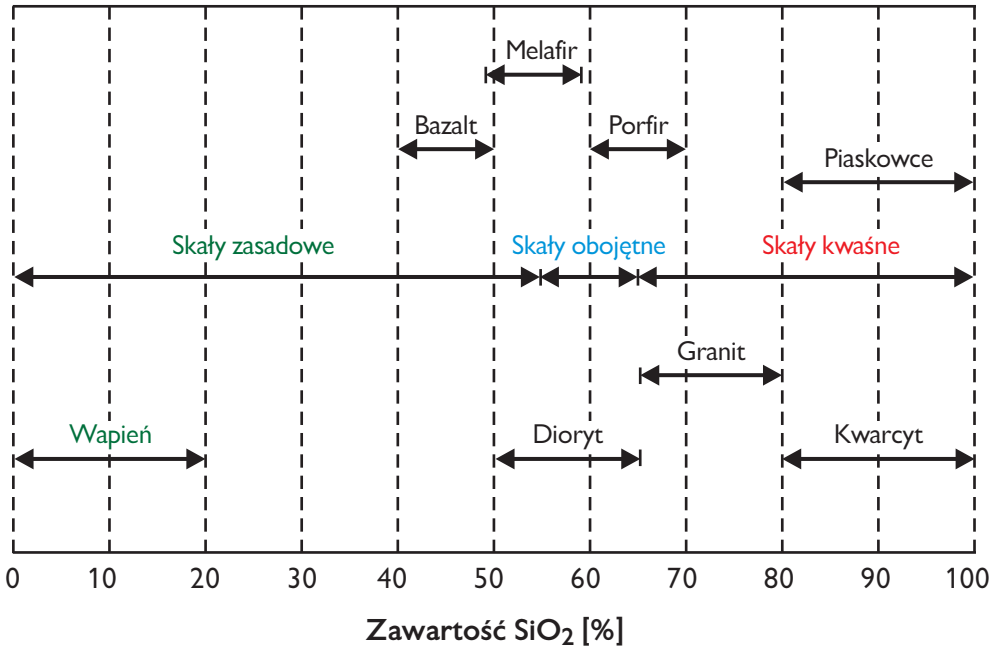


Rys. 1. Rozmieszczenie materiałów kamiennych na terenie Polski [3]
1 - skały magmowe, 2 – piaskowce, 3 – wapienie, 4 – margle, 5 – głazy narzutowe

2. Technologia i zastosowanie

Kruszywo wapienne pochodzące z przeróbki materiału skalnego produkowane jest w różnym asortymencie, jako grube, drobne lubo ciągłym uziarnieniu o różnym uziarnieniu od najmniejszego – piasku łamanego do najgrubszego 16/31,5 mm oraz jako mieszaka kruszywa stabilizowanego mechanicznie. Oczywiście należy jeszcze raz podkreślić, że odpowiedniej jakości kruszywo pozyskiwane jest z wapieni o wysokich parametrach fizykomechanicznych.

Cechą bardzo korzystną kruszywa wapiennego jest jego wysoka zasadowość, wynikająca z dużej zawartości węglanu wapnia $CaCO_3$ i minimalnej ilości krzemionki SiO_2 (rys. 2). W związku z tym kruszywo wapienne wykazuje bardzo dobre powinowactwo z asfaltem. Jest to ważne nie tylko w przypadku, kiedy stosowane jest do betonu asfaltowego przeznaczanego na warstwę ścieralną, ale również do niższej położonych warstw nawierzchni drogi. Potwierdzają to praktyczne doświadczenia powszechnie wykonywanych w województwie świętokrzyskim warstw ścieralnych nawierzchni dróg obciążonych ruchem KR 1-2, które budowane są od początku wdrażania technologii mieszanek mineralno-bitumicznych na gorąco w Polsce, tj. od początku lat 60. XX wieku.



Rys. 2. Klasyfikacja skał ze względu na zawartość krzemionki

Właściwości fizykomechaniczne kruszywa pozyskiwanego ze skał wapiennych pozwalają na szerokie jego wykorzystanie do mieszanek mineralno-asfaltowych, z uwzględ-

nieniem jednak pewnych ograniczeń, wynikających z odporności tego kruszywa na proces ścierania i polerowania.

Podsumowując, kruszywo wapienne może być zastosowane w następujących technologiach:

- podbudowy niezwiązane, stabilizowane mechanicznie,
- podbudowy związane spoiwami hydraulicznymi,
- podbudowy związane lepiszczami asfaltowymi – mieszanki betonu asfaltowego,
- warstwy wiążące z betonu asfaltowego,
- warstwy ścieralne z betonu asfaltowego, przeznaczone na nawierzchnie obciążone ruchem KR 1-2.

3. Wymagania wobec kruszyw

3.1. Okres przejściowy w normalizacji

W latach 2004-2007 w dziedzinie wymagań wobec kruszyw do nawierzchni drogowych, w Polsce nałożyły się na siebie wymagania związane z nowymi Normami Europejskimi oraz równolegle funkcjonującymi zapisami starych (wycofanych) Norm Polskich.

W celu wdrożenia do praktyki drogowej systematyki normy PN-EN niezbędne było opracowanie szczegółowych wymagań, które zostały zatwierdzone dopiero pod koniec 2008 roku jako Wymagania Techniczne pt. *Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utrwaleń na drogach publicznych. WT-1 Kruszywa*. Ze względu jednak na długi okres procesu inwestycyjnego w drogownictwie trwający kilka lat, od rozpoczęcia prac projektowych do wykonawstwa, w dniu aktualizacji niniejszego tekstu tylko na nieznacznej części nowo wybudowanych dróg warstwy konstrukcyjne wykonano zgodnie z tymi wymaganiami. Przy wykonawstwie przeważającej ilości dróg stosowano natomiast wymagania dotyczące kruszywa zgodnie z zasadami zawartymi w wycofanych ze zbioru Polskich Norm serii norm PN-B-11111, PN-B-11112 i PN-B-11113.

Skała wapienna, z której pozyskiwane jest kruszywo do celów drogowych, charakteryzuje się wytrzymałością od 100 do 140 MPa. Produkowane więc z niego kruszywo łamane granulowane posiada wszystkie parametry klasy I (wg PN-B-11112) [8], jedynie ścieralność w bębnie Los Angeles lokuje go w klasie II, ponieważ waha się ona od 25% do 30% ubytku po całkowitej liczbie obrotów.

Zgodnie z wycofaną w 2008 r. normą PN-S-96025:2000 [9] w przypadku nawierzchni obciążonych ruchem KR 1-2 można było stosować kruszywo wapienne do betonu asfaltowego przeznaczonego na wszystkie warstwy konstrukcyjne, zarówno jako kruszywo łamane lub granulowane. Natomiast w przypadku konstrukcji nawierzchni odciążonych ruchem KR 3-6 kruszywo wapienne łamane zwykłe i granulowane można było wykorzystywać do betonu asfaltowego przeznaczonego na podbudowę, a na warstwę wyrównawczą (wzmacniającą wiążącą) stosowano tylko kruszywo łamane granulowane (Tablica 1).

Tablica 1. Wymagania dla kruszywa z materiału skalnego do betonu asfaltowego [9]

Rodzaj warstwy konstrukcyjnej	Kategoria ruchu			
	KR 1-2		KR 3-6	
	Kruszywo łamane			
	granulowane	zwykłe	granulowane	zwykłe
Ścieralna	kl. I, II; gat. 1, 2	kl. I, II; gat. 1, 2	kl. I, II [1]; gat. 1, 2 - A jw. [2] - B	–
Wiążąca, wyrównawcza, wzmacniająca	kl. I, II; gat. 1, 2	kl. I, II; gat. 1, 2	kl. I, II [1]; gat. 1, 2	–
Podbudowa	kl. I, II, III; gat. 1, 2	kl. I, II, III; gat. 1, 2	kl. I, II; gat. 1, 2	kl. I, II; gat. 1, 2

[1] Tylko pod względem ścieralności w bębnie kulowym, pozostałe cechy jak dla kl. I; gat. 1.
[2] Tylko dolomity kl. I; gat. 1 w ilości ≤ 50% *(m/m)* we frakcji grysowej w mieszance z innymi kruszywami, w ilości ≤ 100% *(m/m)* we frakcji piaskowej oraz kwarcyty i piaskowce bez ograniczenia ilościowego,
A – ze skał magmowych i przeobrażonych,
B – ze skał osadowych.

3.2. Stan obecny

W 2008 roku zostały zatwierdzone przez Ministra Infrastruktury wymagania techniczne dotyczące kruszywa [13] i mieszanek mineralno-asfaltowych [14] przeznaczonych do stosowania w drogownictwie. Natomiast w 2010 roku w strukturze dróg krajowych wprowadzono Wymagania Techniczne pt. *Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. WT-2 2010. Mieszanki mineralno-asfaltowe* [15] oraz Wymagania Techniczne pt. *Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utrwaleń na drogach krajowych. WT-1 2010* [16]. Zgodnie z tymi wymaganiami kruszywo wapienne grube można stosować do podbudowy z betonu asfaltowego dla kategorii dróg KR 1-6 oraz warstwy wiążącej, wyrównawczej i wzmacniającej z betonu asfaltowego. Zasadnicze wymagania dla kruszywa grubego w tym zakresie przedstawiono w Tablicy 2.

Należy również zaznaczyć, że kruszywo wapienne grube może być stosowane do podbudowy i warstwy wiążącej wykonywanej z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS, ponieważ wymagania w zakresie kruszywa do tego rodzaju betonu asfaltowego są takie same jak do tradycyjnego betonu asfaltowego AC [14]. Istotną różnicą jest natomiast zastosowanie twardego lepiszcza asfaltowego w betonie asfaltowym AC WMS.

Tablica 2. Wybrane właściwości kruszywa grubego do betonu asfaltowego AC wg WT-1 2010 [16]

Właściwości kruszywa	**Wymagania w zależności od kategorii ruchu**		
	KR 1-2	**KR 3-4**	**KR 5-6**
	Podbudowa		
Uziarnienie wg PN-EN 933-1, kategoria nie niższa niż	$G_c85/20$	$G_c85/20$	$G_c85/20$
Tolerancja uziarnienia, odchylenia nie większe niż wg kategorii	$G_{20/17,5}$	$G_{20/17,5}$	$G_{20/17,5}$
Zawartość pyłu wg PN-EN 933-1, kategoria nie wyższa niż	f_2		
Kształt kruszywa wg PN-EN 933-3 lub wg PN-EN 933-4, kategoria nie wyższa niż	FI_{50} lub SI_{50}	FI_{30} lub SI_{30}	FI_{30} lub SI_{30}
Procentowa zawartość ziaren o powierzchni przekruszonej i łamanej wg PN-EN 933-5, kategoria nie niższa niż	$C_{Deklarowana}$	$C_{50/30}$	$C_{50/30}$
Odporność kruszywa na rozdrabnianie wg PN-EN 1097-2, kategoria nie wyższa niż	LA_{50}	LA_{40}	LA_{40}
Nasiąkliwość według PN-EN 1097-6, rozdz. 7, 8 lub 9	$WA_{24\,Deklarowana}$		
Mrozoodporność wg PN-EN 1367-1, kategoria nie wyższa niż	F_4		
	Warstwa wiążąca		
Uziarnienie wg PN-EN 933-1, kategoria nie niższa niż	$G_c85/20$	$G_c85/20$	$G_c85/20$
Tolerancja uziarnienia, odchylenia nie większe niż wg kategorii	$G_{20/17,5}$	$G_{20/15}$	$G_{20/15}$
Zawartość pyłu wg PN-EN 933-1, kategoria nie wyższa niż	f_2		
Kształt kruszywa wg PN-EN 933-3 lub wg PN-EN 933-4, kategoria nie wyższa niż	FI_{35} lub SI_{35}	FI_{25} lub SI_{25}	FI_{25} lub SI_{25}
Procentowa zawartość ziaren o powierzchni przekruszonej i łamanej wg PN-EN 933-5, kategoria nie niższa niż	$C_{Deklarowana}$	$C_{50/10}$	$C_{50/10}$
Odporność kruszywa na rozdrabnianie wg PN-EN 1097-2, kategoria nie wyższa niż	LA_{35}	LA_{30}	LA_{30}
Nasiąkliwość według PN-EN 1097-6, rozdz. 7, 8 lub 9	$WA_{24\,Deklarowana}$		
Mrozoodporność wg PN-EN 1367-1, kategoria nie wyższa niż	F_2		

Natomiast kruszywo wapienne grube można stosować jedynie do warstwy ścieralnej wykonywanej z betonu asfaltowego, mieszanki SMA i BBTM dla dróg kategorii KR 1-2. Zasadnicze wymagania dla kruszywa grubego w tym zakresie przedstawiono w Tablicy 3.

Tablica 3. Wybrane właściwości kruszywa grubego do warstwy ścieralnej z betonu asfaltowego AC oraz SMA i BBTM wg WT-1 2010 [16]

Właściwości kruszywa	Wymagania w zależności od kategorii ruchu		
	KR 1-2	KR 3-4	KR 5-6
	Beton asfaltowy AC		
Uziarnienie wg PN-EN 933-1, kategoria nie niższa niż * D/d < 4	$G_c85/20$*	$G_c90/20$*	$G_c90/15$*
Tolerancja uziarnienia, odchylenia nie większe niż wg kategorii	$G_{20/15}$	$G_{25/15}$	$G_{25/15}$
Zawartość pyłu wg PN-EN 933-1, kategoria nie wyższa niż	f_2		
Kształt kruszywa wg PN-EN 933-3 lub wg PN-EN 933-4, kategoria nie wyższa niż	FI_{25} lub SI_{25}	FI_{20} lub SI_{20}	FI_{20} lub SI_{20}
Procentowa zawartość ziaren o powierzchni przekruszonej i łamanej wg PN-EN 933-5, kategoria nie niższa niż	$C_{Deklarowana}$	$C_{95/1}$	$C_{95/1}$
Odporność kruszywa na rozdrabnianie wg PN-EN 1097-2, kategoria nie wyższa niż	LA_{30}	LA_{30}	LA_{25}
Odporność na polerowanie kruszywa wg PN-EN 1097-8, kategoria nie niższa niż	$PSV_{Deklarowana}$	$PSV_{Deklarowana(48)}$	PSV_{50}
Nasiąkliwość według PN-EN 1097-6, rozdz. 7, 8 lub 9	$WA_{24\,Deklarowana}$		
Mrozoodporność wg PN-EN 1367-1, załącznik B, w 1% NaCl, kategoria nie wyższa niż	$F_{NaCl}7$		
	SMA i BBTM		
Uziarnienie wg PN-EN 933-1, kategoria nie niższa niż	$G_c85/20$	$G_c90/15$	$G_c90/15$
Tolerancja uziarnienia, odchylenia nie większe niż wg kategorii	$G_{20/15}$	$G_{25/15}$	$G_{25/15}$
Zawartość pyłu wg PN-EN 933-1, kategoria nie wyższa niż	f_2		
Kształt kruszywa wg PN-EN 933-3 lub wg PN-EN 933-4, kategoria nie wyższa niż	FI_{25} lub SI_{25}	FI_{20} lub SI_{20}	FI_{20} lub SI_{20}
Procentowa zawartość ziaren o powierzchni przekruszonej i łamanej wg PN-EN 933-5, kategoria nie niższa niż	$C_{Deklarowana}$	$C_{100/0}$	$C_{100/0}$
Odporność kruszywa na rozdrabnianie wg PN-EN 1097-2, kategoria nie wyższa niż	LA_{30}	LA_{30}	LA_{25}

Odporność na polerowanie kruszywa wg PN-EN 1097-8, kategoria nie niższa niż	$PSV_{Deklarowana}$	$PSV_{Deklarowana(48)}$	PSV_{50}
Nasiąkliwość według PN-EN 1097-6, rozdz. 7, 8 lub 9	$WA_{24\,Deklarowana}$		
Mrozoodporność wg PN-EN 1367-1, załącznik B, w 1% NaCl, kategoria nie wyższa niż	$F_{NaCl}7$		

Jak wynika z wymagań stawianych kruszywu przeznaczonemu do betonu asfaltowego AC czy też do mieszanki SMA lub BBTM, z których wykonuje się warstwę ścieralną nawierzchni obciążonych ruchem KR 3-6, można je stosować jedynie wówczas, kiedy jest kruszywem twardym, charakteryzuje się dużą odporności na ścieranie LA20 lub LA25.

Dodatkowo kruszywo przeznaczone do warstwy ścieralnej nawierzchni dróg obciążonych ruchem KR 3-6 powinno charakteryzować się wysoką odpornością na proces polerowania pod ruchem, a wartość wskaźnika PSV powinna być ≥ 50 (PSV50), która ma istotny wpływ na zapewnianie szorstkości nawierzchni asfaltowej w długim okresie jej eksploatacji [4]. Kruszywa twarde, które spełniają powyższe wymagania z reguły otrzymuje się ze skał o dużej zawartości krzemionki SiO_2 – są to tzw. kruszywa kwaśne takie jak np. kwarcyty, piaskowce kwarcytowe czy granity. Kruszywa tego rodzaju charakteryzują się słabym powinowactwem z asfaltem, co ma istotny wpływ na trwałość wykonanych z ich udziałem nawierzchni asfaltowych [5, 6, 7].

Prowadzone badania pokazują, że zastosowanie dodatku kruszywa wapiennego (w ograniczonej ilości) do betonu asfaltowego czy też mieszanki mastyksowo grysowej SMA, przeznaczonych na nawierzchnie obciążone ruchem większym od KR 3, wpływa w sposób znaczący na poprawę adhezji asfaltu do mieszanek mineralnych wykonanych z kruszyw o dużej zawartości krzemionki [5]. Tym samym można ograniczyć wymaganą ilość środka adhezyjnego, która została określona na podstawie badania tylko samego kruszywa kwaśnego. Może więc to mieć istotny wpływ na pracę nawierzchni asfaltowej w zakresie poprawy jej odporności na powstawanie odkształceń plastycznych. Dodatkowym elementem zastosowania ograniczonej ilości kruszywa wapiennego w tego typu mieszankach mineralno-asfaltowych jest możliwość wpływu na zapewnienie wymaganej szorstkości nawierzchni asfaltowej. W przypadku, kiedy nawierzchnia asfaltowa (warstwa ścieralna) wykonana jest z mieszanki mineralno-asfaltowej zawierającej w swoim składzie tylko kruszywo jednego rodzaju, wówczas podczas jej eksploatacji w długim okresie czasu następuje ścieranie i polerowanie ziaren kruszywa w jednakowy sposób. Proces taki wpływa na zmniejszanie się mikrotekstury nawierzchni w czasie, co w konsekwencji prowadzi do spadku szorstkości nawierzchni podczas jej eksploatacji. W przypadku natomiast zastosowania kruszywa twardego (o dużej zawartości krzemionki) oraz kruszywa miękkiego (wapiennego) w czasie eksploatacji nawierzchni, ziarna tych kruszyw będą ścierały i polerowały się w zróżnicowany sposób co wpłynie na zachowanie jej rozbudowanej mikrotekstury. Zaistnienie takiego procesu będzie miało korzystny wpływ na szorstkość nawierzchni w długim okresie jej użytkowania [4, 5].

Ilość dodatku kruszywa wapiennego powinna być taka, aby nie spowodowała obniżenia odporności betonu asfaltowego czy też mieszanki mastyksowo grysowej SMA na oddziałujące na nawierzchnię obciążenie ruchem pojazdów.

Kruszywo wapienne można wykorzystywać nie tylko do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych ale może być przeznaczone również do budowy warstw nośnych. Zgodnie z wymaganiami PN-S-06102:1997 [11] stanowi ono dobry materiał do mieszanki kruszywa stabilizowanego mechanicznie (Tablica 4), która może być stosowana zarówno na podbudowę zasadniczą jak również pomocniczą nawierzchni dróg obciążonych ruchem do KR 5. Cechą charakterystyczną tego typu mieszanki jest dobra jej zdolność do zagęszczania, co w znacznym stopniu wpływa na proces sprawności wykonywania podbudowy i przyczynia się do przyspieszenia tempa budowy warstw konstrukcyjnych nawierzchni drogi.

Tablica 4. Wymagania dla kruszywa z materiału skalnego do mieszanki stabilizowanej mechanicznie [11]

Właściwości		Rodzaj podbudowy	
		zasadnicza	pomocnicza
Zawartość ziaren < 0,075 mm, nie więcej niż	[%]	od 2 do 10	od 2 do 12
Zawartość nadziarna, nie więcej niż	[%]	5	10
Zawartość ziaren nieforemnych, nie więcej niż	[%]	35	40
Zawartość zanieczyszczeń organicznych, nie więcej niż	[%]	1	1
Wskaźnik piaskowy po pięciokrotnym zagęszczeniu metodą I lub II		od 30 do 70	od 30 do 70
Ścieralność w bębnie Los Angeles: – całkowita po pełnej liczbie obrotów, nie więcej niż – częściowa po 1/5 pełnej liczby obrotów, nie więcej niż	 [%] [%]	 35 30	 50 35

Z kruszywa wapiennego produkowany jest też tłuczeń, z którego w regionie świętokrzyskim powszechnie wykonuje się podbudowy nawierzchni dróg obciążonych ruchem KR 1-2 (PN-S-96023:1984) [12]. Sprawność wykonywania tych podbudów jest duża, co ma istotne znaczenie z punktu ekonomicznego.

W dniu 19 listopada 2010 r. Generalny Dyrektor Dróg Krajowych i Autostrad podpisał Zarządzenie nr 102 wprowadzające do stosowania na drogach krajowych m. in. opracowanie pt. *Mieszanki niezwiązane do dróg krajowych WT-4 2010 Wymagania Techniczne*, w którym zawarte są również wymagania wobec kruszyw stosowanych do mieszanek niezwiązanych przeznaczonych do wykonywania warstw podłoża ulepszonego, podbudowy pomocniczej i podbudowy zasadniczej.

Reasumując, zastosowanie kruszywa wapiennego w drogownictwie jest bardzo wszechstronne. W zależności od jego asortymentu, znajduje ono wykorzystanie przy wykonawstwie praktycznie wszystkich warstw konstrukcyjnych nawierzchni dróg o różnym obciążeniu ruchem.

4. Przykłady zastosowań

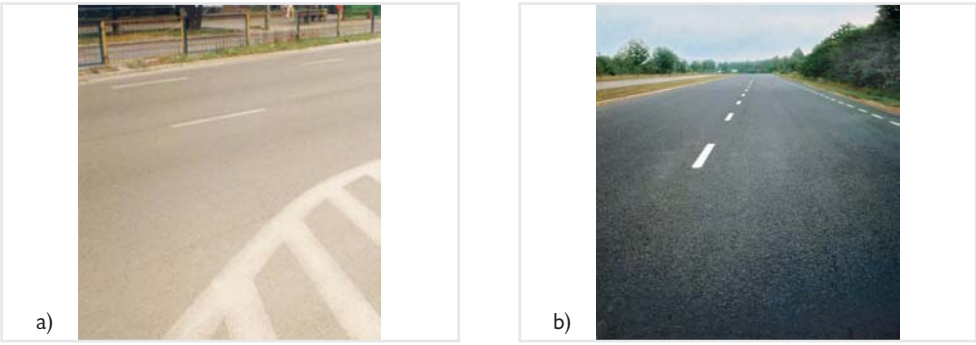
Jak wspomniano wcześniej kruszywo wapienne stosowane jest powszechnie w drogownictwie w regionie świętokrzyskim zarówno do wykonawstwa warstw nośnych jak również i jezdnych. Pewnym niekonwencjonalne rozwiązaniem było jego wykorzystanie do wykonawstwa warstw ścieralnych modernizowanych głównych ciągów komunikacyjnych w Kielcach w latach 1998-2000 [4]. Stosowano je jako dodatek do kruszywa twardego – piaskowca kwarcytowego z którego wykonywano mieszankę mastyksowo grysową SMA oraz mieszankę o nieciągłym uziarnieniu MNU 0/20 mm. Wykorzystując dodatek kruszywa wapiennego kierowano się wcześniej omówioną zasadą poprawy adhezji mieszanki mineralnej wykonanej z kruszywa o dużej zawartości krzemionki (piaskowiec kwarcytowy) oraz jego wpływem na proces kształtowania się mikrotekstury i w ten sposób regulowano wymaganą szorstkość nawierzchni asfaltowej. Wybrane składy mieszanek mineralno-asfaltowych, z których wykonano warstwy ścieralne nawierzchni ulic obciążonych ruchem KR 4-5 zestawiono w Tablicy 5.

Tablica 5. Skład ramowy mieszanek mineralno-asfaltowych z kruszywem wapiennym

Nr odcinka	Rodzaj mieszanki rok wykonania	Skład mieszanki mineralnej	[%]
1.	Mieszanka MNU 0/20 1998 r.	Mączka wapienna Piasek łamany wapienny Grys kwarcytowy 6,3/12,8	14,0 15,0 71,0
2.	SMA 0/12,8 1998 r.	Mączka wapienna Grys wapienny 0/4 Grys dolomitowy 2/6,3 Grys kwarcytowy 2/6,3 Grys kwarcytowy 6,3/12,8	10,0 12,0 15,0 10,0 53,0
3.	SMA 0/6,3 1998 r.	Mączka wapienna Piasek łamany wapienny Grys kwarcytowy 2/6,3	12,0 15,0 73,0
4.	SMA 0/12,8 1999 r.	Mączka wapienna Piasek łamany wapienny Grys wapienny 2/8 Grys kwarcytowy 2/6,3 Grys kwarcytowy 6,3/12,8	11,0 8,0 18,0 18,0 45,0
5.	Mieszanka MNU 0/20 1999 r.	Mączka wapienna Piasek łamany wapienny Grys dolomitowy 2/8 Grys kwarcytowy 10/20	14,0 17,0 10,0 59,0
6.	SMA 0/6,3 2000 r.	Mączka wapienna Grys wapienny 0/4 Grys dolomitowy 2/8 Grys kwarcytowy 2/6,3	13,0 10,0 26,0 51,0
7.	SMA 0/12,8 2000 r.	Mączka wapienna Piasek łamany wapienny Grys dolomitowy 2/8,3 Grys kwarcytowy 6,3/12,8	12,0 15,0 22,0 51,0

Wykonywane badania w okresie dziesięciu lat, zgodnie z SOSN, w okresie eksploatacji tych ulic potwierdziły słuszność dokonanych założeń na etapie projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych. Nawierzchnie zmodernizowanych ulic charakteryzują się wymaganą szorstkością, która podczas ich eksploatacji nie ulega zmniejszeniu a nawet wzrasta [4]. Należy wspomnieć, że istotną rolę w zapewnieniu prawidłowej adhezji mieszanki mineralnej dzięki dużej powierzchni właściwej odegrał oprócz kruszywa łamanego granulowanego również piasek łamany.

Dodatkowo zastosowanie kruszywa wapiennego w połączeniu z kruszywem z piaskowca kwarcytowego zapewniło jasną barwę nawierzchni. Dzięki temu stała się ona bardziej bezpieczna w warunkach nocnych a zwłaszcza podczas opadu deszczu w porównaniu z nawierzchnią czarną wykonaną z udziałem kruszywa ciemnego (fot. 1). Również istotną zaletą jasnej nawierzchni, zwłaszcza wykonywanej na terenie miasta, jest mniejsza ilość wymaganego natężenia światła, dostarczanego przez lampy uliczne, w celu zapewnienia prawidłowego jej oświetlenia. Tym samym tego typu nawierzchnia przyczynia się do zmniejszenia zapotrzebowania na energię elektryczną.



Fot. 1. Nawierzchnie wykonane z mieszanki mastyksowo-grysowej SMA (fot. M. Iwański)
a) z kruszywem jasnym (piaskowiec kwarcytowy, wapień),
b) z kruszywem ciemnym (bazalt).

W dalszej części opracowania przedstawiono realizowane w latach 2005-2011 na terenie Polski Centralnej najważniejsze obiekty drogowe, w których warstwy konstrukcyjne wykonano przy wykorzystaniu kruszywa wapiennego. Należy zaznaczyć, że przedstawione przykłady zadań drogowych zrealizowane były na drogach krajowych oraz drodze wojewódzkiej, które obciążone są ruchem KR 3-5. Na uwagę zasługuje fakt, że kruszywo wapienne w prezentowanych przykładach stanowi 100% materiału warstw konstrukcyjnych – warstwy nośnej oraz jezdnej. Jedynie ze względów wymagań normowych nie stosowano go przy wykonaniu warstwy ścieralnej. W związku z powyższym możliwość wszechstronnego zastosowania kruszywa wapiennego w konstrukcji nawierzchni wskazuje na jego dużą przydatność w drogownictwie.

A. Obwodowa Jędrzejowa – w ciągu drogi krajowej Nr 7 Warszawa – Kraków km 554 + 941,71 ÷ 560 + 736,19

Konstrukcja nawierzchni drogi z zastosowaniem kruszywa z wapienia dewońskiego:
- podbudowa pomocnicza z kruszywa stabilizowanego mechanicznie 0/63 mm,
- podbudowa zasadnicza z betonu asfaltowego z udziałem kruszywa z wapienia dewońskiego,
- warstwa wiążąca z betonu asfaltowego z udziałem kruszywa z wapienia dewońskiego.

Klasa drogi: GP
Kategoria ruchu: KR 5
Realizacja obiektu drogowego została zakończona w 2005 roku (fot. 2).

a)

Fot. 2. Droga krajowa Nr 7, obwodowa Jędrzejowa; 2005 rok (fot. ŚPRD „TRAKT" Sp. z o.o., Kielce)
a) widok głównej części zadania drogowego,
b) skrzyżowanie bezkolizyjne przed Jędrzejowem.

b)

B. Obwodnica m. Kije – w ciągu drogi krajowej Nr 78 km 554 + 941,71 ÷ 560 + 736,19 oraz przełożenie drogi wojewódzkiej Nr 766 Morawica – Pińczów

Konstrukcja nawierzchni drogi z zastosowaniem kruszywa z wapienia dewońskiego:
- podbudowa pomocnicza z kruszywa stabilizowanego mechanicznie 0/63 mm,
- podbudowa zasadnicza z betonu asfaltowego z udziałem kruszywa z wapienia dewońskiego,
- warstwa wiążąca z betonu asfaltowego z udziałem kruszywa z wapienia dewońskiego.

Klasa drogi: G
Kategoria ruchu: KR 4
Realizacja obiektu drogowego w latach 2004-2005 (fot. 3).

a)

Fot. 3. Droga krajowa Nr 78, obwodnica m. Kije; 2005 rok (fot. PRI „FART" Sp. z o.o., Kielce)
a) widok zrealizowanego zadania drogowego,
b) dojazd do skrzyżowania drogi Nr 78 i Nr 766.

b)

C. Odnowa nawierzchni drogi krajowej Nr 74 na odcinku Bałtówka – Annopol km 165 + 570 ÷ 174 + 912

Konstrukcja nawierzchni drogi z zastosowaniem kruszywa z wapienia dewońskiego i dolomitu:

- podbudowa pomocnicza z kruszywa stabilizowanego mechanicznie 0/63 mm z kruszywa wapiennego (poszerzenia),
- podbudowa z betonu asfaltowego z udziałem kruszywa wapiennego i dolomitowego,
- warstwa wiążąca z betonu asfaltowego z udziałem kruszywa wapiennego i dolomitowego.

Klasa drogi: GP
Kategoria ruchu: KR 4
Realizacja obiektu drogowego w 2008 roku (fot. 4).

a)

b)

c)

Fot. 4. Droga krajowa Nr 74, Bałtówka – Annopol; 2008 rok (fot. ŚPRD „TRAKT" Sp. z o.o., Kielce)
a) początek odcinka odnawianej nawierzchni drogi w Bałtówce,
b) odcinek środkowy odnawianej nawierzchni drogi,
c) odcinek drogi o dużym pochyleniu podłużnym.

D. Przebudowa drogi krajowej Nr 9 Radom – Barwinek na odcinku Nowa Dęba – Majdan Królewski km 144 + 100 ÷ 147 + 000

Konstrukcja nawierzchni drogi z zastosowaniem kruszywa z wapiennego:
- warstwa wiążąca z betonu asfaltowego WMS z udziałem kruszywa wapiennego.

Klasa drogi: GP
Kategoria ruchu: KR 5
Realizacja obiektu drogowego w 2008 roku (fot. 5).

a)

b)

Fot. 5. Droga krajowa Nr 9, Nowa Dęba – Majdan Królewski; 2008 rok (fot. PRI „FART" Sp. z o.o., Kielce) a) odcinek drogi w Nowej Dębie, b) odcinek drogi w kierunku Majdanu Królewskiego.

E. Rozbudowa drogi krajowej Nr 74 wraz z przejściem przez Paradyż km 16 + 500 ÷ 18 + 650

Konstrukcja nawierzchni drogi z zastosowaniem kruszywa z wapienia dewońskiego i dolomitu:

- podbudowa pomocnicza z kruszywa stabilizowanego mechanicznie 0/63 mm z kruszywa wapiennego (poszerzenia),
- podbudowa z betonu asfaltowego z udziałem kruszywa wapiennego i dolomitowego,
- warstwa wiążąca z betonu asfaltowego z udziałem kruszywa wapiennego i dolomitowego.

Klasa drogi: GP
Kategoria ruchu: KR 4
Realizacja obiektu drogowego w 2008 roku (fot. 6).

a)

Fot. 6. Droga krajowa Nr 74, przejście przez Paradyż; 2008 rok (fot. ŚPRD „TRAKT" Sp. z o.o., Kielce) a) początek odcinka odnawianej nawierzchni drogi, b) odcinek końcowy odnawianej nawierzchni drogi.

b)

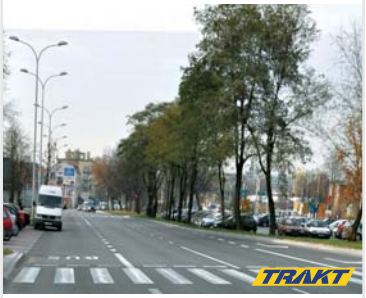
F. Przebudowa ulic: Sandomierskiej (dr. kraj. Nr 74), Al. Solidarności (dr. kraj. Nr 73 i 74), IX Wieków Kielc (dr. woj. Nr 762) i Źródłowej (dr. kraj. Nr 73) w Kielcach – w ramach inwestycji „Ulica Sandomierska w Kielcach"

Konstrukcja nawierzchni drogi z zastosowaniem kruszywa z wapienia dewońskiego i dolomitu:

- warstwa wiążąca z betonu asfaltowego z udziałem kruszywa wapiennego i dolomitowego.

Klasa drogi: GP
Kategoria ruchu: KR 4
Realizacja obiektu drogowego w 2008 roku (fot. 7).

a)



b)

c)

Fot. 7. Droga krajowa Nr 74, ulica Sandomierska w Kielcach; 2008 rok (fot. ŚPRD „TRAKT" Sp. z o.o., Kielce) a) skrzyżowanie ul. Sandomierskiej z Al. Solidarności, b) jezdnia północna ul. Sandomierskiej, c) jezdnia południowa ul. Sandomierskiej.

G. Remont nawierzchni drogi krajowej Nr 79 Warszawa – Bytom, odcinek Przeczów – Słupia km 243 + 320 ÷ 356 + 506

Konstrukcja nawierzchni drogi z zastosowaniem kruszywa z wapienia dewońskiego i dolomitu:

- wyrównanie istniejącej podbudowy betonem asfaltowym o zwiększonej odporności na odkształcenia trwałe z udziałem kruszywa wapiennego,
- podbudowa z betonu asfaltowego o zwiększonej odporności na odkształcenia trwałe z udziałem kruszywa wapiennego,
- warstwa wiążąca z betonu asfaltowego o zwiększonej odporności na odkształcenia trwałe z udziałem kruszywa wapiennego.

Klasa drogi: G
Kategoria ruchu: KR 3
Realizacja obiektu drogowego w latach 2009-2010 (fot. 8).

a)

b)

Fot. 8. Droga krajowa Nr 79, Przeczów – Słupia; 2010 rok (fot. PRI „FART" Sp. z o.o., Kielce)
a) trasa drogi w terenie niezabudowanym,
b) odcinek drogi w terenie zabudowanym.

H. Remont drogi krajowej Nr 79 Warszawa – Bytom, odcinek Osiek – Połaniec, km 220 + 620 ÷ 234 + 256,5 wraz z remontem mostu w km 225 + 134 w m. Niekrasów

Konstrukcja nawierzchni drogi z zastosowaniem kruszywa z wapienia dewońskiego:
- wyrównanie istniejącej podbudowy betonem asfaltowym o zwiększonej odporności na odkształcenia trwałe z udziałem kruszywa wapiennego,
- podbudowa z betonu asfaltowego o zwiększonej odporności na odkształcenia trwałe z udziałem kruszywa wapiennego,
- warstwa wiążąca z betonu asfaltowego o zwiększonej odporności na odkształcenia trwałe z udziałem kruszywa wapiennego.

Klasa drogi: G
Kategoria ruchu: KR 3
Realizacja obiektu drogowego w latach 2009-2010 (fot. 9).

a)

b)

c)

Fot. 9. Droga krajowa Nr 79, Osiek – Połaniec; 2010 rok (fot. PRI „FART" Sp. z o.o., Kielce)
a) odcinek drogi w terenie niezabudowanym,
b) odcinek drogi w terenie zabudowanym,
c) odcinek drogi przed wyremontowanym mostem.

I. Odnowa nawierzchni starodroża w obrębie węzła komunikacyjnego Kielce – Północ , w ciągu drogi krajowej Nr 7, odcinek km 535 + 670 ÷ 537 + 982 oraz drogi krajowej Nr 73, odcinek km 0 + 000 ÷ 0 + 910 w m. Kajetanów i Wiśniówka wraz z robotami uzupełniającymi na węźle

Konstrukcja nawierzchni drogi z zastosowaniem kruszywa z wapienia dewońskiego i dolomitu:

- warstwa wiążąca z betonu asfaltowego AC z udziałem kruszywa wapiennego i dolomitowego.

Klasa drogi: GP
Kategoria ruchu: KR 4
Realizacja obiektu drogowego w 2010 roku (fot. 10).

a)

b)

c)

d)

Fot. 10. Drogi krajowe Nr 7 i 73, węzeł Kielce – Północ; 2010 rok (fot. ŚPRD „TRAKT" Sp. z o.o., Kielce)
a) odcinek drogi krajowej Nr 73,
b) odnowa nawierzchni starodroża w obrębie węzła komunikacyjnego Kielce – Północ w ciągu drogi krajowej Nr 7,
c) odcinek drogi w m. Wiśniówka,
d) odcinek drogi w m. Kajetanów.

J. Budowa wlotu wschodniego z Kielc drogi S-74 na odcinku miejskim oraz budowa drogi S-74 na odcinku pozamiejskim od granicy Kielc do Cedzyny z włączeniem do istniejącej drogi krajowej nr 74 w Cedzynie

Konstrukcja nawierzchni drogi z zastosowaniem kruszywa z wapienia dewońskiego:
- podbudowa pomocnicza z kruszywa stabilizowanego mechanicznie 0/63 mm z kruszywem wapiennym,
- podbudowa zasadnicza z betonu asfaltowego z kruszywem wapiennym,
- warstwa wiążąca z betonu asfaltowego z udziałem kruszywa z wapienia dewońskiego

Klasa drogi: S
Kategoria ruchu: KR 5
Realizacja obiektu drogowego w latach 2009-2011 (fot. 11).

a)

b)

c)

Fot. 11. Droga krajowa Nr 74, Kielce; 2010 rok (fot. PRI „FART" Sp. z o.o., Kielce)
a) budowa zamiejskiego odcinka drogi wraz z ekranami akustycznymi,
b) plan realizowanego zadania drogowego,
c) wykonywanie podbudowy z mieszanki kruszywa stabilizowanego mechanicznie oraz wiaduktu.

5. Podsumowanie

Dokonując podsumowania stanu wiedzy w zakresie możliwości wykorzystania kruszywa wapiennego w drogownictwie, można stwierdzić, że jest to pełnowartościowy materiał, który znajduje zastosowanie przy wykonawstwie konstrukcji nawierzchni drogowych. Oczywiście w zależności od jego pochodzenia geologicznego może on być wykorzystywany w różnym zakresie podczas wytwarzania materiałów konstrukcyjnych.

Spośród różnego rodzaju kruszywa wapiennego należy przede wszystkim zwrócić uwagę na kruszywo pozyskiwane z wapienia dewońskiego. Ten rodzaj skały charakteryzuje się w porównaniu z pozostałymi wapieniami np. jurajskimi, dość wysoką wytrzymałością na ściskanie – w przedziale od 100 MPa do 140 MPa. Parametrem technicznym wpływającym na jego klasyfikacje jest niewystarczająca odporność na ścieranie a zwłaszcza polerowanie, która nie pozwala na zastosowanie tego rodzaju kruszywa do wykonawstwa warstw ścieralnych nawierzchni dróg obciążonych ruchem od KR 3. Pomimo tego niedostatku kruszywo z wapienia dewońskiego można stosować zgodnie z obowiązującymi obecnie wymaganiami normowymi oraz specyfikacjami technicznymi do wykonawstwa:

- betonu asfaltowego AC przeznaczonego na wszystkie warstwy konstrukcyjne dróg obciążonych ruchem KR 1-2,
- betonu asfaltowego AC przeznaczonego na podbudowę zasadniczą, warstwę wyrównawczą i wiążącą dróg obciążonych ruchem KR 3-6,
- betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS przeznaczonego na podbudowę zasadniczą i wiążącą dróg obciążonych ruchem KR 3-6,
- podbudowy tłuczniowej dróg obciążonych ruchem KR 1-2,
- podbudowy pomocniczej z mieszanki kruszywa stabilizowanego mechanicznie (0/63 mm) dróg obciążonych ruchem KR 3-5.

Dodatkową zaletą kruszywa łamanego granulowanego pozyskiwanego z wapieni dewońskich jest jego bardzo dobra adhezja z asfaltem osiągającą prawie 100% przyczepności. Nie zachodzi, więc potrzeba stosowania do produkcji betonu asfaltowego środków adhezyjnych, co ma też istotne znaczenie z punktu ekonomicznego produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej. Ponad trwałe otoczenie ziaren kruszywa wapiennego przez asfalt gwarantuje na wymaganym poziomie odporność na oddziaływanie destrukcyjnych czynników niszczących warstw konstrukcji nawierzchni drogi wykonanych z jego udziałem.

Kruszywo łamane wapienne wykorzystywane zgodnie z jego właściwościami spełnia w sposób prawidłowy swoją funkcję w warstwach konstrukcyjnych nawierzchni drogowych zapewniając ich wymaganą trwałość w długim okresie eksploatacji.

6. Bibliografia

[1] S. Luszawski, S. Wojdanowicz, *Nowoczesne nawierzchnie drogowe*, WKiŁ, Warszawa, 1977, 462 s.
[2] E. Tylman, *Technologia materiałów i nawierzchni drogowych*, WKiŁ, Warszawa, 1989, 678 s.
[3] J. Piłat, P. Radziszewski, *Nawierzchnie asfaltowe*, WKŁ, Warszawa, 2004.
[4] M. Iwański, *Kruszywo kwarcytowe a szorstkość nawierzchni drogi*, Drogownictwo Nr 3, 2005, s. 80-85.
[5] M. Iwański, *Właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej a rodzaj kruszywa*, Drogownictwo Nr 6, 2004, s. 185-196
[6] J. Judycki, P. Jaskuła, *Badania oddziaływania wody i mrozu na betony asfaltowe o zwiększonej odporności na deformacje trwałe*, Drogownictwo Nr 12, 1999, s. 367-371.
[7] D. Sybilski, T. Mechowski, *Ocena trwałości mieszanek mineralno-asfaltowych z różnymi kruszywami*, Prace IBDiM, Warszawa, 1998, Nr 3-4, s. 63-107.
[8] PN-B-11112:1996, *Kruszywa mineralne. Kruszywa łamane do nawierzchni drogowych*.
[9] PN-S-96025:2000, *Drogi samochodowe i lotniskowe. Nawierzchnie asfaltowe*.
[10] PN-EN-13043, *Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utrwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych*.
[11] PN-S-06102:1997, *Drogi samochodowe. Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie*.
[12] PN-S-96023:1984, *Konstrukcje drogowe. Podbudowa i nawierzchnia z tłucznia kamiennego*.
[13] Wymagania Techniczne pt. *Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utrwaleń na drogach publicznych. WT-1 Kruszywa*, 2008.
[14] Wymagania Techniczne pt. *Nawierzchnie Asfaltowe Drogowe i Lotniskowe. WT-2*, 2008.
[15] Wymagania Techniczne pt. *Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. WT-2 Mieszanki mineralno--asfaltowe*, 2010.
[16] Wymagania Techniczne pt. *Kruszywa do mieszanek mineralno-asfaltowych i powierzchniowych utrwaleń na drogach krajowych. WT-1 Kruszywa*, 2010.

Wojciech Płaza

Wypełniacze do mieszanek mineralno-asfaltowych

1. Wstęp

W Polsce, podobnie jak w większości krajów europejskich najbardziej rozpowszechnionymi nawierzchniami na drogach publicznych są nawierzchnie wykonywane przy użyciu lepiszcza asfaltowego i pomimo trwającej dyskusji „asfaltowe czy cementowe", zalety nawierzchni asfaltowych znacznie przewyższają ich wady tak pod względem technicznym jak i ekonomicznym.

2. Definicje

Mieszanka mineralno-asfaltowa jest zestawioną wg proporcji ustalonych laboratoryjnie, mieszaniną kruszywa, wypełniacza i lepiszcza. Materiałem wiążącym jest **asfalt** – materiał otrzymywany w rafineriach z przeróbki ropy naftowej. **Kruszywo** to drugi składnik mieszanek mineralno-asfaltowych – tworzy ono szkielet mineralny, który dzięki tarciu wewnętrznemu i wzajemnemu zaklinowaniu ziaren ma za zadanie przeciwstawiać się odkształceniom nawierzchni. W zależności od rodzaju warstwy nawierzchni stanowi ono powyżej 85% m/m mineralno-asfaltowej i co za tym idzie stanowi o jej jakości oraz ma wpływ na trwałość. Kruszywa, w zależności od materiału, z którego są wykonane, dzielą się, wg normy PN-EN 13043:2004 [7], na:

- **naturalne**, pochodzenia mineralnego, które poza obróbką mechaniczną nie zostało poddane żadnej innej obróbce,
- **sztuczne**, wytwarzane z surowców mineralnych, uzyskiwane w wyniku procesu przemysłowego obejmującego obróbkę termiczną lub inną modyfikację,
- **z recyklingu**, powstałe w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego uprzednio w budownictwie.

Badając materiały kamienne stwierdzono, iż granity, sjenity, porfiry oraz niektóre bazalty ujawniają właściwości hydrofilowe, a skały zasadowe (wapienne) ujawniają właściwości hydrofobowe. Materiały hydrofilowe to takie, do których mocniej przylega błonka wodna niż asfaltowa, wskutek czego błonka asfaltowa po zwilżeniu wodą (warunki pracy nawierzchni) może być łatwo wypchnięta i zastąpiona wodą. Wynika stąd wniosek, że najlepszymi właściwościami zapewniającymi dobre związanie kruszywa z asfaltem charakteryzują się skały węglanowe (zasadowe). Materiał skalny z wysoką zawartością węglanu wapnia ($CaCO_3$) i o dostatecznie wysokiej wytrzymałości mechanicznej jest też najodpowiedniejszym surowcem do produkcji wypełniaczy do mieszanek mineralno-asfaltowych.

Kolejnym składnikiem mieszanek mineralno-asfaltowych jest **wypełniacz**. Właściwe i zasadnicze znaczenie wypełniacza to stworzenie razem z asfaltem zaprawy wiążącej ziarna mieszanki mineralnej. Zapewnia to wodoszczelność i mrozoodporność mieszanki mineralno-asfaltowej. Według aktualnej normy [7] mączki mineralne wytwarzane ze skał litych zaliczane są do „**kruszywa wypełniającego**, to jest takiego kruszywa, którego większość przechodzi przez sito 0,063 mm, a które może być dodawane do materiałów budowlanych w celu uzyskania pewnych właściwości". Ta sama norma wyróżnia również:

- **wypełniacz dodany**, czyli mączkę mineralną wyprodukowaną specjalnie do określonych zastosowań,
- **wypełniacz mieszany**, który zawiera dodatek wodorotlenku wapnia $Ca(OH)_2$ (wapna hydratyzowanego).

Wypełniacze produkowane są w młynach rolowo-misowych, do których zasypywany jest płukany materiał skalny, a poprzez hydraulicznie dociskane walce stożkowe dokonuje się procesu mielenia. Odbywa się to w otoczeniu gorącego powietrza, które jednocześnie suszy produkowaną mączkę poddawaną potem rozdzieleniu na różne granulacje. Ta o uziarnieniu < 0,125 mm jest wypełniaczem do mieszanek mineralno-asfaltowych.

3. Wymagania wobec wypełniaczy

3.1. Uziarnienie

Podstawową cechą wypełniaczy jest uziarnienie. W Tablicy 1 przedstawiono wymagania dotyczące **uziarnienia kruszywa wypełniającego** (wypełniacza dodanego).

Tablica 1. Uziarnienie kruszywa wypełniającego wg PN-EN 13043

Wymiar sita #, mm	Procent przechodzącej masy	
	ogólny zakres dla poszczególnych wyników	maksymalny zakres uziarnienia deklarowany przez producenta
2	100	–
0,125	od 85 do100	10
0,063	od 70 do100	10

Tablica 1 przedstawia tolerancje uziarnienia podczas produkcji, które powinien dotrzymać producent wypełniacza. Producent wypełniacza, na podstawie początkowego badania typu, zobowiązany jest do zadeklarowania odbiorcy typowego uziarnienia, które powinno mieścić się w wymaganych tolerancjach (od –5 do +5% m/m), podanych w kolumnie 3. Wymagania takie zapisano w kolumnie „maksymalny zakres uziarnienia deklarowany przez producenta „(procent przechodzącej masy -10)". Warto podkreślić, że nie jest to tolerancja tożsama jak w kruszywach drobnych i grubych , tutaj norma określa również „zakres" – szerokość granicy przez którą powinien przejść przesiew wypełniacza, przy czym uziarnienie wytwarzanego wypełniacza, z dopuszczonymi odchyleniami od zadeklarowanego uziarnienia, nie może wyjść poza ogólne granice normowe na sitach 0,125 i 0,063 mm

(kolumna 2). Przy tym należy przypomnieć iż w praktyce laboratoryjnej badanie uziarnienia wykonywane było przy pomocy zestawu sit i wstrząsarki, natomiast powyższe badanie, zgodnie z PN-EN 933:2002, wykonuje się w aparacie do przesiewania w strumieniu powietrza, przy różnicy ciśnień 3±0,5 kPa.

3.2. Zawartość węglanu wapnia

Jak wspomniano **zawartość węglanu wapnia** $CaCO_3$ w surowcu, z którego produkuje się wypełniacz odgrywa istotną rolę w kształtowaniu mastyksu. W przeszłości Polska Norma określała, że zwartość $CaC0_3$ w wypełniaczu podstawowym powinna być większa niż 90%. Obecna norma [7] umożliwia klasyfikację tej właściwości wg Tablicy 2.

Tablica 2. Kategorie zawartości węglanu wapnia w wypełniaczu, wg PN-EN 13043

Zawartość węglanu wapnia Procent masy	Kategoria CC
90	CC_{90}
80	CC_{80}
70	CC_{70}
brak wymagania	CC_{NR}

Zawartość węglanu wapnia oznacza się wg EN 196–21.

3.3. Zawartość szkodliwych pyłów

akość wypełniacza zależy również od **zawartości szkodliwych pyłów**. Badanie przeprowadza się zgodnie z normą PN-EN 933-9:2001 przy pomocy błękitu metylenowego i nazywa oceną zawartości drobnych cząstek. Badaną próbkę frakcji 0/0,125 mm miesza się z wodą destylowaną, następnie dodaje 5 ml błękitu metylenowego, a po wymieszaniu wykonuje próbę plamy na bibule filtracyjnej. Wynikiem jest zawartość błękitu metylenowego w gramach barwnika na kilogram kruszywa. Tak przeprowadzone badanie stanowi podstawę do sklasyfikowania kruszywa wg 5 kategorii jak w Tablicy 3.

Tablica 3. Kategorie zawartości szkodliwych pyłów w wypełniaczu, wg PN-EN 13043

Wartość MB_F g/kg	Kategoria MB_F
– ≤ 10 ≤ 25 > 25	MB_F NT MB_F10 MB_F25 MB_F Deklarowana
brak wymagania	MB_FNR

Gdy zawartość pyłów jest mniejsza niż 3% masy i istnieją dowody zadawalającego stosowania, badania nie muszą być wykonywane.

W projekcie krajowego dokumenty aplikacyjnego (KDA) uzgodniono wymaganie, że stosowane w Polsce wypełniacze powinny spełniać wymaganie kategorii $\boldsymbol{MB_F10}$.

3.4. Zawartość wody

Kruszywo wypełniające poddawane jest również badaniom na **zawartość wody** wg EN 1097-5. Zawartość wody nie powinna przekraczać 1,0% m/m i jest to zgodne z dotychczasowymi krajowymi wymaganiami.

3.5. Właściwości usztywniające

Norma [7] wymaga również sprawdzania własności usztywniających wypełniacza. Można zbadać tę cechę dwoma metodami:

- różnicy temperatury mięknienia PiK („delta pierścień i kula"),
- zawartości wolnych przestrzeni wg Rigdena.

Temperatura mięknienia mieszaniny asfaltu z wypełniaczem oznaczana jest metodą PiK („delta pierścień i kula") wg normy EN 13179-1. Norma ta wymaga sporządzenia mieszaniny asfaltu 70/100 i wypełniacza wg proporcji objętościowych: 37,5% wypełniacza i 62,5% asfaltu. Równolegle powinna być oznaczona temperatura mięknienia czystego asfaltu. Różnica między wartościami temperatury mięknienia asfaltu i mieszaniny asfalt-wypełniacz jest miarą właściwości usztywniających wypełniacza. Tablica 4 przedstawia kategorie właściwości usztywniających wypełniacza w zależności od oznaczonego wzrostu temperatury mięknienia asfaltu.

Tablica 4. Kategorie właściwości usztywniających wypełniacza określone metodą różnicy temperatury mięknienia, wg PN-EN 13043

Różnica temperatury mięknienia (tzw. „delta pierścień i kula"), °C	Kategoria ΔR&B
od 8 do 16	$\Delta_{R\&B}$8/16
od 17 do 25	$\Delta_{R\&B}$17/25
od 8 do 25	$\Delta_{R\&B}$8/25
> 25	$\Delta_{R\&B}$25
brak wymagania	$\Delta_{R\&B}$NR

W projekcie krajowego dokumentu aplikacyjnego (KDA) uzgodniono wymaganie, że stosowane w Polsce wypełniacze powinny spełniać wymaganie kategorii $\boldsymbol{\Delta_{R\&B}8/25}$. Fot. 1 przedstawia badanie temperatury mięknienia PiK.

Fot. 1. Badanie temperatury mięknienia metodą PiK (fot. K.Błażejowski)

Drugim parametrem charakteryzującym usztywniające właściwości wypełniacza jest **zawartość wolnych przestrzeni suchego zagęszczonego wypełniacza**. Badanie wykonuje się w aparacie Ridgena wg normy EN 1097-4. Uzyskane wyniki pozwalają na sklasyfikowanie wypełniacza do jednej z kategorii, które przedstawia Tablica 5.

Tablica 5. Kategorie właściwości usztywniających wypełniacza określone metodą Rigdena, wg PN-EN 13043

Procent objętości		Kategoria *V*
ogólny zakres dla poszczególnych wyników	maksymalny zakres wolnych przestrzeni deklarowany przez producenta	
od 28 do 38	4	$V_{28/38}$
od 38 do 45	4	$V_{38/45}$
od 28 do 45	4	$V_{28/45}$
od 44 do 55	4	$V_{44/55}$
brak wymagania		V_{NR}

Zakres wolnych przestrzeni suchego zagęszczonego wypełniacza, deklarowany przez producenta na podstawie ostatnich 20 wartości, powinien w 90% znaleźć się w tym zakresie, ale wszystkie wyniki musza mieścić się w ogólnym zakresie (kolumna 1 Tablicy 5).

W projekcie krajowego dokumenty aplikacyjnego (KDA) uzgodniono wymaganie, że stosowane w Polsce wypełniacze powinny spełniać wymaganie kategorii $V_{28/45}$.

3.6. Rozpuszczalność w wodzie

Zgodnie z PN-EN 1744-1:1998 **badanie rozpuszczalności w wodzie** polega na wyekstrahowaniu wypełniacza z mieszaniny wypełniacza i wody podczas suszenia próbki do stałej masy. Wynik z dokładnością do 0,1% kwalifikuje się do jednej z trzech kategorii (Tablica 6).

Tablica 6. Kategorie rozpuszczalności wypełniacza w wodzie, wg PN-EN 13043

Rozpuszczalność w wodzie % m/m	Kategoria *WS*
≤ 10	WS_{10}
> 10	$WS_{Deklarowana}$
brak wymagania	WS_{NR}

W projekcie krajowego dokumenty aplikacyjnego (KDA) uzgodniono wymaganie, że stosowane w Polsce wypełniacze powinny spełniać wymaganie kategorii $\boldsymbol{WS_{10}}$.

3.7. Liczba bitumiczna

Liczbę bitumiczną (asfaltową) wypełniacza dodanego odzwierciedlającą własności usztywniające określamy zgodnie z normą EN 13179-2. Badanie polega na określeniu ilości wody dodawanej do 50 g wypełniacza celem otrzymania mieszanki, w którą normowy stempel penetrometru zagłębia się w czasie 5 s na głębokość 5-7 mm. Wynik badania przelicza się na 100 g wypełniacza. Zakwalifikowanie wypełniacza do odpowiedniej kategorii [***BN***] umożliwia Tablica 7.

Tablica 7. Kategorie liczby bitumicznej wypełniacza, wg PN-EN 13043

Ogólny zakres dla poszczególnych wyników, %	Zakres maksymalnej „liczby bitumicznej" deklarowanej przez producentów, %	Kategoria *BN*
od 28 do 39 od 40 do 52 od 53 do 62 Deklarowany	6 6 6 Deklarowany	$BN_{28/39}$ $BN_{40/52}$ $BN_{53/62}$ $BN_{Deklarowana}$
brak wymagania	brak wymagania	BN_{NR}

Zakres liczby bitumicznej deklarowany na podstawie 20 ostatnich wartości powinien odzwierciedlać, iż 90% wyników znajduje się w tym przedziale, ale wszystkie muszą znaleźć się w ogólnym zakresie „liczby bitumicznej" (kolumna 1 Tablicy 7).

3.8. Wypełniacz mieszany

Udokumentowane przez liczne badania korzystne właściwości wapna hydratyzowanego potwierdzają jego możliwość zastosowania w nawierzchniach, co znalazło również swój ślad w normie [7], gdzie wprowadzono tzw. **wypełniacz mieszany**. Wypełniacz mieszany został zdefiniowany jako kruszywo wypełniające pochodzenia mineralnego, wymieszane z wodorotlenkiem wapnia. Klasyfikacja tego wypełniacza, zależna od zawartości wodorotlenku wapnia została podana w Tablicy 8.

Tablica 8. Kategorie zawartości wapna hydratyzowanego w wypełniaczu, wg PN-EN 13043

Zawartość wodorotlenku wapnia % m/m	Kategoria *Ka*
≥ 25 ≥ 20 ≥ 10 < 10	Ka_{25} Ka_{20} Ka_{10} $Ka_{Deklarowana}$
brak wymagania	Ka_{NR}

Wapno hydratyzowane, zawarte w wypełniaczu mieszanym spełnia funkcję środka adhezyjnego, dzięki kationom wapnia które łączą się ze związkami krzemu na powierzchni kruszywa, tworząc silne wiązania jonowe. Kationy wapnia podmieniają kationy potasu i sodu na powierzchni kruszywa tworząc sole nierozpuszczalne w wodzie. Trwałe wiązanie wapna zmienia ładunek powierzchniowy kruszywa z ujemnego na dodatni i wiązanie kwaśnego asfaltu z kruszywem zachodzi doskonale. Prowadzone badania z wykorzystaniem wapna hydratyzowanego jako dodatku do mieszanek mineralno-asfaltowych, również w postaci wypełniacza mieszanego, wskazują bardzo dobre parametry odporności na koleinowanie warstw wykonanych z takich mieszanek. Wykazano również zwiększenie okresu trwałości nawierzchni o 38%. Stosowanie wypełniaczy mieszanych z wapnem rozwiązuje problem dodatkowych zbiorników i dozatorów środków adhezyjnych stosowanych w otaczarkach przy dodatkach chemicznych.

4. Kontrola produkcji wypełniacza

Przywołana norma PN-EN 13043, w podrozdziale 5.5, **stawia wymagania dotyczące prawidłowości produkcji wypełniacza**. Wymaga się, aby ocena prawidłowości produkcji wypełniacza obejmowała sprawdzenie co najmniej jednej z następujących właściwości:

- „liczba bitumiczna”(wg EN 13179-2),
- gęstość ziaren wypełniacza (wg EN 1097-7),
- gęstość nasypowa w stanie luźnym oznaczana w nafcie (wg EN 1097-3:1998),
- badanie powierzchni właściwej według Blaine’a (wg EN 196-6),
  a w przypadku wytwarzania wypełniacza z mielonego popiołu lotnego z węgla oznaczanie strat przy prażeniu (wg EN 1774-1:1998, rozdział 17).

W projekcie krajowego dokumenty aplikacyjnego (KDA) uzgodniono wymaganie, że producenci wypełniaczy powinny wykonywać te badania i deklarować uzyskaną kategorię [***BN***] „liczby asfaltowej" [***BN***] i zapewnić warunki do jej utrzymania w długim okresie czasu.

Omówione powyżej wymagania spełniają produkowane w Polsce mączki wapienne. W Tablicy 9 przedstawiono przykładowe wartości deklarowane przez producentów wypełniaczy w Polsce.

Tablica 9. Przykładowe kategorie wymagań deklarowane przez producentów wypełniaczy w Polsce

Właściwości fizyko-mechaniczne	Wartość deklarowana			
	WO	SL	BU	ZPW
Uziarnienie: – 2 mm – 0,125 mm – 0,063 mm	100 85-100 70-100	100 85-100 70-100	100 85-100 70-100	100 85-100 70-100
Wskaźnik błękitku metylenowego	MB 10	MB 10	MB 10	MB 10
Zawartość wody [%]	< 1	< 1	< 1	< 1
Gęstość ziaren [Mg/m^3]	2,63	2,48	2,65	2,67
Rozpuszczalność w wodzie	WS_{10}	WS_{10}	WS_{10}	WS_{10}
Zawartość węglanu wapnia *CC*	CC_{90}	CC_{90}	CC_{90}	CC_{90}
Liczba bitumiczna *BN*	$BN_{28/39}$	$BN_{28/39}$	$BN_{28/39}$	$BN_{28/39}$
Pierścień delta i kula $\Delta_{R\&B}$ °C	$\Delta_{R\&B}$8/16	$\Delta_{R\&B}$8/16	$\Delta_{R\&B}$8/16	$\Delta_{R\&B}$8/16
Gęstość nasypowa w stanie luźnym w nafcie [Mg/m^3]	0,67	0,44	0,96	1,03
Badanie Blaine'a S [m^2/kg]	44	75	55	500

Przedstawione powyżej wymagania dla wypełniaczy poza sferą techniczną czyli możliwością zastosowania do mieszanek mineralno asfaltowych odgrywają istotną rolę w świetle obowiązującego prawa. Otóż Ustawa o wyrobach budowlanych [Dz.U.92/2004 poz. 88 oraz Dz.U. 97/2009 poz. 97] określa zasady wprowadzania do obrotu i stwierdza, iż wyrób budowlany nadaje się do stosowania przy wykonywaniu robót budowlanych jeżeli jest oznakowany znakiem CE – co oznacza, ze dokonano oceny jego zgodności z normą zharmonizowaną, europejską aprobatą techniczną bądź krajową specyfikacją techniczną państwa członkowskiego Unii Europejskiej.

Przy dokonywaniu oceny zgodności stosuje się badanie próbek przez producenta zgodnie z ustalonym planem badań oraz dokonanie oceny i akceptacji zakładowej kontroli produkcji przez jednostkę notyfikowaną potwierdzone Certyfikatem ZKP. Oznakowanie CE wyrobu wprowadzonego do obrotu wskazuje, że wyrób budowlany spełnia wymagania zasadnicze określone w przepisach.

Tablica 10. Przykładowe oznakowanie wyrobu budowlanego (wypełniacza dodanego) znakiem CE na podstawie wyników badań zgodnych z zakładowym systemem produkcji u jednego z członków Stowarzyszenia Przemysłu Wapienniczego

1454
Rok 10
1454-CPD-009
EN 13043

Wypełniacz dodany do mieszanek bitumicznych i nawierzchni		
Badana właściwość	**Sposób badania**	**Wartość deklarowana**
Uziarnienie, % przechodzącej masy: – 2 mm – 0,125 mm – 0,063 mm	PN-EN 933-10:2009	100 85 - 100 70 - 100
Badanie według Blaine, S m^2/kg	PN-EN 196-6:1997	500
Gęstość ziaren, r_f Mg/m^3	PN-EN 1097-7:2001	2,69
Delta pierścień i kula, $\Delta_{R\&B}$ °C	PN-EN 13179-1:2002	$\Delta_{R\&B}8/16$
Liczba bitumiczna, *BN* %	PN-EN 13179-2:2002	$BN_{28/39}$
Rozpuszczalność w wodzie, *WS* %	PN-EN 1744-1:2010	WS_{10}
Szkodliwe pyły, MB_F	PN-EN 933-9:2009	MB_F10
Zawartość wody, %	PN-EN 1097-5:2008	0,2
Zawartość $CaCO_3$, *CC*%	PN-EN 196-2:2006	CC_{90}
Promieniotwórczość naturalna: – $f_{1\ max}$ – $f_{2\ max}$, B_q/kg	Procedura Badawcza ITB PB LK 001/3/11-2009	0,09 21,88

Ustawa upoważnia również organy Nadzoru Budowlanego do prowadzenia planowych i doraźnych kontroli w tym również zlecania badań pobranych w toku kontroli próbek wyrobów budowlanych celem potwierdzenia prawidłowości oznakowania i wprowadzania wyrobu do obrotu.

5. Zastosowania

Omawiane wcześniej rodzaje wypełniaczy mają szerokie zastosowanie w mieszankach mineralno-asfaltowych do wszystkich warstw asfaltowych nawierzchni drogowej.

Typowe mieszanki mineralno-asfaltowe, w których nieodłącznym składnikiem jest wypełniacz, to przede wszystkim:

- mieszanki mineralno-asfaltowe wytwarzane i wbudowywane na gorąco,
- mieszanki mineralno-asfaltowe o ciągłym uziarnieniu na zimno.

5.1. Mieszanki mineralno-asfaltowe wytwarzane i wbudowywane na gorąco

Wśród mieszanek mineralno-asfaltowych (**mma**), w których używamy wypełniaczy mineralnych, można wyróżnić:

- beton asfaltowy,
- asfalt lany,
- asfalt piaskowy,
- mieszanki mastyksowo-grysowe SMA,
- mieszanki mineralno-asfaltowe o nieciągłym uziarnieniu MNU.

Z **betonu asfaltowego** wykonywane są wszystkie warstwy konstrukcyjne nawierzchni. Skład granulometryczny mieszanki mineralnej określa się w zależności od przeznaczenia betonu asfaltowego. Konieczność kształtowania warstw konstrukcyjnych nawierzchni o zwiększonej trwałości zmęczeniowej, zwiększonej odporności na odkształcenia trwałe oraz zwiększonej odporności na spękania niskotemperaturowe powoduje, iż ilość wypełniacza i asfaltu dobierana jest indywidualnie na podstawie badań laboratoryjnych – optymalizujących cechy fizyczne i mechaniczne. Betony asfaltowe zawierają od 4 do 9% wypełniacza.

Asfalt lany składa się z wypełniacza w ilości 20-25%, piasku, grysu i asfaltu, dobranych w odpowiednich proporcjach. Stosuje się go do wykonywania warstw ścieralnych nawierzchni dróg, ulic, alejek parkowych, oraz warstw izolacyjnych i nawierzchni na obiektach mostowych. Może również stanowić nawierzchnie posadzek w halach fabrycznych oraz jako warstwa izolacyjna w budownictwie wodnym do umacniania skarp i dna zbiorników wodnych. Duża ilość grysów i wypełniacza sprawia iż po rozłożeniu, bez dodatkowej energii, asfalt lany zagęszcza się pod własnym ciężarem – może być rozkładany ręcznie.

Do warstw ścieralnych dróg o małym obciążeniu ruchem (KR 1-2) bywa stosowany **asfalt piaskowy** – mieszanina piasku naturalnego i łamanego oraz mączki mineralnej w ilości od 5-20% wagowo. Charakteryzuje się dobrą jednorodnością oraz niską nasiąkliwością.

Mieszanka mastyksowo-grysowa SMA to mieszanka składająca się z 70-80% m/m grysów tworzących szkielet nośny, którego wolne przestrzenie wypełnione są mastyksem. SMA stosuje się do wykonywania warstw ścieralnych nawierzchni niezależnie od kategorii obciążenia ruchem. W praktyce warstwy z SMA charakteryzują się dużą szorstkością, odpornością na działanie czynników atmosferycznych oraz na koleinowanie.

Zastosowanie kruszyw o odpowiednim wskaźniku odporności na polerowanie (PSV) czyni nawierzchnię szorstką, a mastyks z wypełniaczem mineralnym w ilości 8-12% m/m zapewnia trwałość warstwy SMA. Wygląd nawierzchni asfaltowej wykonanej z mieszanki SMA przedstawia fot. 2.

Fot. 2. Wygląd powierzchni warstwy z SMA (fot. K. Błażejowski)

Ostatnim rodzajem masy której typ określa się jako pośredni pomiędzy masami typu betonowego i makadamowego są **mieszanki mineralno-asfaltowe o nieciągłym uziarnieniu MNU**. Krzywa uziarnienia charakteryzuje się tu brakiem frakcji pośredniej. Mieszanki te znajdują szerokie zastosowanie do ultra cienkich warstw ścieralnych o grubości 1,5÷2,5 cm, a czasami nawet poniżej 1,5 cm grubości. Mieszanki te mają za zadanie uszczelnienie i uszorstnienie nawierzchni i stosowane są w robotach utrzymaniowych nawierzchni.

5.2. Mieszanki mineralno-asfaltowe o ciągłym uziarnieniu na zimno

Wykonywane przy użyciu emulsji asfaltowej wolnorozpadowej i mieszanki kruszywa o ciągłym uziarnieniu. W kruszywie znajduje się od 3 do 9% wypełniacza. Mieszanka produkowana jest w wytwórniach stałych lub przewoźnych, w których po wymieszaniu składników otrzymujemy kompozyt, w którym kruszywo grube otoczone jest plastyczną zaprawą z emulsji i drobnego kruszywa. Technologia ta najczęściej stosowana jest przy remontach nawierzchni.

Przedstawione powyżej technologie nawierzchni asfaltowych, w których zasadniczym składnikiem mieszanki mineralno-asfaltowej jest wypełniacz, mają szerokie zastosowanie na drogach wszystkich kategorii. Warunkiem jest prawidłowo zaprojektowany skład mieszanki mineralno asfaltowej.

6. Podsumowanie

Wśród wyrobów wapiennych mączka mineralna jest bardzo ważnym materiałem do budowy i utrzymania nawierzchni drogowych. Jej szczególne własności wykorzystywane są w takim kształtowaniu mieszanek mineralno-asfaltowych, aby budować z nich trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe. Świadomość takiego znaczenia wyrobu determinuje wytwórców mączek do ciągłego podnoszenia poprzeczki w zakresie parametrów fizyko-chemicznych oraz dbania o wysoką jakość i stabilność produkcji wypełniacza. Z kolei zaangażowanie w prace badawczo rozwojowe, których efektem jest poszerzenie gamy tych wyrobów, może przyczynić się do istotnego wkładu nauki polskiej w proces kształtowania właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych stosowanych w nawierzchniach drogowych.

7. Bibliografia

[1] J. Piłat, P. Radziszewski, *Nawierzchnie asfaltowe*, WKŁ, 2004.
[2] S. Luszawski, S. Wojdanowicz, *Nowoczesne nawierzchnie bitumiczne*, WKŁ, 1977.
[3] K. Błażejowski, *Kruszywa do SMA i ultra-cienkich warstw ścieralnych na gorąco*, Polskie drogi 10/2005.
[4] P. Jaskuła, *Wapno hydratyzowane w mieszankach mineralno-asfaltowych ASPHACAL – wypełniacz mieszany*, Wydawnictwo Lhoist Polska, 2005.
[5] M. Plizga, S. Witczak, *Kruszywo wypełniające czy wypełniacz? Pierwsze próby badań wypełniaczy wg wymań PN-EN*, Nawierzchnie Asfaltowe 1/2007.
[6] E. Wilk, S. Witczak, *Porównanie metod badawczych kruszyw wypełniających*, Nawierzchnie Asfaltowe 3/2005.
[7] PN-EN-13043:2004, *Kruszywa do mieszanek bitumicznych i powierzchniowych utrwaleń stosowanych na drogach, lotniskach i innych powierzchniach przeznaczonych dla ruchu*.

Tablica NA 1.1 Wymagania wobec kruszyw do mieszanek niezwiązanych przeznaczonych do ulepszonego podłoża i warstw podbudowy

Rozdział w PN-EN 13242: 2010	Właściwość	Wymagania wobec kruszywa do mieszanek niezwiązanych przeznaczonych do zastosowania w warstwie:							Odniesienie do tablicy w PN-EN 13242:2010
		ulepszonego podłoża	podbudowy pomocniczej nawierzchni drogi obciążonej ruchem			podbudowy zasadniczej nawierzchni drogi obciążonej ruchem		nawierzchni z kruszywa niezwiązanego obciążonej ruchem	
		KR 1-6	KR 2	KR 3-4	KR 5-6	KR 1-2	KR 3-4	KR 1-2	
4.3.1	Uziarnienie wg PN-EN 933-1, kategoria nie niższa niż	$G_c80/20$ G_F80 G_A75	$G_c80/20$ G_F80 G_A75	$G_c80/20$ G_F80 G_A80	$G_c80/20$ G_F85 G_A80	$G_c80/20$ G_F80 G_A75	$G_c80/20$ G_F80 G_A80	$G_c80/20$ G_F80 G_A75	Tablica 2
4.3.2	Ogólne granice i tolerancje uziarnienia kruszywa grubego na sitach pośrednich wg PN-EN 933-1, odchylenie nie większe niż wg kategorii	GT_cNR	$GT_c20/17,5$	$GT_c20/15$	$GT_c20/15$	$GT_c20/15$	$GT_c20/15$	$GT_c20/17,5$	Tablica 3
4.3.3	Tolerancje typowego uziarnienia kruszywa drobnego i kruszywa o ciągłym uziarnieniu wg PN-EN 933-1, odchylenie nie większe niż wg kategorii	GT_FNR GT_ANR	GT_F25 GT_A25	GT_F10 GT_A20	GT_F10 GT_A20	GT_FNR GT_ANR	GT_F10 GT_A20	GT_F10 GT_A20	Tablica 4
4.4	Kształt kruszywa grubego [1] wg PN-EN 933-4 a) maksymalne wartości wskaźnika płaskości, kategoria nie wyższa niż	FI_{NR}	FI_{50}	FI_{50}	FI_{35}	FI_{50}	FI_{35}	FI_{50}	Tablica 5
	lub b) maksymalne wartości wskaźnika kształtu, kategoria nie wyższa niż	SI_{NR}	SI_{55}	SI_{55}	SI_{40}	SI_{55}	SI_{40}	SI_{55}	Tablica 6
4.5	Kategorie procentowych zawartości ziaren o powierzchni przekruszonej lub łamanych oraz ziaren całkowicie zaokrąglonych w kruszywie grubym wg PN-EN 933-5	C_{NR}	$C_{NR/70}$	$C_{NR/70}$	$C_{50/30}$	$C_{NR/70}$	$C_{50/30}$	$C_{NR/70}$	Tablica 7

[1] Badaniem wzorcowym oznaczania kształtu kruszywa grubego jest badanie wskaźnika płaskości, ale dopuszcza się oznaczania kształtu kruszywa grubego badaniem wskaźnika kształtu.

Tablica NA 1.1 Wymagania wobec kruszyw do mieszanek niezwiązanych przeznaczonych do ulepszonego podłoża i warstw podbudowy

Rozdział w PN-EN 13242: 2010	Właściwość	Wymagania wobec kruszywa do mieszanek niezwiązanych przeznaczonych do zastosowania w warstwie:							Odniesienie do tablicy w PN-EN 13242:2010
		ulepszonego podłoża	podbudowy pomocniczej nawierzchni drogi obciążonej ruchem			podbudowy zasadniczej nawierzchni drogi obciążonej ruchem		nawierzchni z kruszywa niezwiązanego obciążonej ruchem	
		KR 1-6	KR 2	KR 3-4	KR 5-6	KR 1-2	KR 3-4	KR 1-2	
4.6	Zawartość pyłów wg PN-EN 933-1, kategoria nie wyższa niż a) w kruszywie grubym [2]	f_4	f_4	f_4	f_2	f_2	f_2	f_4	Tablica 8
	b) w kruszywie drobnym [2]	f_{22}							
	c) o ciągłym uziarneniu [2]	f_{12}							
4.7	Jakość pyłów w kruszywie drobnym na frakcji 0/2 wg PN-EN 933-8, po pięciokrotnym zagęszczeniu metodą Proctora wg PN EN 13286-2 nie niższa niż	SE_{30}							
5.2	Odporność na rozdrabnianie 10/14 [3] wg PN-EN 1097-2, kategoria nie wyższa niż	LA_{NR}	LA_{50}	LA_{50}	LA_{45}	LA_{50}	LA_{45}	LA_{50}	Tablica 9
5.3	Odporność na ścieranie kruszywa grubego wg PN-EN 1097-1	M_{DE} Deklarowana							Tablica 11
5.4	Gęstość wg PN-EN 1097-6, rozdział 7, 8 albo 9	Deklarowana							
5.5	Nasiąkliwość, kategoria nie wyższa niż [4] wg PN-EN 1097-6, rozdział 7, 8 albo 9, oznaczana na kruszywie o wymiarach: 31,5/63 lub 4/31,5 lub 0,063/4	$WA_{24}2$							Tablica 18

[2] Łączna zawartość pyłów w mieszance powinna się mieścić w wybranych krzywych granicznych w mieszance w miejscu docelowego zastosowania.
[3] W przypadku, gdy do mieszanki niezwiązanej zostanie użyta mieszanka kruszyw, badanie powinno zostać przeprowadzone na kruszywie o uziarnieniu od 4 do 16 mm określonym w Załączniku A normy PN-EN 1097-2, a wymaganie wg punktu 5.2 powinno być spełnione wobec każdego badanego przedziału uziarnienia.
[4] Jeżeli kruszywo nie spełnia warunku nasiąkliwości WA24, wg punktu 5.5, należy wykonać badanie mrozoodporności wg punktu 7.3.3.

Tablica NA 1.1 Wymagania wobec kruszyw do mieszanek niezwiązanych przeznaczonych do ulepszonego podłoża i warstw podbudowy

Rozdział w PN-EN 13242: 2010	Właściwość	Wymagania wobec kruszywa do mieszanek niezwiązanych przeznaczonych do zastosowania w warstwie:							Odniesienie do tablicy w PN-EN 13242:2010
		ulepszonego podłoża	podbudowy pomocniczej nawierzchni drogi obciążonej ruchem			podbudowy zasadniczej nawierzchni drogi obciążonej ruchem		nawierzchni z kruszywa niezwiązanego obciążonej ruchem	
		KR 1-6	KR 2	KR 3-4	KR 5-6	KR 1-2	KR 3-4	KR 1-2	
5.6	Klasyfikacja składników kruszyw grubych z recyklingu wg prEN 933-11, wymagane kategorie	Rc_{70} Ra_{30-} Rb_{50-} Rg_{5-} $Rcug_{90}$	Rc_{70} Ra_{30-} Rb_{50-} Rg_{5-} $Rcug_{90}$	$Rc_{Deklar.}$ Ra_{30-} Rb_{50-} Rg_{2-} $Rcug_{90}$	$Rc_{Deklar.}$ Ra_{30-} Rb_{50-} Rg_{2-} $Rcug_{90}$	Rc_{70} Ra_{30-} Rb_{50-} Rg_{2-} $Rcug_{90}$	$Rc_{Deklar.}$ Ra_{30-} Rb_{50-} Rg_{2-} $Rcug_{90}$	Rc_{50} Ra_{30-} Rg_{2-} $Rcug_{90}$	Tablica 12
6.2	Siarczany rozpuszczalne w kwasie wg PN-EN 1744-1	AS_{NR}							Tablica 13
6.3	Całkowita zawartość siarki wg PN-EN 1744-1	S_{NR}							Tablica 14
6.5.2.1	Stałość objętości żużla stalowniczego wg PN-EN 1744-1, rozdział 19.3	V_5							Tablica 16
6.5.2.2	Rozpad krzemianu dwuwapniowego w żużlu wielkopiecowym chłodzonym powietrzem, wg PN-EN 1744-1, p.19.1	brak rozpadu							
6.5.2.3	Rozpad związków żelaza w żużlu wielkopiecowym chłodzonym powietrzem, wg PN-EN 1744-1, p.19.2	brak rozpadu							
6.5.3	Składniki rozpuszczalne w wodzie wg PN-EN 1744-3	brak substancji szkodliwych w stosunku do środowiska wg odrębnych przepisów							
6.5.4	Zanieczyszczenia, oznaczone wg PN-EN 933-11	w kruszywie naturalnym zawartość takich ciał obcych jak drewno i plastik łącznie nie większa od 0,1%(m/m), a w kruszywie z recyklingu kategoria nie wyższa niż X_{1-} oraz FL_{5-}							

Tablica NA 1.1 Wymagania wobec kruszyw do mieszanek niezwiązanych przeznaczonych do ulepszonego podłoża i warstw podbudowy

Rozdział w PN-EN 13242: 2010	Właściwość	Wymagania wobec kruszywa do mieszanek niezwiązanych przeznaczonych do zastosowania w warstwie:							Odniesienie do tablicy w PN-EN 13242:2010
		ulepszonego podłoża	podbudowy pomocniczej nawierzchni drogi obciążonej ruchem			podbudowy zasadniczej nawierzchni drogi obciążonej ruchem		nawierzchni z kruszywa niezwiązanego obciążonej ruchem	
		KR 1-6	KR 2	KR 3-4	KR 5-6	KR 1-2	KR 3-4	KR 1-2	
7.2	Zgorzel słoneczna bazaltu wg PN-EN 1367-3, PN-EN 1097-2	SB_{LA}							Tablica 17
7.3.3	Mrozoodporność na frakcji kruszywa 8/16 wg PN-EN 1367-1, kategoria nie wyższa niż	F_7 [3)]							Tablica 20
	Skład materiałowy	Deklarowany							
	Istotne cechy środowiskowe	większość substancji niebezpiecznych określonych w dyrektywie Rady 76/769/EWG zazwyczaj nie występuje w źródłach kruszywa pochodzenia mineralnego; jednak w odniesieniu do kruszyw sztucznych i odpadowych należy badać czy zawartość substancji niebezpiecznych nie przekracza wartości dopuszczalnych wg odrębnych przepisów							

Wszystkie właściwości wymienione w normie PN-EN 13242. a nie wyszczególnione w Tablicy NA 1.1, charakteryzowane są kategorią NR (brak wymagania). Wszystkie wyszczególnione w tablicy poziomy wymagań wobec kruszyw powinny być sprawdzane na próbkach pobranych zgodnie z PN-EN 932-1 i pomniejszonych wg PN-EN 932-2 do wielkości zgodnej z właściwą normą metody badania wymaganej właściwości.

Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego
www.wapno-info.pl

Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego
30-056 Kraków, ul. Toruńska 5, tel. 12 626 18 76, fax 12 626 28 87
e-mail: info@wapno-info.pl
www.wapno-info.pl

ISBN 978-83-925644-4-7