



**Generalna Dyrekcja
Dróg Krajowych i Autostrad**



POLITECHNIKA GDAŃSKA
Katedra Inżynierii Drogowej

**TYMCZASOWE ZALECENIA DOTYCZĄCE
PROJEKTOWANIA, PRODUKCJI I
WBUDOWYWANIA MIESZANEK MINERALNO-
ASFALTOWYCH WAŁOWANYCH O OBNIŻONEJ
TEMPERATURZE OTACZANIA I WBUDOWANIA
(WMA) Z DODATKAMI OBNIŻAJĄCYMI
TEMPERATURĘ PRODUKCJI**



Wersja robocza z dnia 08.03.2013

Gdańsk, 2013

Opracowano w:
Katedrze Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej

Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
80-233 Gdańsk, ul. Narutowicza 11
tel.: 58 3471347, fax: 58 3471097
sekretariat.kid@wilis.pg.gda.pl

Opracował:
mgr inż. Marcin Stienss

Konsultacje i weryfikacja:
prof. dr hab. inż. Józef Judycki – Kierownik Katedry
dr inż. Bohdan Dożycki

Opracowano na zlecenie:
Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad
00-848 Warszawa, ul. Żelazna 59

SPIS TREŚCI

1. WPROWADZENIE.....	4
2. CEL STOSOWANIA MIESZANEK WMA.....	5
3. PROJEKTOWANIE MIESZANKI WMA Z DODATKAMI OBNIŻAJĄCYMI TEMPERATURĘ.....	6
4. OKREŚLENIE TEMPERATUR TECHNOLOGICZNYCH PRZY WYTWARZANIU I WBUDOWYWANIU MIESZANEK WMA.....	10
5. PRODUKCJA MIESZANEK WMA.....	11
6. WBUDOWANIE MIESZANEK WMA.....	15
7. BADANIA I POMIARY W TRAKCIE WYKONANIA I ODBIORU ROBÓT	15
8. PODSUMOWANIE	16
9. LITERATURA	17

1. Wprowadzenie

- 1.1. Mieszanki mineralno-asfaltowe (mma) o obniżonej temperaturze otaczania i wbudowania (w języku angielskim: „*Warm Mix Asphalt*”, czyli „ciepłe mieszanki mineralno-asfaltowe”) nazywane będą dalej w skrócie „mieszankami WMA”.
- 1.2. Dodatki obniżające temperaturę mma nazywane będą dalej w skrócie „dodatkami WMA”.
- 1.3. Technologie produkcji mieszanek WMA mogą być zastosowane do wytwarzania wszystkich rodzajów wałowanych mieszanek mineralno-asfaltowych.
- 1.4. Niniejsze zalecenia zostały opracowane na podstawie studiów i doświadczeń z mieszankami wałowanymi (beton asfaltowy i SMA) produkowanymi z dodatkami WMA modyfikującymi lepkość bądź działającymi powierzchniowo-czynnie, których nazwy handlowe przedstawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Dodatki WMA, które obejmują niniejsze zalecenia

Rodzaj	Nazwa handlowa
Dodatki pochodzenia organicznego z grupy wosków i amidów kwasów tłuszczowych wpływające na lepkość asfaltu	Sasobit
	Asphaltan-B
	Licomont BS 100
	Rediset WMX
	Sonne Warmix
	TLA-X Warm Mix
	LEADCAP
Dodatki chemiczne działające powierzchniowo czynnie i polepszające zwilżalność kruszywa przez asfalt	Rediset LQ
	CECA Base RT
	Iterlow T / QualiTherm / HyperTherm

- 1.5. Zalecenia nie dotyczą technologii obniżenia temperatury produkcji i wbudowania mieszanek mineralno-asfaltowych za pomocą spieniania asfaltu przy użyciu specjalistycznych instalacji lub dodawania wilgotnego kruszywa drobnej frakcji.
- 1.6. Użycie w składzie mieszanki mineralno-asfaltowej dodatku WMA wymaga zgody Zamawiającego, o ile nie jest to rozwiązanie zawarte w projekcie i specyfikacji technicznej.
- 1.7. W przypadku stosowania dodatków WMA innych niż wymienione w tablicy 1 konieczne jest przeprowadzenie badań, wykorzystanie danych producenta i doświadczeń z innych zastosowań, przed ich wdrożeniem do produkcji.

1.8. Mieszanki WMA mogą być:

- Produkowane w obniżonych temperaturach. Typowa temperatura produkcji mieszanek WMA w takim przypadku zawiera się w przedziale około 120-140°C, natomiast jest to zawsze powyżej 100°C.
- Wyprodukowane w temperaturze tradycyjnej. W takim przypadku wykorzystywane są pozytywne cechy mieszanki WMA w innym celu, niż obniżenie temperatury np. polepszenie urabialności, możliwość wydłużenia czasu transportu, wbudowywanie w niższych temperaturach otoczenia.

1.9. Właściwości fizykomechaniczne i eksploatacyjne mieszanek WMA muszą spełniać te same wymagania, które obowiązują w stosunku do mieszanek produkowanych w tradycyjnych temperaturach.

1.10. Niniejsze zalecenia należy traktować jako tymczasowe i mogą one ulec zmianie wraz ze wzrostem ilości doświadczeń z użyciem mieszanek WMA.

2. Cel stosowania mieszanek WMA

2.1. Mieszanki WMA mogą być zastosowane w następujących okolicznościach:

- a) Potrzeby obniżenia zużycia energii, redukcji emisji gazów i pyłów oraz zmniejszenia starzenia technologicznego asfaltu poprzez obniżenie temperatury produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej.
- b) Konieczności wykonania nawierzchni przy niskich temperaturach otoczenia, które dla mieszanek tradycyjnych groziłyby szybkim schładzaniem układanej warstwy nie pozwalając na jej właściwe zagęszczenie. Końcowa temperatura zagęszczania mieszanek WMA może być niższa, przez co okres pozwalający na zagęszczenie warstwy jest dłuższy.
- c) Transportu mieszanki na dłuższe odległości, który nie pozwalałby na zapewnienie odpowiednio wysokiej temperatury mieszanki tradycyjnej w momencie jej rozładunku i układania.
- d) Konieczności szybkiego oddania nawierzchni do użytku, ponieważ okres potrzebny na ochłodzenie ułożonej warstwy z mieszanki WMA do temperatury umożliwiającej wprowadzenie na nią ruchu samochodowego jest krótszy, niż w przypadku mieszanek produkowanych w temperaturze tradycyjnej.
- e) Produkcji mieszanki z udziałem granulatu asfaltowego z recyklingu – niższa temperatura powoduje mniejsze oddziaływanie na granulaty asfaltowy.

2.2. Przypadki technologiczne b) i c) wymagają wyprodukowania mieszanki WMA w temperaturze normalnej, aby osiągnąć dłuższy okres pozwalający na zagęszczanie.

- 2.3. Mieszanka WMA wyprodukowana bez obniżania temperatury jest bardziej urabialna i łatwiej zagęszczalna w porównaniu z mieszanką tradycyjną. Cecha ta ma znaczenie w sytuacji prowadzenia robót bitumicznych w trudno dostępnych miejscach (np. układanie nawierzchni w ostrych klinach na skrzyżowaniach i łącznicach węzłów, w sąsiedztwie armatury ulicznej, wypełnianie łat, itp.)

3. Projektowanie mieszanki WMA z dodatkami obniżającymi temperaturę

- 3.1. W przypadku planowanego stosowania mieszanek WMA z dodatkiem WMA konieczne jest wykonanie badań typu uwzględniających w składzie mieszanki mineralno-asfaltowej określony dodatek. W trakcie projektowania mieszanki WMA można opierać się na uprzednio zaprojektowanej mieszance tradycyjnej bądź zaprojektować ją od nowa. Nie należy natomiast wytwarzać mieszanki WMA opierając się tylko na badaniach typu mieszanki tradycyjnej i dodając jedynie środek obniżający temperaturę w trakcie samej produkcji, bez sprawdzenia parametrów takiej mieszanki.
- 3.2. Badania typu powinny obejmować sprawdzenie identycznych parametrów fizykomechanicznych, jak dla mieszanek mineralno-asfaltowych wytwarzanych w temperaturze tradycyjnej.
- 3.3. Proces projektowania recepty mieszanki WMA nie różni się istotnie od projektowania mieszanki tradycyjnej. W tablicy 2 pokazano schematycznie etapy projektowania i różnice pomiędzy różnymi rodzajami mieszanek.

Tablica 2. Etapy projektowania mieszanki WMA oraz różnice w stosunku do mieszanki tradycyjnej.

Lp.	Etap projektowania recepty	Różnice w stosunku do projektowania składu mieszanki tradycyjnej
1.	Dane podstawowe	Konieczny wybór danego dodatku WMA oraz cel zastosowania dodatku.
2.	Dobór kruszyw i kompozycja uziarnienia	Bez zmian
3.	Dobór ilości asfaltu	Do asfaltu powinien być dodany określony dodatek WMA
4.	Określenie warunków przygotowania i zagęszczania próbek	Konieczne indywidualne określenie temperatury zagęszczania próbek.
5.	Zakres badań laboratoryjnych	Bez zmian

6.	Określenie temperatur technologicznych	Ustalane indywidualnie w zależności od celu zastosowania mieszanki WMA.
----	--	---

Dane podstawowe do projektowania mieszanki WMA

- 3.4. Dane wejściowe związane z przyjęciem rodzaju mieszanki (beton asfaltowy, SMA, inne) dla określonej warstwy nawierzchni, określeniem typu uziarnienia oraz rodzaju lepiszcza należy przyjmować tak samo, jak dla mieszanki tradycyjne.
- 3.5. Przed dalszymi etapami projektowania recepty i wykonywania badań typu należy określić, czy celem jest:
- Obniżenie temperatury produkcji mieszanki,
 - Uzyskanie możliwości transportu mieszanki na większą odległość,
 - Poprawa urabialności i zagęszczalności przy wbudowywaniu i zagęszczaniu mieszanki w niskich temperaturach.
- 3.6. Powyższe założenia a), b) lub c) są istotne dla dalszego postępowania związanego z wytwarzaniem próbek laboratoryjnych.
- 3.7. W następnej kolejności należy określić rodzaj dodatku WMA oraz technologię jego dozowania w trakcie produkcji. Należy szczególnie mieć na uwadze możliwości techniczne oraz uwarunkowania logistyczne (np. częstotliwość dostaw asfaltu) panujące na danej wytwórni, która ma posłużyć do wyprodukowania mieszanki WMA.
- 3.8. Ilość dozowanego dodatku WMA w stosunku do asfaltu należy przyjmować na podstawie zaleceń producenta. Wynosi ona zwykle 2-3% w stosunku do masy asfaltu dla dodatków WMA modyfikujących lepkość w postaci stałej (granulki lub płatki) lub 0,3 – 0,5% w stosunku do masy asfaltu dla dodatków działających powierzchniowo czynnie w postaci płynnej.

Projekt mieszanki mineralno-asfaltowej

- 3.9. Produkcja mieszanek z dodatkami WMA nie wymaga zmian w procesie doboru kruszyw i projektowania uziarnienia mieszanki mineralnej w stosunku do mieszanek produkowanych w temperaturze normalnej, dlatego należy wykorzystywać wymagania i zasady dotychczas stosowane.
- 3.10. Dla mieszanek z dodatkami WMA nie są wymagane zmiany w procesie doboru ilości asfaltu, dlatego jego ilość należy przyjąć według ogólnych zasad.
- 3.11. Procedura projektowania całkowicie nowego składu mieszanki mineralno-asfaltowej z dodatkiem WMA obejmuje wykonanie następujących czynności:
- Zaprojektowanie mieszanki mineralnej.

- b) Przyjęcie kilku zawartości asfaltu.
- c) Wykonanie próbek referencyjnej mieszanki mineralno-asfaltowej, tj. bez dodatku WMA w kilku seriach różniących się zawartością asfaltu, w temperaturze tradycyjnej, określonej dla danego typu asfaltu.
- d) Wybór optymalnej zawartości asfaltu na podstawie wyników badań parametrów fizykomechanicznych mieszanki referencyjnej.
- e) Wykonanie i zagęszczenie w kilku różnych temperaturach serii próbek Marshalla przygotowanych z mieszanki mineralno-asfaltowej z dodatkiem WMA, z wybraną w poprzednim kroku zawartością asfaltu – według punktu 3.16.
- f) Przyjęcie miarodajnej temperatury zagęszczania próbek – według punktu 3.16.
- g) Wykonanie i zagęszczenie próbek mieszanki mineralno-asfaltowej z dodatkiem WMA w temperaturze miarodajnej i wykonanie badań parametrów fizykomechanicznych, jakie są wymagane dla danego typu mieszanki mineralno-asfaltowej.

3.12. Procedura modyfikacji wcześniej znanego składu mieszanki mineralno-asfaltowej poprzez dodanie dodatku WMA obejmuje następujące czynności:

- a) Wykonanie i zagęszczenie w kilku różnych temperaturach serii próbek Marshalla przygotowanych z mieszanki mineralno-asfaltowej z dodatkiem WMA, o składzie mineralnym i zawartością asfaltu zgodną z wcześniej znaną mieszanką mineralno-asfaltową – według punktu 3.16.
- b) Przyjęcie miarodajnej temperatury zagęszczania próbek – według punktu 3.16.
- c) Wykonanie i zagęszczenie próbek mieszanki mineralno-asfaltowej z dodatkiem WMA w temperaturze miarodajnej i wykonanie badań parametrów fizykomechanicznych, jakie są wymagane dla danego typu mieszanki mineralno-asfaltowej.

3.13. Dotychczasowo zebrane doświadczenia pokazują, że włączenie w skład mieszanki mineralno-asfaltowej dodatków WMA wpływa pozytywnie na odporność mieszanek na działanie wody i mrozu, przez co stosowanie dodatkowo środka adhezyjnego nie jest konieczne. Konieczne jest jednak wykonanie badań wskaźnika ITSR. Jeżeli nie zostaną osiągnięte wymagane dla danego typu mieszanki mineralno-asfaltowej wartości wskaźnika ITSR z samym dodatkiem WMA, należy zastosować odpowiedni środek adhezyjny.

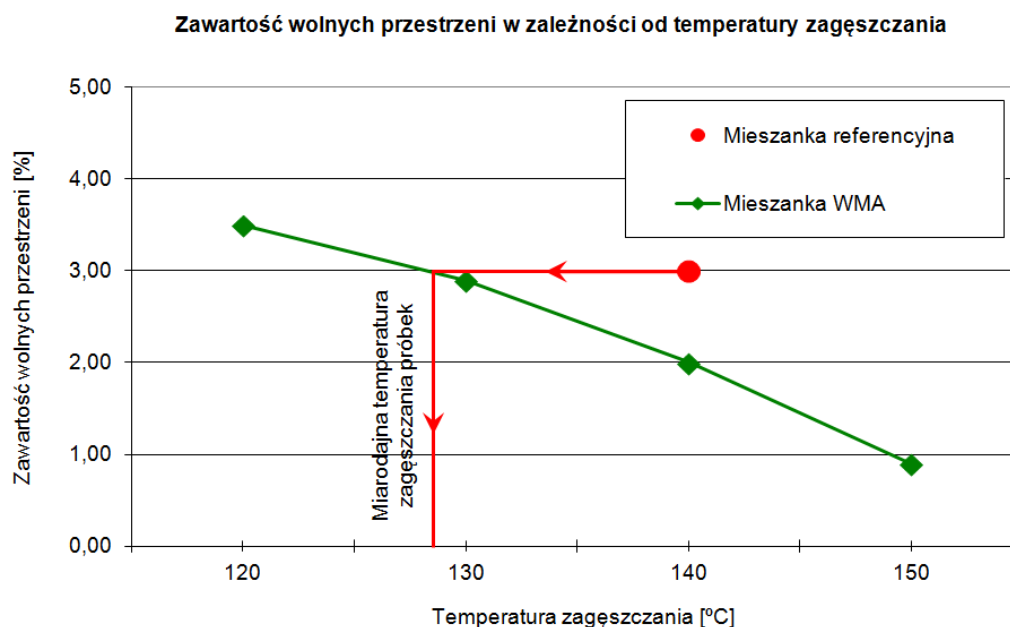
Przygotowanie asfaltu z dodatkiem WMA w laboratorium

3.14. Warunkiem otrzymania w laboratorium poprawnej jakościowo mieszanki mineralno-asfaltowej WMA jest jednorodne wymieszanie asfaltu z dodatkiem WMA. W warunkach laboratoryjnych do tego celu należy stosować mieszadło

mechaniczne (np. zamontowane w uchwycie wiertarki). Należy przygotować taką ilość asfaltu z dodatkiem, aby wystarczyła ona do wykonania wszystkich przewidzianych próbek laboratoryjnych potrzebnych w procesie projektowania mieszanki i wykonywania wstępnych badań typu. W trakcie dozowania dodatku do pojemnika z lepiszczem i mieszania asfalt powinien być podgrzany do temperatury, w której będzie wykonywana mieszanka do badań. Podczas mieszania trzeba zwrócić uwagę, aby granulki lub płatki dodatku (ewentualnie porcja dodatku w postaci płynnej) nie osadzały się na mieszadle, ponieważ spowoduje to przekłamanie w ilości dodawanego środka. Jest to szczególnie ważne dla dodatków w postaci płynnej, dozowanych w bardzo małej ilości (np. 0,35%, co przy masie asfaltu w puszcze 10 kg oznacza konieczność dodania jedynie 35 g). Z tego względu pomocne może być uprzednie podgrzanie samego narzędzia mieszającego do temperatury asfaltu. Zaleca się wymieszanie asfaltu z dodatkiem w dzień poprzedzający wykonanie mieszanki mineralno-asfaltowej i zagęszczanie próbek, tak aby jeszcze bardziej ujednolicić mieszaninę asfaltu i dodatku.

Określenie miarodajnej temperatury zagęszczenia próbek mieszanki WMA w laboratorium

- 3.15. Wykonanie próbek laboratoryjnych z mieszanek WMA w temperaturze jak dla mieszanki tradycyjnej może spowodować ich przegęszczenie i otrzymanie zbyt niskiej zawartości wolnych przestrzeni. Z tego powodu konieczne jest indywidualne określenie miarodajnej temperatury zagęszczania próbek, którą należy stosować niezależnie od przyszłego sposobu stosowania mieszanki WMA, tj. produkcji w obniżonej temperaturze lub produkcji w temperaturze tradycyjnej i wykorzystanie lepszej urabialności bądź transport mieszanki na większe odległości.
- 3.16. W celu określenia miarodajnej temperatury zagęszczania próbek w laboratorium należy przeprowadzić następujące czynności:
 1. Wykonać z mieszanki mineralno-asfaltowej z dodatkiem WMA serie próbek Marshalla liczące minimum 3 sztuki i zagęścić je – oprócz temperatury tradycyjnej – w kilku dodatkowych poziomach temperatury, np. 120, 130, 140, 150°C.
 2. Narysować dla próbek mieszanki WMA wykres zależności zawartości wolnych przestrzeni od temperatury zagęszczania. Na wykres należy nanieść zawartość wolnych przestrzeni występującą w próbkach wykonanych z mieszanki referencyjnej (bez dodatku WMA), które zagęszczono w temperaturze odpowiadającej rodzajowi asfaltu. Przykładowy wykres pokazano na rysunku 1.
 3. Odczytać miarodajną temperaturę zagęszczania próbek dla mieszanki WMA, tak aby zawartość wolnych przestrzeni w mieszanke WMA była równa tej w mieszanke referencyjnej.



Rysunek 1. Przykładowy wykres zależności ilości wolnych przestrzeni w próbkach Marshalla od temperatury zagęszczania próbek.

Informacja o przyjętej miarodajnej temperaturze zagęszczania w laboratorium musi być podana w badaniach typu, aby w trakcie wykonywania zarobu próbnego lub sprawdzania składu w innym laboratorium nie doszło do zagęszczania próbek w innej temperaturze, a tym samym nie doszło do otrzymania nieprawidłowej zawartości wolnych przestrzeni. Przy zagęszczaniu mieszanki WMA w temperaturze wyższej niż miarodajna nastąpi przegęszczenie próbek.

Zakres badań laboratoryjnych

- 3.17. Badania mieszanek WMA w trakcie przygotowywania recepty, wykonywania badań typu oraz w trakcie wbudowywania należy prowadzić w zakresie takim samym, jak dla mieszanek tradycyjnych oraz stosować te same kryteria. Uzyskane wyniki badań muszą spełniać wymogi stawiane mieszankom tradycyjnym.

4. Określenie temperatur technologicznych przy wytwarzaniu i wbudowywaniu mieszanek WMA

- 4.1. Poziomy najwyższej (bezpośrednio po wytworzeniu w wytwórni) oraz najniższej (w momencie dostarczenia na miejsce wbudowania) temperatury technologicznej dla mieszanek WMA zależą od jej wykorzystania.
- 4.2. W przypadku produkcji mieszanki WMA w celu wydłużenia czasu transportu lub wbudowywania przy niskiej temperaturze otoczenia najwyższa temperatura mieszanki bezpośrednio po wyprodukowaniu nie powinna przekraczać poziomu jak dla mieszanek tradycyjnych.

- 4.3. W przypadku wytwarzania mieszanki WMA w celu obniżenia temperatury produkcji i zmniejszenia zużycia energii, temperatury technologiczne należy ustalać indywidualnie poprzez wykonanie zarobu próbnego na wytwórni i poprzez wykonanie próbnego rozkładania i zagęszczania mieszanki WMA.
- 4.4. Dotychczasowe doświadczenia i studia literatury pokazują, że możliwość obniżenia temperatury wytwarzania mieszanki WMA wzrasta wraz ze wzrostem temperatury otoczenia. Największa redukcja temperatury produkcji mieszanek z dodatkami WMA (rzędu 15-30°C) możliwa jest przy dobrej pogodzie i temperaturze otoczenia większej od 20°C.
- 4.5. Najniższą temperaturę technologiczną mieszanki WMA (w momencie dostarczenia na miejsce wbudowania) należy ustalać indywidualnie na podstawie danych otrzymanych z odcinków próbnych, w trakcie próbnego rozkładania i zagęszczania mieszanki WMA. Należy prowadzić obserwację zachowania się mieszanki WMA przy rozkładaniu i przy ruchu walców. Przy pierwszych próbach rozkładania mieszanki WMA należy oprzeć się na doświadczeniu personelu i zweryfikować przyjęte wstępnie założenia poprzez późniejsze badania zagęszczenia i zawartości wolnych przestrzeni.
- 4.6. Wskazane byłoby, o ile to możliwe, prowadzenie bieżącej kontroli zagęszczenia za pomocą urządzeń umożliwiających natychmiastowy pomiar gęstości (np. sond izotopowych), ale ze względu na ich rzadkie stosowanie, konieczne może być podejmowanie wstępnych decyzji na podstawie obserwacji.
- 4.7. Trzeba mieć na uwadze, że temperatura miarodajna określona w laboratorium do przygotowania próbek laboratoryjnych nie jest obowiązująca na wytwórni. Nawet jeśli uzyskana w laboratorium miarodajna temperatura zagęszczania opisana w punkcie 4.15 wskazywałaby na możliwość obniżenia temperatury jedynie o kilka lub kilkanaście stopni Celsjusza, to w warunkach terenowych redukcja ta może okazać się istotnie większa, jak podano w punkcie 4.4.

5. Produkcja mieszanek WMA

- 5.1. Wytwarzanie mieszanek z dodatkami WMA możliwe jest w istniejących wytwórniach, ale wymaga szczególnego podejścia do następujących kwestii:
 - a) Zapewnienie odpowiedniego wysuszenia kruszywa i temperatury gazów wylotowych z bębna suszarki.
 - b) Sposobu dozowania dodatku do lepiszcza lub do mieszanki mineralno-asfaltowej.
- 5.2. Obniżenie temperatury produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej osiąga się poprzez obniżenie temperatury gorącego kruszywa regulując pracę palnika w bębnie suszarki. Stwarza to ryzyko niedostatecznego wysuszenia kruszywa

- oraz skraplania się pary wodnej w filtrach systemu odpylania gazów wylotowych z bębna suszarki, ponieważ temperatura gazów wylotowych w filtrach będzie niższa. Zjawisko to może prowadzić do zapychania się filtrów. Aby temu przeciwdziałać należy skorygować (zmniejszyć) prędkość przepływu kruszywa przez bęben suszarki, co może wiązać się z koniecznością zmniejszenia wydajności całego procesu produkcji. Ponadto trzeba zadbać o odpowiednią izolację układu odprowadzenia gazów wylotowych.
- 5.3. Przygotowując się do wytwarzania mieszanek WMA w obniżonych temperaturach warto rozważyć praktykę zapobiegania nadmiernemu zawilgoceniu kruszyw jeszcze przed rozpoczęciem samej produkcji np. poprzez składowanie materiałów (zwłaszcza drobnej frakcji) w zadaszonych zasiekach i właściwe ukształtowanie powierzchni placu składowego ułatwiającego odpływ wody opadowej.
- 5.4. W przypadku kiedy mieszanka WMA w obniżonej temperaturze ma być produkowana jako pierwsza po uruchomieniu wytwórni w danym dniu, właściwym działaniem jest wyprodukowanie kilku zarobów mieszanki w temperaturze tradycyjnej, a dopiero potem jej obniżenie. Pozwoli to na wcześniejsze rozgrzanie elementów odprowadzających gazy wylotowe i może pomóc w rozwiązywaniu kwestii skraplania się pary wodnej na elementach filtrów.
- 5.5. Problemy z niedostatecznym wysuszeniem kruszywa oraz skraplaniem się pary wodnej w systemie filtrów nie występują w sytuacji produkcji mieszanek WMA bez obniżania temperatury produkcji.
- 5.6. Ważną kwestią jest opracowanie właściwego sposobu dozowania dodatków WMA w trakcie produkcji. Obecnie na rynku można spotkać dodatki w następujących postaciach:
- kulistych granulek o średnicy 1-3 mm,
 - płatków o długości 2-5 mm,
 - drobnego proszku,
 - pastylek stanowiących połączenie włókien celulozowych i dodatku WMA modyfikującego lepkość.
 - ciekłej o konsystencji środka adhezyjnego.
- 5.7. Dodatki WMA w postaci stałej transportowane są w workach lub w dużych opakowaniach typu „big-bag”. Dodatki w postaci płynnej występują w opakowaniach z tworzyw sztucznych lub metalowych. Przechowywanie dodatków na terenie wytwórni mas bitumicznych musi być zgodne z zaleceniami ich producentów.
- 5.8. Dozowanie do asfaltu dodatków WMA może odbywać się w następujący sposób:
- a) Wymieszanie asfaltu z dodatkiem WMA w postaci stałej lub ciekłej w rafinerii. Rozwiązanie to gwarantuje najlepsze wymieszanie i możliwość

jego zastosowania powinna być rozważana w pierwszej kolejności w przypadku chęci podjęcia produkcji mieszanek WMA. Pozwala na bezproblemowe podejmowanie i kończenie ich wytwarzania (nawet w ciągu jednego dnia roboczego), ponieważ wymaga to jedynie zmiany miejsca poboru asfaltu z różnych zbiorników. Przeznaczenie jednego zbiornika na asfalt z dodatkiem WMA pomniejsza jednakże ogólną ilość zbiorników z asfaltem (lub asfaltami) służącymi do wyprodukowania mieszanek tradycyjnych. Mimo zalet technologia ta nie jest w Polsce dotąd szerzej stosowana.

- b) Mieszanie asfaltu z dodatkiem WMA w postaci stałej na bieżąco, w trakcie produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej, z użyciem dodatkowych instalacji. Do tego celu należy wyposażyć wytwórnię w specjalne dozatory i urządzenia. Następuje w nich podgrzanie i upłynnienie granulek bądź płatków dodatku, który następnie w postaci ciekłej pompowany jest do wagi asfaltu. Inny rodzaj tego typu urządzeń wprowadza dodatek do strumienia asfaltu płynącego w instalacji tak, że dopiero w asfalcie następuje rozpuszczenie i wymieszanie środka. Oba rodzaje urządzeń umożliwiają bezproblemowe produkowanie nawet niewielkich ilości mieszanek WMA, ponieważ dozowanie dodatków może być w każdej chwili wyłączone. Nie ma zatem również problemów z ograniczeniem zdolności magazynowej lepiszcza na wytwórni. Wymagają jednak zakupu i instalacji niezbędnych urządzeń.

Dla mieszanek SMA możliwe jest użycie dodatku w postaci pastylek połączonych ze stabilizatorem spływności mastyksu, ponieważ do jego transportu do mieszalnika otaczarni służy pneumatyczny system przeznaczony do dozowania włókien celulozowych. Przy tym sposobie dozowania występuje zjawisko pewnej „bezwładności” układu wynikające z zalegania poprzednio stosowanych włókien w rurach instalacji, a zwłaszcza na dnie silosa mieszającego pastylki. Może to powodować pewne trudności logistyczne przy konieczności szybkiej zmiany rodzaju produkowanej mieszanki SMA z WMA na tradycyjną. Wymagane jest wtedy opróżnienie silosa z jednego rodzaju włókien i wypełnienie go nowym. Nie zawsze bowiem koniec produkcji mieszanki SMA typu WMA następuje jednocześnie z całkowitym wyczerpaniem w silosie włókien danego rodzaju. Wadą tego typu dodatku jest fakt, że może być stosowany tylko w mieszankach SMA. Ponadto proporcja w pastylkach dodatku modyfikującego lepkość względem włókien jest stała, przez co zmiana ilości któregośkolwiek z tych składników w stosunku do masy mieszanki mineralno-asfaltowej wiąże się jednocześnie ze zmianą ilości drugiego składnika dodatku.

- c) Mieszanie asfaltu z dodatkiem WMA w postaci płynnej na bieżąco, w trakcie produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej, z użyciem instalacji przeznaczonej dla środka adhezyjnego. Instalacje te podają odpowiednią ilość podgrzanego płynnego dodatku do wagi asfaltu i kontrolowane są przez system komputerowy nadzorujący pracę całej wytwórni. Trzeba mieć na uwadze, że po uruchomieniu produkcji mieszanki WMA z takim

dodatkiem kilka pierwszych zarobów należy potraktować jako przejściowe, ponieważ w przewodach i pompie prowadzących dodatek z głównego zbiornika (położonego często na poziomie gruntu) do wagi asfaltu może jeszcze znajdować się poprzednio stosowany środek adhezyjny. To samo zagadnienie występuje w przypadku zakończenia produkcji mieszanki WMA i przejścia do produkcji mieszanki tradycyjnej.

- d) Wymieszanie asfaltu z dodatkiem stałym lub płynnym w zbiornikach wytwórni mas bitumicznych. Czynność tę należy wykonać na tyle wcześniej przed produkcją, aby osiągnąć całkowitą jednorodność mieszaniny. Sposób ten wymaga sprawdzenia następujących zagadnień:
- Sprawdzenia fizycznej możliwości dodania środka, np. poprzez otwory w górnej części zbiornika. Trzeba pamiętać, że aby osiągnąć przykładową proporcję 3% danego środka w stosunku do masy asfaltu – którego w zbiorniku może znajdować się nawet 40 ton – konieczne jest wsypanie 1200 kg granulek do zbiornika. Czynność ta nie może powodować zagrożenia dla pracowników, np. kilkumetrowego upadku z górnej powierzchni pionowego zbiornika,
 - Sprawdzenia możliwości jednorodnego wymieszania się asfaltu z dodatkiem. Wprowadzenie kilkuset kilogramów granulek do zbiornika może spowodować ich nadmierną koncentrację w jednym miejscu. Z tego powodu zbiornik asfaltu musi być wyposażony w mieszadło. Można rozważać wymieszanie przez pompowanie asfaltu w obiegu zamkniętym.
 - Określania dokładnej ilości asfaltu w zbiorniku, aby obliczyć niezbędną ilość dodatku WMA.
 - Rozwiązania zagadnień logistycznych związanych z koordynacją terminu dostaw asfaltu, dozowaniem dodatków do zbiornika oraz zużyciem tak przygotowanego asfaltu.
 - Asfalt wymieszany z dodatkiem WMA musi być zużyty w terminie określonym przez producenta zastosowanego dodatku WMA, aby nie dopuścić do utraty jego właściwości.
- e) W pewnych sytuacjach możliwe jest dozowanie dodatków WMA ręcznie wprost do mieszalnika wytwórni lub wagi asfaltu (w przypadku dodatków płynnych). Należy jednak stwierdzić, że sposób ten posiada wiele niedogodności:
- Wymaga zaangażowania pracownika do cyklicznego dozowania dodatku do mieszalnika lub wagi asfaltu. Praca ta odbywa się w bardzo trudnych warunkach, tj. dużym hałasie i zapyleniu. Istnieje możliwość popełnienia błędu przy odmierzaniu ilości dodatku na jeden zarób mieszalnika lub nie dodania środka do zarobu w ogóle. Ponadto konieczne jest dostarczenie dodatku do miejsca w którym fizycznie znajduje się mieszalnik – zaś w przypadku wytwórni o budowie wieżowej może znajdować się on na wysokości nawet kilkunastu metrów.
 - Przy dozowaniu wprost do mieszalnika osiągnięcie właściwego wymieszania dodatku w postaci stałej (granulki, płatki) z lepyszczem

wymaga zmiany kolejności dozowania składników mieszanki do mieszalnika wytwórni. Najpierw powinno być zadozowane kruszywo drobne, kruszywo wypełniające oraz asfalt w celu uzyskania w mieszalniku mastyksu. Dalej następuje wprowadzenie do mieszalnika dodatku WMA, który zostaje wymieszany z mastyksem, a dopiero na końcu kruszywo grube. Wszystkie wymienione czynności mogą prowadzić do wydłużenia czasu mieszania w stosunku do produkcji mieszanek tradycyjnych.

Podsumowując, produkcję mieszanek WMA w trakcie którego następuje ręcznie dozowanie dodatków do mieszalnika bądź wagi asfaltu należy raczej uznać za eksperymentalną i może się ona ograniczać jedynie do ilości kilkudziesięciu – kilkuset ton.

5.9. Dotychczasowe doświadczenia zawarte w literaturze pokazują, że w przypadku chęci redukcji temperatury produkcji mieszanki, wielkość o jaką można ją obniżyć zależy jest od temperatury otoczenia, tj.:

- przy temperaturze otoczenia $> 20^{\circ}\text{C}$ – możliwe jest obniżenie temperatury produkcji od 15 do 30°C ,
- przy temperaturze otoczenia $10 - 20^{\circ}\text{C}$ – możliwe obniżenie od 15 do 25°C ,
- przy temperaturze otoczenia $5 - 10^{\circ}\text{C}$ – możliwe obniżenie od 0 do 15°C

przy czasie transportu mieszanki ok. 30 minut.

W przypadku temperatury otoczenia niższej od 5°C nie należy obniżać temperatury produkcji mieszanki, zaś dodatki WMA należy traktować jako środki umożliwiające właściwe zagęszczenie warstwy nawierzchni przy niskiej temperaturze otoczenia.

6. Wbudowanie mieszanek WMA

6.1. Podłoże na którym ma zostać ułożona mieszanka WMA musi spełniać te same wymagania, które obowiązują przy układaniu mieszanek tradycyjnych.

6.2. Sam proces układania i zagęszczania mieszanek WMA również nie różni się zasadniczo od układania i zagęszczania mieszanek tradycyjnych. Stosowane są te same maszyny – rozkładarki i walce. Jednakże z uwagi na brak dostatecznej ilości doświadczeń, temperatury początku i końca wałowania powinny być każdorazowo ustalane dla danych warunków panujących na budowie przy pomocy doświadczeń uzyskanych przy próbnym wbudowaniu na odcinku próbnym. Na chwilę obecną zalecane jest aby w trakcie wbudowywania mieszanek WMA prowadzony był stały monitoring zagęszczenia warstwy przy użyciu urządzeń umożliwiających natychmiastowy pomiar (np. sond izotopowych bądź urządzeń mierzących stałą dielektryczną warstwy asfaltowej).

7. Badania i pomiary w trakcie wykonania i odbioru robót

7.1. Zakres i częstotliwość badań w trakcie wykonania i odbiorów nawierzchni drogowych wykonanych z mieszanek WMA musi spełniać te same wymagania, które obowiązują przy badaniach i pomiarach w trakcie

wykonania i odbioru mieszanek tradycyjnych, mając jednakże na względzie uwagi dotyczące temperatur technologicznych, które należy oceniać w oparciu o informacje zawarte w badaniach typu, specyfikacjach technicznych lub Programie Zapewnienia Jakości.

8. Podsumowanie

- 8.1. W przypadku produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych WMA wykorzystujących dodatki modyfikujące lepkość bądź działające powierzchniowo czynnie należy bezwzględnie stosować się do zaleceń producenta danego dodatku.
- 8.2. Stosowanie mieszanek WMA nie może być uznawane jako środek zapobiegawczy, pozwalający wykonawcy na nieprzestrzeganie zasad technologicznych w trakcie budowy nawierzchni, tj. układania mieszanki na nieoczyszczonym podłożu pokrytym wodą lub śniegiem, prowadzenia zagęszczenia niewłaściwym (zbyt lekkim) sprzętem bądź nieposiadania wystarczającej ilości jednostek transportowych lub sprzętowych.
- 8.3. Niniejsze tymczasowe zalecenia należy zweryfikować w miarę zdobywania kolejnych doświadczeń uzyskiwanych w trakcie budowy odcinków dróg wykorzystujących mieszanki z dodatkami WMA.
- 8.4. Mieszanki WMA spełnią swoją oczekiwaną rolę pod warunkiem zachowania reżimów technologicznych i zasad dobrej praktyki inżynierskiej podczas wykonywania warstw nawierzchni z zastosowaniem tych materiałów.

9. Literatura

- 9.1. Mieszanki mineralno-asfaltowe o obniżonej temperaturze. Porady z praktyki do praktyki 2009, Deutscher Asphaltverband e.V., 2009.
- 9.2. Warm-Mix Asphalt: Best Practices. 2nd Edition, National Asphalt Pavement Association, 2011.
- 9.3. Warm-Mix Asphalt: Contractors' Experiences, National Asphalt Pavement Association, 2008.