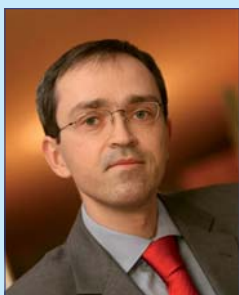




HALINA SARLIŃSKA

Polimex-Mostostal S.A.
halina.sarlińska@
polimex-mostostal.pl



KRZYSZTOF BŁĄŻEJOWSKI

ORLEN Asphalt Sp. z o.o.
krzysztof.blazejowski@orlen.pl

Projektowanie mieszanki SMA metodą „czeską”

Stosowane w naszym kraju metody projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych są bardzo proste, nawet można pokusić się o stwierdzenie, że nie są to żadne metody, ale proste procedury doboru składników. Uwaga ta w szczególności dotyczy projektowania mieszanki SMA, która charakteryzuje się specyficznym sposobem tworzenia szkieletu grysowego i jego wypełnienia (mastyksu). Jeżeli wyobrazimy sobie sytuację, że mieszankę SMA ma zaprojektować osoba bez dużego doświadczenia laboratoryjnego, to sprawa nie wydaje się prosta, ponieważ nasze procedury nie zawierają żadnych wytycznych i wskazań, które w sposób obiektywny

i klarowny prowadziłyby projektanta mieszanki do szczęśliwego finału. Praktyka dowodzi, że uzyskanie dobrej mieszanki SMA w laboratorium, **dobrej** tzn. spełniającej wymagania specyfikacji, wymaga najczęściej, co najmniej kilku „podejść” do mieszanki i wielokrotnego powtarzania prób. Mimo tego, nawet po n-tym przeprojektowaniu tej samej mieszanki SMA, w dalszym ciągu projektant nie „czuje” przyczyn zachowania się mieszanki. Finalnie, nawet jeśli mieszanka spełnia wymagania szczegółowej specyfikacji technicznej, trudno jest określić, jakie były kluczowe czynniki, które spowodowały, że akurat ten wariant zmieścił się w wymaganych parametrach.

Zdaniem autorów tego artykułu, jedną z przyczyn takiego stanu rzeczy jest stosowany w Polsce sposób projektowania uziarnienia SMA opierający się wyłącznie na obserwacjach krzywej uziarnienia (najczęściej na ekranie monitora komputerowego). Z tego patrzenia niestety nie wynikają żadne wnioski dotyczące np. wpływu zawartości ziaren niekształtnych w mieszance. Ponadto, podczas projektowania, nie stosujemy znanych zasad sterujących właściwościami fizycznymi SMA. Zasady te można znaleźć w wielu publikacjach, również w języku polskim [1].

Jak już napisaliśmy, specyfika mieszanki SMA wymaga innego podejścia do jej projektowania. Część metod stosowanych w niektórych krajach do projektowania składu SMA opracowano kosztem dużego nakładu sił i środków na prace badawcze i koncepcyjne (np. USA, Holandia). Wymagają też specyficznego wyposażenia (np. prasy żyratorowej w Holandii), choć trzeba przyznać, że czasami wyposażenie nie musi być bardzo drogie (jak np. pojemniki do *dry-rodged test* w USA [1]).

Niemniej jednak są metody, które wykorzystują dokładnie ten sam sprzęt laboratoryjny, jaki używany jest w Polsce. Przy-

kładem takiej metody projektowania SMA jest metoda stosowana przez naszych południowych sąsiadów. W tekście nazywano ją umownie metodą „czeską”.

Zważywszy na słabości naszej krajowej procedury, postanowiliśmy:

- sprawdzić, czy jest możliwe zaprojektowanie SMA metodą „czeską” spełniającą jednocześnie wymagania polskich specyfikacji,
- dokonać porównania tak zaprojektowanej „czeskiej” mieszanki z SMA z inną, „polską” o podobnym uziarnieniu zaprojektowaną według wymagań WT-2 2008 [2].

Do badań wykorzystano krzywe uziarnienia oraz wymagania wobec SMA według CSN EN 13108-5 (czeski załącznik krajowy do normy EN 13108-5)[3].

Inne założenia:

- Lepiszczce: asfalt modyfikowany ORBITON 45/80-55,
- Energia ubijania próbek: 2×50 ,
- Krzywe uziarnienia: SMA 11 S według CSN EN 13108-5,
- Kruszywa: gabro, bazalt, mączka wapienna,
- Gęstość $m = 2,835 \text{ Mg/m}^3$ stąd współczynnik korekty wartości asfaltu $\alpha = 0.935$,
- Metody badań według EN 12697-x.

Metoda „czeska”

Metoda ta opiera się na dwóch znanych zasadach:

- od zawartości kruszywa grubego zależy zawartość wolnych przestrzeni w szkielecie (z grubych ziaren mieszanki mineralnej) SMA,
- w mieszankach kruszyw (w tzw. systemach dwuskładnikowych) możliwe jest znalezienie takich proporcji materiałów, które określają moment utworzenia szkieletu z grubych ziaren.

W tej metodzie najważniejszym parametrem w analizowanej mieszance SMA jest zawartość kruszywa o wymiarach większych od 4 mm. Procedura została dokładnie opisana w [1], stąd w artykule przedstawiamy jedynie jej skrócony opis.

Metoda składa się z dwóch faz:

- badania wariantów i wybór optymalnej mieszanki mineralnej,
- dobór do optymalnej mieszanki mineralnej najlepszej zawartości lepiszcza.

Startujemy...

Na początku dysponujemy wyłącznie granicznymi krzywymi uziarnienia projektowanej mieszanki SMA oraz przesiewami materiałów. Na tej podstawie projektujemy pierwszą (próbną) krzywą uziarnienia mieszanki – jest to krzywa intuicyjna, nie musi być idealna, raczej powinna być położona w pobliżu

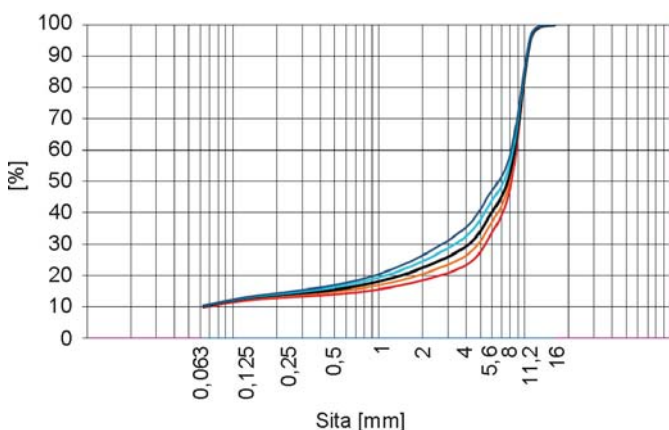
środką przedziału między krzywymi granicznymi¹. Nazwiemy tę krzywą uziarnienia „referencyjną” oraz numerujemy, jako „krzywą nr 3”.

Warianty uziarnienia

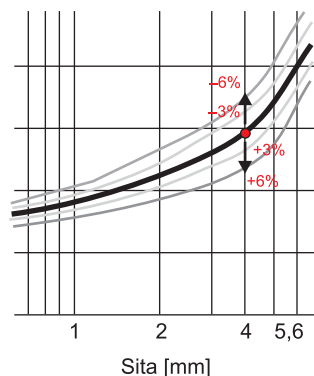
Do krzywej uziarnienia „nr 3” konstruujemy 4 nowe warianty uziarnienia, bazując na zmianach przesiewu przez sito #4 mm mieszanki „nr 3” (czyli zmiany zawartości frakcji 4/11) o $\pm 3\%$ (m/m) oraz o $\pm 6\%$ (m/m):

- Krzywa 1 – mieszanka referencyjna „nr 3” minus 6% (m/m) frakcji >4 mm
- Krzywa 2 – mieszanka referencyjna „nr 3” minus 3% (m/m) frakcji >4 mm
- Krzywa 3 – mieszanka referencyjna „nr 3”
- Krzywa 4 – mieszanka referencyjna „nr 3” plus 3% (m/m) frakcji >4 mm
- Krzywa 5 – mieszanka referencyjna „nr 3” plus 6% (m/m) frakcji >4 mm

Zawartość wypełniacza pozostawiono bez zmian (stała w każdym wariancie = 10%). Proporcje wewnątrz frakcji >4 mm były takie same we wszystkich wariantach. Na rysunku 1 przedstawiono wszystkie krzywe uziarnienia badane w laboratorium.



Rys. 1. Krzywe uziarnienia nr 1 ÷ 5



Rys. 2. Zmiany w położeniu krzywej uziarnienia na sicie #4.0 mm (zmiany zawartości frakcji 4/11 mm w mieszance mineralnej)

¹ Niemniej jednak, po zebraniu doświadczeń z projektowaniem według opisywanej metody, doświadczony projektant mieszanki może (powinien) sterować położeniem początkowej krzywej uziarnienia.

Istota zmiany w badanych krzywych zaprezentowana jest na rysunku 2. Zwiększanie lub zmniejszanie zawartości frakcji ziaren większych od 4 mm powoduje odpowiednie zmiany w położeniu krzywych uziarnienia. Podczas zmniejszania lub zwiększania zawartości frakcji 4/11 mm odpowiednio zmienia się zawartość frakcji 0.063/4 mm, pozostawiając zawartość wypełniacza bez zmian (10% m/m).

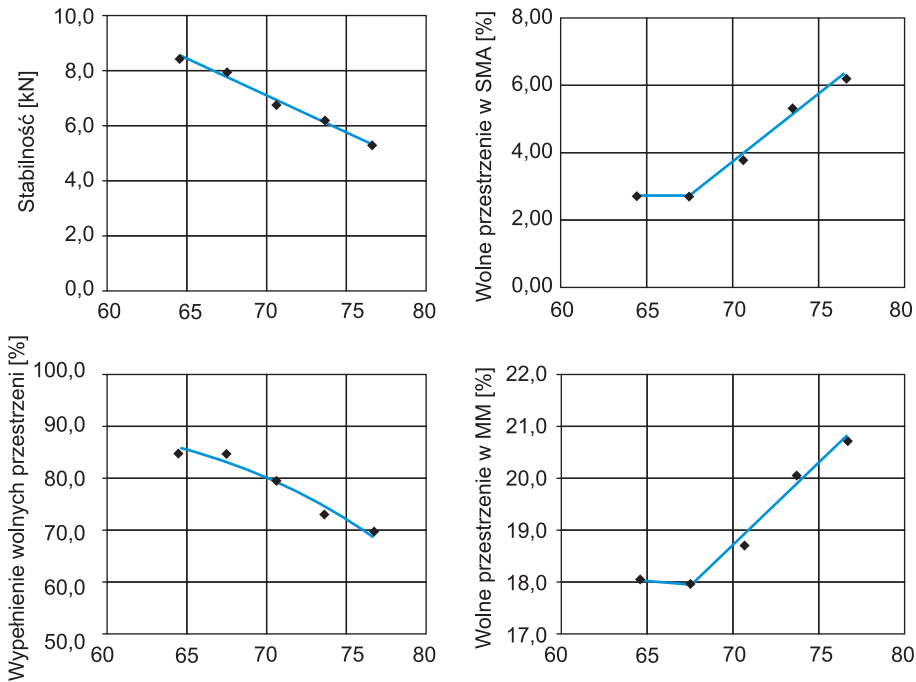
Badania mieszanek nr 1 ÷ 5

Dalsze działania prowadzą do wybrania najlepszej spośród 5 krzywych uziarnienia. Z każdej z mieszanek nr 1 ÷ 5 wykonano próbki o zawartości asfaltu ok. 6,2% (m/m) założonej jako *wstępnie* optymalna ilość (intuicyjnie, bez badań). Zgodnie z metodą nie jest to jednak optymalna, (czyli końcowa) zawartość asfaltu, służy ona wyłącznie do wykonania badań porównawczych między mieszankami mineralnymi o uziarnieniu 1 ÷ 5 i wyboru tej najlepszej. Próbki SMA (nr 1 ÷ 5) zostały poddane badaniom cech objętościowych i mechanicznych:

- stabilność według Marshalla (S) – uwaga: według polskich wymagań nie bada się tej właściwości,
- zawartość wolnych przestrzeni w SMA (V),

Tabela 1. Wyniki badań próbek SMA (mieszanki mineralne: 1 ÷ 5; zawartość asfaltu 6,2%)

Właściwości	Jednostka	Wyniki w zależności od ilości kruszywa grubego/numer mieszanki				
		1 -6% fr. > 4 mm	2 -3% fr. > 4 mm	3 referencyjna	4 +3% fr. > 4 mm	5 +6% fr. > 4 mm
Objętość asfaltu	[%v/v]	15,3	15,2	14,9	14,7	14,5
Zawartość kruszywa grubego (>4 mm)	[% m/m]	64,6	67,6	70,6	73,6	76,6
Zawartość kruszywa grubego (>2 mm)	[% m/m]	73,6	75,6	77,6	79,6	81,5
Gęstość (dawniej gęstość objętościowa)	[Mg/m ³]	2,573	2,566	2,554	2,559	2,548
Gęstość objętościowa (dawniej gęstość strukturalna)	[Mg/m ³]	2,504	2,497	2,458	2,423	2,390
Stabilność według Marshalla	[kN]	8,5	8,0	6,8	6,2	5,3
Gęstość mieszanki mineralnej	[Mg/m ³]	2,862	2,852	2,835	2,842	2,828
Zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralno-asfaltowej	[% v/v]	2,7	2,7	3,8	5,3	6,2
Zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej	[% v/v]	18,0	17,9	18,7	20,0	20,7
Wypełnienie lepyszczem wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej	[%]	85,1	84,9	79,8	73,5	70,1



Rys. 3. Wykresy podstawowych zależności fizycznych mieszanek 1÷5 w funkcji zawartości kruszywa grubego >4 mm

- zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej (VMA),
- wypełnienie asfaltem wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej (VFB).

Przypomnijmy, że celem tej fazy badania był **wyбір właściwej krzywej uziarnienia**, a nie finalnej mieszanki SMA! W tabeli 1 przedstawiono wyniki uzyskane dla mieszanek 1÷5.

Podstawowe parametry z tabeli 1 analizowane były następnie na wykresach przedstawionych na rysunku 3. Wszystkie parametry analizowano w funkcji zawartości kruszywa >4 mm, a nie jak się do tej pory przyzwyczailiśmy – w funkcji zawartości asfaltu (ta, jak napisaliśmy – była stała i wynosiła 6.2%). Na wykresach widać, że wzrost zawartości grubych ziaren powoduje spadek stabilności według Marshalla oraz zmniejszenie się wypełnienia wolnych przestrzeni asfaltem. Przy stałej zawartości asfaltu w mieszankach oznacza to, że objętość wolnych przestrzeni między ziarnami kruszywa zwiększa się. Potwierdza to znaną zasadę o wpływie uziarnienia (ilości ziaren grubych) na wolne przestrzenie w mieszance mineralnej. Najciekawsze są jednak dwa wykresy, w których przebieg zależności wolnych przestrzeni od zawartości kruszywa >4 mm, charakteryzuje się pewnym „załamaniami”. W obydwu przypadkach chodzi o zawartość wolnych przestrzeni – w mieszance mineralnej i mieszance mineralno-asfaltowej.

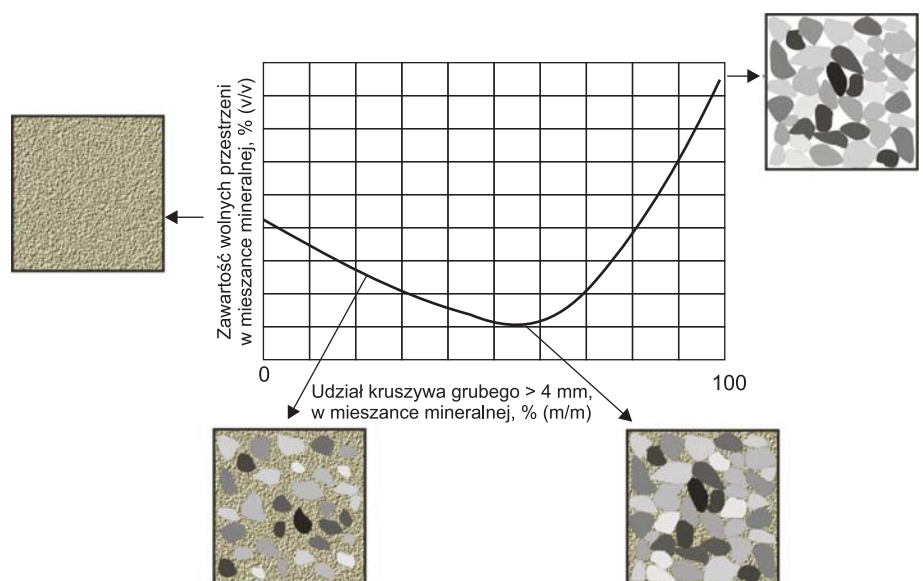
Interpretacja wykresów

Warto się zastanowić, dlaczego powstały takie „załamania” krzywych oraz jak moż-

na to zjawisko interpretować. Spróbujmy prześledzić to na przykładzie. Załóżmy, że podzielimy naszą mieszankę mineralną SMA na dwie części: do 4 mm i powyżej 4 mm. Mamy więc mieszankę dwóch składników (kruszyw 0/4 i 4/11) a więc kruszywa drobnego i grubego (umownie). Jak wyglądałby wykres zależności wolnych przestrzeni w takiej mieszance w funkcji zawartości kruszywa grubego? Prześledźmy po kolei proces zilustrowany na rysunku 4:

- na początku mamy 100% kruszywa drobnego i 0% kruszywa grubego, naturalne jest, że między ziarnami drobnymi są wolne przestrzenie (duża liczba o małych rozmiarach),
- teraz zaczynamy dodawać grube ziarna, a każde pojedyncze ziarno grube o pewnej objętości zastępuje odpowiadającą mu objętość ziaren kruszywa drobnego razem z wolnymi przestrzzeniami, które są między nimi – następuje więc zmniejszenie całkowitej wolnej przestrzeni między ziarnami,

- stopniowo dodajemy coraz więcej ziaren grubych i w konsekwencji systematycznie zmniejsza się wolna przestrzeń w mieszance kruszyw, aż do osiągnięcia minimum wolnych przestrzeni – momentu, gdy nie ma już miejsca na upakowanie nowych ziaren grubych, ponieważ wypełniły one całe dostępne wolne miejsca dla tak dużych ziaren – oznacza to także, że grube ziarna są ze sobą w kontakcie (stworzył się szkielet z grubych ziaren),
- dalej nie możemy dodawać już grubych ziaren, ale możemy usuwać drobne, aż do momentu całkowitego się ich pozbycia, tu widzimy jak stopniowo otwierają się duże wolne przestrzenie między grubymi ziarnami po usuniętych drobnych ziarnach,



Rys. 4. Wpływ zawartości kruszywa grubego na zawartość wolnych przestrzeni w mieszaninie, na podstawie: [4], [5], [6]

- osiągnięcie stanu 100% grubych ziaren i 0% drobnych daje w efekcie dużą zawartość wolnych przestrzeni między zagęszczonymi grubymi gryszami, kawerny między ziarnami są duże objętościowo i jest ich mało (odwrotnie niż na początku).

Mechanizm opisanego procesu jest znany w literaturze technicznej, co najmniej od lat 60. XX w. [4], [5], [6] jako „binary system” albo system dwuskładnikowy. Dla nas, w interpretacji wykresów najbardziej istotna jest informacja, że na wykresach (rys. 3) widzimy złamanie krzywej odpowiadające w przybliżeniu momentowi tworzenia się szkieletu z ziaren większych od 4 mm przedstawione na rysunku 4.

Wybór optymalnej krzywej uziarnienia

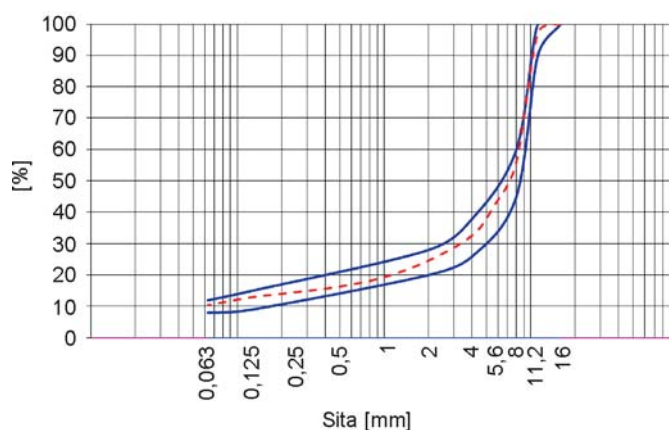
Powstaje teraz oczywiste pytanie, która krzywa uziarnienia jest najlepsza? Analizując dane z tabeli 1 i wykresy z rysunku 3 przyjmujemy, że optymalna krzywa uziarnienia to ta, która leży w punkcie złamania linii lub nieco na lewo od niego. To oznacza, że w optymalnej mieszance mineralnej zawartość ziaren >4mm powinna być 65–67% (m/m), a ziaren >2 mm 73–75% (m/m). Tak przyjęliśmy w opisywanych badaniach, chociaż nie przesadzamy, że jest to jedynie słuszne podejście. W dalszej części artykułu będziemy się starali odpowiedzieć na pytanie, które położenie jest optymalne.

Zgodnie z powyższym założeniem, do dalszego projektowania SMA przyjęliśmy krzywą uziarnienia nr 2, czyli wariant z zawartością ziaren >4 mm 67,6% (m/m) (–3% (m/m) od referencyjnej krzywej nr 3). Jak widzimy z rysunku 1 optymalna krzywa uziarnienia znajduje się powyżej krzywej referencyjnej (początkowej).

Należy wyraźnie podkreślić, że wybraliśmy mieszankę mineralną nie na podstawie „oceny” wizualnej przebiegu krzywej (jak to się najczęściej robi w Polsce), czy też w wyniku subiektywnych dyskusji. Wybraliśmy na podstawie konkretnego kryterium położenia charakterystycznych punktów na wykresach, nawet jeśli byliśmy nieco zdziwieni tym wskazaniem. Taki sposób podejścia jest znacznie bardziej obiektywny i wiarygodny oraz nie podlega subiektywnym wpływom projektanta mieszanki.

Dodatkowym, olbrzymim atutem metody jest fakt, że w swojej istocie uwzględnia najważniejsze właściwości kruszywa, które właśnie stosujemy: kształt ziaren, mikroteksturę powierzchni, zdolność do zagęszczania itd. Tego nie widać na krzywej uziarnienia na monitorze komputera! Gdybyśmy więc wybierali krzywą uziarnienia wyłącznie „na oko” (czyli po naszymu) w żaden sposób te parametry nie zostałyby wzięte pod uwagę. Powiedzmy szczerze – często w projektowaniu sugerujemy się „ulubionym” przebiegiem krzywej uziarnienia i to niezależnie od tego, skąd i jakie kruszywo mamy w mieszance (nieważne czy nieforemne czy kubiczne...). Warto tutaj zauważyć, że identyczne krzywe uziarnienia wykonane z różnych mieszanek kruszyw na pewno nie dadzą nam identycznych właściwości mieszanki SMA. To jest też odpowiedź na pytanie, dlaczego SMA o podobnych krzywych uziarnienia zupełnie inaczej zachowują się na drodze (plamy, koleinowanie itd.), chociaż na monitorze komputera krzywa uziarnienia wyglądała całkiem „ładnie”.

Etap projektowania krzywej uziarnienia mamy za sobą, a jego wynik przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Krzywa uziarnienia wybrana, jako optymalna (nr 2), na tle krzywych granicznych według [2]

Optymalna zawartość asfaltu

Zgodnie z tym, co napisaliśmy w opisie metody, po ustaleniu optymalnej krzywej uziarnienia będziemy określać optymalną zawartość asfaltu. Jak pamiętamy, wstępnie założyliśmy, że do badań porównawczych mieszanek mineralnych weźmiemy 6.2% (m/m) asfaltu. Teraz, gdy mamy już krzywą uziarnienia (nr 2) postępujemy w sposób nam znany – zakładamy kilka punktów zawartości asfaltu i po wykonaniu próbek SMA sprawdzamy podstawowe parametry fizyczne i wytrzymałościowe.

Jakie zawartości asfaltu próbować? Zauważmy, że sprawa jest prostsza, ponieważ mamy już wyniki badań SMA z krzywą uziarnienia nr 2 i asfaltem 6.2% (m/m). Analiza tego wyniku pozwoliła założyć, że potrzebujemy jeszcze jednego punktu o nieco mniejszej zawartości asfaltu, co na pewno skróciło proces projektowania. Przyjęliśmy dodatkową zawartość asfaltu 5.9% (m/m).

W tabeli 2 przedstawiono porównanie wszystkich cech SMA określonych dla wariantu uziarnienia 2, z 5.9% (m/m) i 6.2% (m/m) asfaltu (oznaczone dalej, jako II-5.9% oraz II-6.2%). Dodatkowo do porównania dodano mieszankę SMA zaprojektowaną według WT-2 w 2009 r. z tych samych kruszyw na potrzeby jednego z kontaktów w Polsce, tę dodatkową mieszankę porównawczą oznaczono PL III 2009, ponieważ charakteryzowała się krzywą uziarnienia nr 3 i zawartością asfaltu 6.2% (m/m).

Z tabeli 2 widać wyraźnie, że wariant 2 z asfaltem 6.2% (m/m) nie spełnił wymagań – jak na tę mieszankę mineralną asfaltu było po prostu za dużo. W związku z tym, jako optymalną ilość asfaltu wybrano 5.9% (m/m), przy której zaprojektowana mieszanka SMA spełniała jednocześnie wymagania i czeskie według CSN EN 13108-5, i polskie według WT-2 2008. Jak można zauważyć, porównawcza krzywa uziarnienia z 2009 r. zaprojektowana według polskiej procedury charakteryzuje się innymi właściwościami: większą zawartością asfaltu (6.2% (m/m)) i nieco lepszą odpornością na deformacje. Warto wyraźnie podkreślić, że ta mieszanka powstała jako efekt 11 (jedenastu) kolejnych korekt pierwotnej mieszanki, co zajęło ponad 3 miesiące pracy laboratorium.

Jak można zauważyć w tabeli 2, pojawił się dodatkowy parametr – wolne przestrzenie w próbce SMA zagęszczonej

Tabela 2. Porównanie właściwości SMA 11 z wymaganiami według WT-2 2008 i CSN EN 13108-5

Właściwości	SMA 11 S			Wymagania	
	II-5,9%	II-6,2%	PL III 2009	CSN EN 13108-5	WT-2 08
Zawartość asfaltu ($B_{\min} \times 0,935$) [% (m/m)]	5,9	6,2	6,2	6,2 (5,8)	6,0 (5,6)
Objętość asfaltu B_{VOL} [% (v/v)]	14,4	15,2	14,9	$\geq 13,5$	–
Wypełnienie lepisszczem wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej (VFB) [%]	81,5	84,9	79,8	74 – 83	–
Stabilność według Marshalla (S); [kN]	7,8	8,0	6,8	≥ 6	–
Zawartość wolnych przestrzeni w SMA (V) – energia 2×50 [% (v/v)]	3,3	2,7	3,8	3 – 4,5	3 – 4
Zawartość wolnych przestrzeni w miesz. min. (VMA) [% (v/v)]	17,7	17,9	18,7	–	–
Odporność na deformacje trwałe (5000 cykli, 60°C)*)					
• max przyrost koleiny WTS_{AIR} , [mm/1000 cykli]	0,06	0,09	0,06	$WTS_{AIR 0,07}$	–
• max proporcjonalna głębokość koleiny PRD_{AIR} do 5000, [%]	4,5	5,5	3,0	$PRD_{AIR 5,0}$	–
Odporność na deformacje trwałe (10000 cykli, 60°C)**)					
• max przyrost koleiny WTS_{AIR} [mm/1000 cykli]	0,06	0,09	0,06	–	$WTS_{AIR 0,3}$
• max proporcjonalna głębokość koleiny PRD_{AIR} do 10000, [%]	4,7	5,8	3,3	–	$PRD_{AIR 5,0}$
Zawartość wolnych przestrzeni w SMA (V) – energia 2×100 [% (v/v)]	2,5	2,6	2,9	$\geq 2,5$	–

*) Badanie wykonywane według CSN EN 13108-5 powinno być wykonane w temperaturze 50°C i przy 5000 cykli, w naszych badaniach zastosowaliśmy temperaturę 60°C, a wynik podaliśmy po 5000 cykli, oznacza to, że według oryginalnych czeskich wymagań uzyskalibyśmy zapewne lepszy wynik (badanie w niższej temperaturze), należy także zauważyć, że czeskie wymagania są ostrzejsze WTS_{AIR} wynosi 0.07 mm/1000, a w Polsce 0.3 mm/1000 czyli ponad 4-krotnie łagodniejsze.

**) Badanie wykonywane według przyjętych w Polsce warunków badania: 60°C, 10000 cykli.



Fot. 1. Porównanie przekrojów próbek do koleinowania (fot. H.Sarlińska) – II-5.9 („czeska”) i PL-III-2009 (porównawcza, „polska”)

energią 2×100 uderzeń ubijaka. Ma on na celu sprawdzenie podatności mieszanki mineralnej (ziaren) na kruszenie podczas nadmiernego wałowania i/lub dogęszczenie pod ciężkim ruchem. Zalecana zawartość wolnych przestrzeni po tak dużym przegęszczeniu $\geq 2.5\%$ (v/v).

Na fotografii 1 widać przekroje próbek do koleinowania, co pozwala ocenić szkielet mineralny próbek serii II-5.9 („czeska”) i PL-III-2009 (porównawcza, „polska”).

Gdzie jest optymalna krzywa uziarnienia?

W tym momencie naszej pracy doszliśmy do wniosku, że mimo wszystko należy rozwiązać wątpliwości dotyczące wyboru optymalnej krzywej uziarnienia na podstawie analizy wykresów jak na rysunku 3. Badaniom poddano dodatkową mieszankę „D” różniącą się od optymalnej krzywej uziarnienia (wariant uziarnienia 2) o $-1,5\%$ (m/m) frakcji > 4 mm, z optymalną zawartością asfaltu 5,9% (m/m), a więc położonej nieco w lewo od punktu przegięcia krzywych. Otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 3.

To dodatkowe badanie potwierdziło trafność naszego wyboru mieszanki nr 2 (5.9% asfaltu) jako optymalnej krzywej

Tabela 3. Porównanie właściwości SMA 11 według wariantu II-5.9 z wariantem dodatkowym „D”

Właściwości	SMA 11 S		Wymagania	
	wariant „D” 5,9 %	wariant wybrany II-5,9%	CSN EN 13108-5	WT-2 08
Zawartość asfaltu ($B_{\min} \times 0,935$), [% (m/m)]	5,9	5,9	6,2 (5,8)	6,0 (5,6)
Objętość asfaltu B_{VOL} , [% (v/v)]	14,5	14,4	$\geq 13,5$	–
Wypełnienie lepisszczem wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej (VFB), [%]	82,3	81,5	74 - 83	–
Stabilność według Marshalla (S) m, [kN]	8,4	7,8	≥ 6	–
Zawartość wolnych przestrzeni w SMA (V) [% (v/v)]	3,1	3,3	3 - 4,5	3 - 4
Zawartość wolnych przestrzeni w miesz. min. (VMA), [% (v/v)]	17,6	17,7	–	–
Odporność na deformacje trwałe (5000 cykli, 60°C) *)				
• max przyrost koleiny WTS_{AIR} [mm/1000 cykli]	0,05	0,06	$WTS_{AIR 0,07}$	–
• max proporcjonalna głębokość koleiny PRD_{AIR} [%]	4,7	4,5	$PRD_{AIR 5,0}$	–
Odporność na deformacje trwałe (10000 cykli, 60°C) *)				
• max przyrost koleiny WTS_{AIR} [mm/1000 cykli]	0,05	0,06	–	$WTS_{AIR 0,3}$
• max proporcjonalna głębokość koleiny PRD_{AIR} [%]	5,0	4,7	–	$PRD_{AIR 5,0}$

*) Uwagi jak do tabeli 2

uziarnienia. Chociaż parametry dodatkowej mieszanki „D” spełniają wymagania zarówno [2] jak i [3], to jednak ich graniczne wartości (V i PRD_{AIR}) nie dają pożądanego marginesu bezpieczeństwa. Natomiast pod względem WTS_{AIR} mieszanka „D” jest nieco lepsza niż nasza mieszanka optymalna.

Co ważniejsze – kruszywo czy asfalt?

Wiele osób uważa, że silny szkielet SMA pozwala na zastosowanie asfaltu drogowego niemodyfikowanego. Według naszych doświadczeń, w projektowanych w Polsce SMA bardzo trudno jest osiągnąć zadowalający poziom odporności na koleinowanie. Ciekawość naszą wzbudzało pytanie, czy SMA zaprojektowane według metody „czeskiej” spełni wymagania w przypadku zamiany asfaltu modyfikowanego (45/80-55) na drogowy 50/70? Czy szkielet okaże się wystarczająco silny? Po zamianie lepiszcza w finalnej mieszance mineralnej wykonano badania odporności na koleinowanie, których wynik pokazano w tabeli 4.

Tabela 4. Wynik badania odporności na koleinowanie wariantu II-5.9 z asfaltem drogowym 50/70 w porównaniu ze stosowanym wcześniej asfaltem modyfikowanym ORBITON 45/80-55

Odporność na deformacje trwałe (10000 cykli, 60°C)	Jednostka	SMA 11 S	
		II-5,9% 50/70	II-5,9% PMB 45/80-55
• przyrost koleiny WTS_{AIR}	mm/1000 cykli	0,6	0,06
• proporcjonalna głębokość koleiny PRD_{AIR} po 10000	%	11,2	4,7

Niestety, nasze oczekiwania nie zostały spełnione. Obciążenia aplikowane na próbkę przez aparat do koleinowania według PN-EN 12697-22 (metoda B) w 60°C okazały się zbyt duże jak na wytrzymałość próbki SMA 11 z asfaltem 50/70. Przynajmniej w przypadku, gdy wynik porównujemy z wymaganiami WT-2 2008 lub CSN EN 13108-5 do najwyższych kategorii ruchu. Wynik $PRD_{AIR}=11.2\%$ może być zaklasyfikowany, jako Deklarowany i jest odpowiedni do niskich kategorii ruchu. Podobnie jest z $WTS_{AIR}=0.6$ mm/1000 cykli. W końcu pozostaje do sprawdzenia wątpliwość, czy gdybyśmy od początku stosowali asfalt 50/70, czy nie miałyby to już na początku wpływu na proces wyboru krzywej uziarnienia? Sprawę tę spróbujemy sprawdzić w przyszłości.

Wnioski z projektowania SMA

Wariant mieszanki mineralnej nr 2 z zawartością asfaltu 5.9% (m/m) okazał się „inny” od wariantu porównawczego polskiego SMA z 2009 r. według WT-2. „Inny” to nie znaczy gorszy, ponieważ spełnił wszystkie wymagania zapisane w dokumentach odniesienia.

Wybierając najlepszą krzywą uziarnienia sugerujemy kierowanie się minimalnymi wielkościami wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej i mieszance mineralno-asfaltowej przedstawianych w funkcji zawartości ziaren >4 mm.

Mimo mniejszej ilości asfaltu w mieszance w wariantcie II-5.9% niż w PL-III-2009-6.2% wypełnienie asfaltem wolnych

przestrzeni w mieszance mineralnej (VFB) jest większe w wariantcie II-5.9%. Jest to spowodowane mniejszą zawartością wolnych przestrzeni między ziarnami kruszywa (lepszym upakowaniem ziaren). Z tego powodu, mimo mniejszej zawartości asfaltu, nie można zarzucić mieszance II-5.9%, że jest „sucha” tzn. zawiera zbyt mało asfaltu.

Być może gdybyśmy jeszcze bardziej zmniejszyli zawartość asfaltu w wariantcie II uzyskalibyśmy lepszą odporność mieszanki na deformacje. Niemniej jednak warto zauważyć, że w czeskim załączniku krajowym do normy CSN EN 13108-5 zawarto dodatkowo dolne ograniczenie zawartości lepiszcza – minimalną objętościową zawartość asfaltu. Takie podejście godne jest zastanowienia.

Zagęszczenie po 2×100 uderzeń ubijaka wskazuje na podatność mieszanki mineralnej (ziaren) na kruszenie podczas wałowania i dogęszczanie pod ruchem. Zalecana zawartość wolnych przestrzeni $\geq 2.5\%$ (v/v). Wybrany wariant II-5.9 spełnił to wymaganie, chociaż na granicy.

Wariant II charakteryzuje się udziałem frakcji grysowej >2 mm równym 75.6% (m/m), podczas gdy wariant PL-III-2009 (polski referencyjny) 77.6% (m/m).

Przesiew przez sito 4 mm (67% m/m) mieszanki mineralnej według wariantu II zbliżony jest do tzw. krzywej Zichnera (ustalonych proporcji składu MASTIMAC), natomiast przesiew wariantu PL-III-2009 (70%) odpowiada zasadzie „30-20-10” częściowo stosowanej w USA [1].

Uziarnienie wariantu II „czeskiego” sugeruje mniejszą nasiąkliwość i wodoprzepuszczalność tej mieszanki SMA niż wariantu PL-III-2009 „polskiego”.

Na podstawie wyników widać, jak ważne jest uziarnienie mieszanki na sitach „szkieletowych”, w przypadku naszej mieszanki było to sito #4 mm. W tym kontekście wypada pochylić się nad dokładnością produkcji SMA i tolerancjami na sitach. Dopuszczalna dawniej odchyłka $\pm 4\%$ (m/m), a obecnie nawet do $\pm 7\%$ (m/m) (na sicie #5.6 mm, w ramach ZKP) sprawia, że wyprodukowana mieszanka SMA może znacznie różnić się od projektu w zakresie właściwości. W tym momencie należy rozważyć bieżącą kontrolę zawartości wolnych przestrzeni w próbkach oraz wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej.

W związku z powyższym należałoby się zastanowić nad korektą wymagań wobec SMA 11 w np. WT-2 po względem tzw. sit charakterystycznych do kruszywa grubego. Obecnie stosowane jest tylko jedno sito (#5.6 mm), podczas gdy zasady normy EN 13108-5 pozwalają wprowadzić dwa takie sita między #2 mm a sitem D. Proponujemy do SMA 11 zrezygnować z sita #5.6 mm na rzecz wprowadzenia dwóch sit: #4.0 mm i #8.0 mm. Pozwoli to na lepszą kontrolę uziarnienia SMA i jej właściwości.

Wnioski końcowe

Metoda „czeska” różni się od praktykowanej w Polsce dwuetapowym procesem projektowania. Należy podkreślić, że jest to metoda projektowania z określonym trybem postępowania, prowadząca do wyboru najpierw krzywej uziarnienia, a następnie optymalnej do tego uziarnienia, zawartości asfaltu.

W czasie projektowania wykorzystano zasady zależności zawartości wolnych przestrzeni w SMA i w mieszance mineralnej od zawartości kruszywa grubego. Tych zasad nie stosujemy w naszej procedurze projektowania SMA.

Uzyskane wyniki – finalna mieszanka SMA – różni się od projektu zrealizowanego według naszych procedur (opartych na doświadczeniu i intuicji).

W czeskiej normie dotyczącej SMA [3] wymagania różnią się od polskich [2] i m.in. zawierają:

- minimalną zawartość objętościową lepiszcza,
- zakres minimalny i maksymalny wypełnienia wolnej przestrzeni w mieszance mineralnej asfaltem (VFB),
- stabilność według Marshalla,
- koleinowanie – ostrzejsze wymagania, ale łagodniejsze warunki badania (niższa temperatura, mniejsza liczba cykli).

Można domniemywać, że **metoda czeska tworzy mieszanki SMA o zawartości asfaltu dobranej wprost do określonej mieszanki mineralnej, z jej specyficznymi właściwościami kruszyw użytych w mieszance**. Jeśli w pewnych przypadkach, jak w naszych badaniach, w zaprojektowanej SMA będzie mniej asfaltu niż w „polskim” odpowiedniku, to nie należy się obawiać, że to SMA jest zbyt „suche”. Wypełnienie asfaltem wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej świadczy o prawidłowej ilości asfaltu.

Mimo tak trafnego doboru mieszanki mineralnej i zawartości asfaltu, mieszanki SMA przeznaczone do najcięższych obciążeń w zasadzie muszą zawierać asfalt modyfikowany, o ile poziom wymagań odporności na koleinowanie zostanie utrzymany w krajowym dokumencie aplikacyjnym do PN-EN 13108-5 na dotychczasowym poziomie, jak to jest w [2].

Wydaje się nam, że proces projektowania wyposażony w etap sprawdzania szkieletu mieszanki mineralnej SMA jest ciekawy i warty dalszych doświadczeń.

Choć proces projektowania jest dość czasochłonny, to daje znacznie większą wiedzę o zachowaniu projektowanej mieszanki SMA oraz jej właściwościach w dość szerokim zakresie uziarnienia (pozytywne w przypadku zmienności uziarnienia kruszyw lub np. zmiany ich kształtu).

Podczas produkcji SMA w otaczarce warto zwrócić szczególną uwagę na kontrolę uziarnienia na sitach 4.0; oraz 8.0 mm.

Bibliografia

- [1] Błażejowski K. (2007). *SMA. Teoria i praktyka*. Rettenmaier Polska 2007
- [2] WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2008; Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych
- [3] CSN EN 13109-5 Asfaltové směsi – Specyfikace pro materiály – Část 5: Asfaltový koberec mastixový (Unor 2008; 738140)
- [4] Fergusson A., Fordyce D., Khweir K. (niedatowany). *Designing Stone Structure Wearing Course Mixtures*
- [5] Francken L., Vanelstraete A. (1993). *New developments in analytical asphalt mix design*. Proceedings of the Eurobitume Congress, Stockholm 1993
- [6] Lees G. (1969). The rational design of aggregate grading for dense asphaltic compositions. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 1969 vol. 39

Autorzy pragną podziękować pracownikom laboratoriów Polimex-Mostostal S.A. w Katowicach oraz KSS Bartnica w Żorach za współpracę podczas wykonywania badań. ■

Informacje prasowe

Trwa Generalny Pomiar Ruchu GPR 2010

Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad rozpoczęła kolejną edycję cyklicznego badania natężenia ruchu na drogach krajowych. Generalny Pomiar Ruchu w 2010 r. (GPR 2010) jest wykonywany na istniejącej sieci dróg krajowych, z wyjątkiem tych odcinków, które znajdują się w miastach na prawach powiatu i nie są zarządzane przez GDDKiA. Pomiar ruchu ma pokazać, które trasy są najbardziej popularne wśród kierowców i gdzie, w związku z tym powinny być prowadzone prace modernizacyjne.

W poszczególnych województwach Polski dużą rolę w procesie pomiaru ruchu pełnią istniejące stanowiska automatycznego ciągłego pomiaru ruchu GDDKiA. w zależności od regionu jest ich od czterech (woj. świętokrzyskie, opolskie i zachodniopomorskie) do 13 (woj. mazowieckie). Tam, gdzie według poprzedniego GPR z 2005 r. ruch był nieduży, w tym roku prowadzony jest pomiar ręczny w kilkuset specjalnych punktach pomiarowych na terenie całej Polski.

Pierwsze pomiary przeprowadzono 21 stycznia br. Wyniki GPR 2010 zostaną opracowane i zaprezentowane w marcu 2011 r.

Podstawowym celem GPR 2010 jest uzyskanie, na podstawie przeprowadzonych bezpośrednich pomiarów, podstawowych parametrów i charakterystyki ruchu wszystkich odcinków sieci dróg krajowych. Badanie odpowie na pytanie, jak dużo pojazdów poszczególnych kategorii porusza się po drogach krajowych. Te kategorie to: motocykle, samochody osobowe, lekkie samochody ciężarowe (dostawcze), samochody ciężarowe bez przyczep, samochody ciężarowe z przyczepami, autobusy i ciągniki rolnicze. Ze względu na znaczną ilość wypadków z udziałem rowerzystów na sieci dróg krajowych (w 2008 r. 123 zabitych rowerzystów na sieci dróg krajowych, tj. 6,5% ogółu zabitych na sieci dróg krajowych i 28% ogółu zabitych rowerzystów w kraju), a także podejmowane działania inwestycyjne w zakresie infrastruktury rowerowej (np. Program budowy

ścieżek rowerowych przy drogach krajowych województwa warmińsko-mazurskiego), istotne jest również uzyskanie wiarygodnych danych o ruchu rowerów.

Długość odcinka pomiarowego nie może przekraczać 30 km. Odstępstwa od tej zasady wymagają każdorazowo indywidualnego uzgodnienia. Przy ustalaniu podziału sieci dróg krajowych na odcinki pomiarowe w GPR 2010 GDDKiA zwróciła szczególną uwagę na odcinki dróg krajowych administrowane przez GDDKiA, stanowiące obwodnice i przejścia przez miasta o liczbie mieszkańców powyżej 10 tys. Przy opracowywaniu metody przeprowadzenia GPR 2010 brano pod uwagę następujące czynniki:

- możliwość uzyskania wszystkich niezbędnych danych,
- wymaganą dokładność wyników,
- koszt wykonania pomiaru,
- stopień ryzyka na poziomie umożliwiającym uzyskanie miarodajnych wyników nawet w przypadku wystąpienia nietypowych zjawisk w niektórych dniach pomiarowych,
- wprowadzenie, w szerszym niż dotychczas zakresie, wykonywania pomiarów w sposób automatyczny.

Wybrana metoda wykonania GPR 2010 zapewnia możliwość uzyskania wszystkich niezbędnych danych z zachowaniem największej dokładności, przy akceptowalnym koszcie oraz dopuszczalnym stopniu ryzyka. Informacje uzyskane w ramach GPR 2010 posłużą do opracowania założeń modernizacji odcinków o największym natężeniu ruchu, o ile będą one wymagały modernizacji i nie zostały one już ujęte w planach remontów i przebudowy dróg GDDKiA.

Informacje pozyskane ze strony internetowej GDDKiA