

Badania warstw ścieralnych z mastyksu grysowego SMA 8 S

W celu wykonania odpowiednio odpornych na odkształcenia konstrukcji nawierzchni drogowych poddawanych intensywnemu oddziałaniu ruchu pojazdów, stosowane są głównie warstwy z mastyksu grysowego SMA. W stosunku do nawierzchni z betonu asfaltowego, warstwy z SMA mają istotną zaletę dotyczącą znacznie wyższej odporności na odkształcenia w długim okresie eksploatacji. W artykule przedstawiono wyniki badań kontrolnych uzyskanych przez niemieckie laboratorium kontrolne PEBA *Prüfinstitut für Baustoffe* (Instytut Badawczy Materiałów Budowlanych Prof. Dr Dieter Großhans) w Berlinie, zrealizowane w trakcie 13-letniego okresu eksploatacji wytypowanych odcinków nawierzchni z SMA.

Zgodnie z przepisami RPE Stra 01, Załącznik 10 [1] w przypadku nawierzchni obciążonych ruchem ciężkim, w celu oszacowania okresu przydatności pomiędzy wykonaniem nawierzchni, względnie ostatnią odnową i koniecznym wykonaniem zabiegu naprawczego, w przypadku betonu asfaltowego przyjmowany jest okres 12 lat, natomiast w przypadku nawierzchni z SMA okres 16 lat.

Trwałość i odporność na odkształcenia trwałe nawierzchni asfaltowej jest określana w zasadniczym stopniu poprzez zawartość wolnych przestrzeni w warstwie ścieralnej po wykonaniu.

W ramach oceny nawierzchni na terenie kraju związkowego Berlin i Brandenburgia, wykonywanych przez Instytut Badawczy Materiałów w Berlinie (PEBA), w badaniach kontrolnych stwierdzono, że w szczególności dla warstw z SMA 0/8 S (obecnie 8 S) nie były często spełnione wytyczne dotyczące nawierzchni asfaltowych, tzn. ZTV Asphalt-StB, w zakresie zawartości wolnych przestrzeni, określane na próbkach Marshalla, a także w wykonanej warstwie.

W przypadku warstw z mieszanki SMA 11 S tego rodzaju problemy występują również, ale w znacznie mniejszym zakresie. SMA 8 S wykazuje jednak szereg korzystniejszych właściwości w stosunku do SMA 11 S, tj. w zakresie właściwości przeciwpoślizgowych i zmniejszenia emitowanego hałasu. W laboratorium PEBA rozpoczęto specjalny zakres badań, mający na celu ustalenie przyczyn zawyżonej zawartości wolnych przestrzeni w warstwach z SMA 8 S. Za zgodą i przy współpracy z administracją drogową (*Landesbetrieb für Strassenwesen*) kraju związkowego Brandenburgia, wykonano szeroki zakres badań.

Jedną z pierwszych czynności była analiza wyników badań kontrolnych uzyskanych w laboratorium PEBA w zakresie warstw z SMA zrealizowanych na terenie kraju związkowego (Landu) Berlin oraz Brandenburgia w latach 1999-2009. Przy ocenie uwzględniano obowiązujące w danym okresie przepisy techniczne [2-7], zmiany stosownych przepisów następujące w zakresie wymagań, a ponadto oddziaływanie wprowadzanych zmian na wyniki badań kontrolnych.

W ramach wykonanej pracy dyplomowej kontynuowane było analizowanie kolejnych wyników badań uzyskanych w okresie do 2011 r. Wyniki z całego 10-letniego okresu, od 1999 r. do 2011 r., przedstawiono w niniejszym artykule.

W celu stwierdzenia w jakim stopniu podwyższona zawartość wolnych przestrzeni po wykonaniu nawierzchni z SMA wpływa negatywnie na okres przydatności eksploatacyjnej, dokonano dalszego wyboru odcinków o zawyżonej zawartości wolnych przestrzeni po wbudowaniu i zróżnicowanej długości okresu przydatności.

Ocena statystyczna wyników badań kontrolnych

Ocena statystyczna wyników badań kontrolnych nastąpiła przy uwzględnieniu obowiązujących przepisów w odniesieniu do okresu wykonywania badań. Dotyczyła oceny parametrów mieszanki mineralno-asfaltowej oraz parametrów wykonanej warstwy ścieralnej. Próba losowa zakresu pomiarowego obejmowała przy tym okres danego roku kalendarzowego i zawierała 18-127 wartości (średnio 54 wyniki pojedyncze). Po wprowadzeniu nowych wydań ZTV i TL Asphalt 07 w okresie od stycznia 2009 r., w celu dostosowania nowo zawieranych umów na roboty budowlane, przyjęty został okres przejściowy trwający do 30 marca 2009 r. W okresie tym zezwolono na wykorzystanie zawartych już umów. W przypadku całego roku kalendarzowego była zatem niewielka baza tzw. „Nowych umów”. Z tego powodu w 2009 r. nie dokonano żadnej oceny robót według wytycznych ZTV Asphalt-StB 07.

Ocena pojedynczych wyników badań kontrolnych została dokonana, odbiegając od podstaw umownych, na podstawie tolerancji zawartości asfaltu, kruszywa i wypełniacza oraz w zakresie wartości minimalnej wg ZTV- lub TL Asphalt-StB, a nie na podstawie wykonanych badań przydatności.

Zaproponowany sposób postępowania został wybrany ze względu na konieczność uproszczenia samej oceny, jak również w celu lepszej porównywalności odcinków doświadczalnych. W przypadku zawartości lepszycza powodem było występowanie mało istotnych odchyłek, ponieważ oceniane badania przydatności, względnie pierwsze badania, każdorazowo odpowiadały minimalnym wartościom zawartym w obowiązujących przepisach.

Wyniki badań mieszanki mineralno-asfaltowej

Poniżej zestawiono wyniki badań mieszanki mineralno-asfaltowych i parametry gotowej warstwy w odniesieniu

do wymagań oraz ustalonych zakresów tolerancji, a także terminu badania podanych w obowiązujących przepisach.

Zawartość lepiszcza

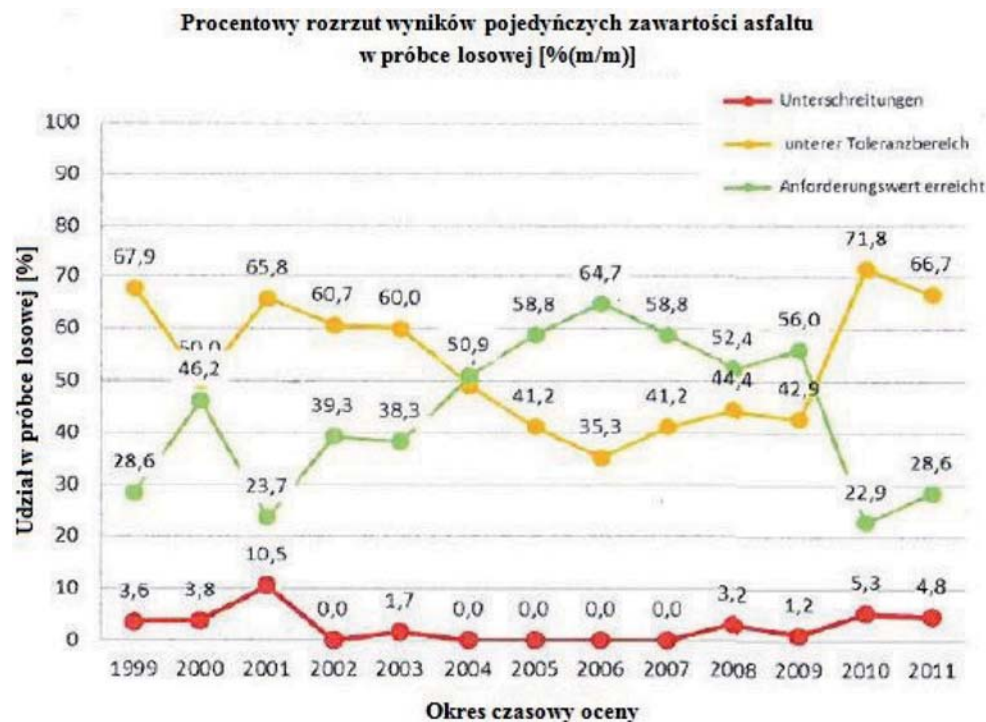
W wytycznych ZTV Asphalt-StB w rozpatrywanym okresie, tzn. w latach 1999–2009, minimalna zawartość lepiszcza, konieczna przy wykonaniu badań przydatności, względnie

pierwszego badania wynosiła $B_{\min} = 7,0\%$ (m/m). Kolejne wydanie ZTV Asphalt-StB 07 w 2009 r. zwiększyło minimalną zawartość lepiszcza do B_{\min} do 7,2% (rys. 1; zalecany przedział oznaczony został kolorem zielonym).

W celu porównania ustalonych zawartości asfaltu z wymaganiami podanymi w ZTV Asphalt-StB na rys. 1, obok minimalnej zawartości asfaltu podano również dopuszczalną wartość przekroczenia (wymaganie dla próbki pojedynczej – 0,5% (m/m), zaznaczony jako czerwony obszar).



Rys. 1. Zawartości asfaltu w okresie rocznym oznaczone w mieszance SMA 8 S



Rys. 2. Procentowy rozkład wyników pojedynczych zawartości asfaltu w mieszance SMA 8 S

W ciągu 13-letniego okresu oceny, mimo daleko idących zmian wartości wymaganych, w ciągu roku stwierdzono stały wzrost zawartości lepiszcza w mieszance. Jednocześnie na początku okresu obserwacji (lata 1999 i 2000) podczas badań kontrolnych udział stwierdzonych zawartości lepiszcza w mieszance poniżej dolnego przedziału tolerancji wynosił 68% (6,5 do 7,0% (m/m)), w 2009 r. udział ten wynosił już tylko – 43% (wykres 2).

Wartość wymaganą przepisami ($B_{\min} = 7,0\%$ (m/m)) uzyskano od połowy roku 2002. Wraz z wprowadzeniem ZTV Asphalt StB 07 początkowo zauważono wyraźny spadek udziału wartości mierzonych w obszarze wymaganym (z 56% w 2009 roku na 22,9% w 2010 r.). Jest to związane głównie ze zwiększeniem wymaganej minimalnej zawartości lepiszcza z 7,0% (m/m) do 7,2% (m/m). W ogólnej tendencji zmian średniej zawartości lepiszcza w latach 2010 i 2011 zaobserwowano trend wzrostu zawartości lepiszcza według wymagań przepisów.

Kruszywo mineralne

W ramach oceniających badań kontrolnych zastosowanych kruszyw mineralnych chodziło wyłącznie o kruszywa nie charakteryzujące się złym powinowactwem do lepiszcza (np. szarogłaz), z wyjątkiem kruszywa rozjaśniającego Lysit, które jednak stosowane było tylko na kilku budowach.

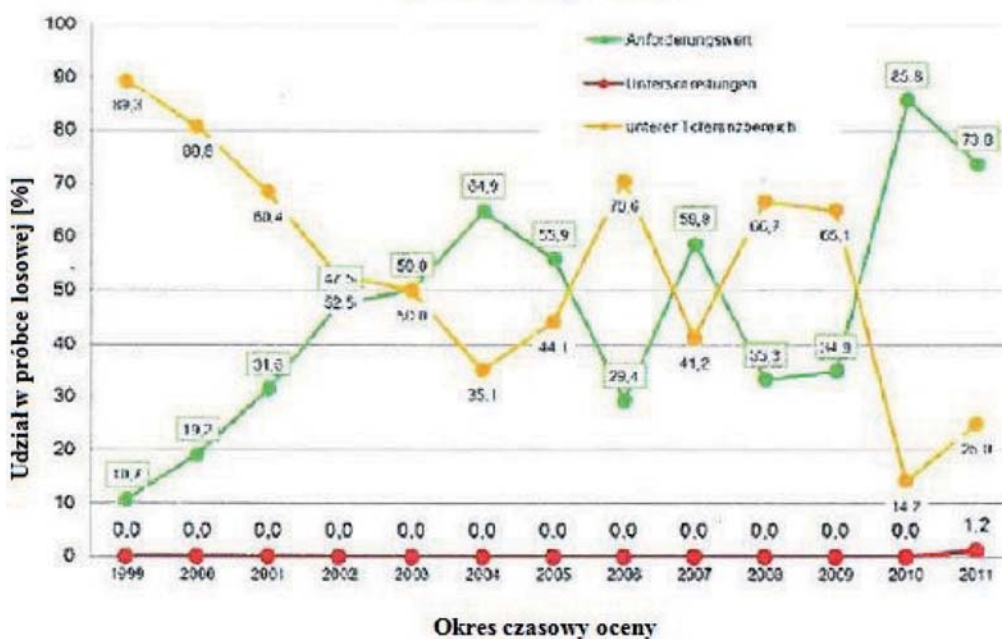
W związku z koncepcją bardziej szczelnych warstw ścieralnych, na skutek stopniowego obniżania dolnych wartości gra-

Zawartość kruszywa grubego (średnia arytmetyczna)



Rys. 3. Zawartości kruszywa grubego oznaczone w okresie rocznym w mieszance SMA 8 S

Procentowy rozrzut wyników pojedynczych zawartości kruszywa grubego w próbce losowej [% (m/m)]



Rys. 4. Procentowy rozkład wyników pojedynczych zawartości kruszywa grubego w mieszance SMA 8 S

nicznych w ciągu okresu oceny z wartości w przedziale od 75% do 80% (m/m) (ZTV Asphalt-StB 94/98 w 1999 r.) do wartości w przedziale od 70% do 80% (m/m) (ZTV Asphalt-StB 07 w 2011 r.) zwiększył się udział ziaren w mieszance kruszyw, a także powiększono dopuszczalną rozpiętość krzywych uziarnienia (rys. 3, obszar zaznaczony na zielono).

Dane, które zostały zebrane w ramach badań w całym okresie oceny wskazują na średnią zawartość kruszywa mineralnego wynoszącą 72,3%, bez wyraźnych tendencji

do zmian. Większość analizowanych pojedynczych wyników znajdowała się od początku okresu oceny w porównaniu do obowiązujących ówczesnie wymagań, w dolnym zakresie tolerancji (67% do 75%) (rysunek 4, obszar zaznaczony na czerwono). Poprzez obniżenie dolnych wartości granicznych dla udziału ziaren grubych zwiększono dopuszczalną rozpiętość z 70% do 80% (m/m). W związku z tym, bez znacznych zmian w rocznych wartościach średnich uzyskano przesunięcie udziału ziaren grubych w obszarze wymagań. Podczas gdy w 1999 r. tylko 10,7% wyników udziału ziaren grubych zawierało się w wymaganym zakresie i spełniało wymagania, to na końcu okresu oceny w 2011 r. było to już 73,8%. Również w zakresie zawartości wypełniacza, pomimo zmian wartości granicznych nie ujawniły się w całym okresie oceny znaczące zmiany wyników badań kontrolnych. Roczne wartości średnie, wynoszące około 12,0% (m/m), jak i przeważający udział pojedynczych wyników, w całym okresie oceny znajdują się w ramach wymaganego zakresu i nie podlegają tendencjom do istotnych zmian.

Zawartość wolnych przestrzeni w próbkach Marshalla

W okresie dokonywania oceny pomiędzy 1999 r. a 2009 r. zawartość wolnych przestrzeni w próbkach Marshalla była odnoszona do obecnie obowiązujących wymagań w obszarze pomiędzy 3,0 a 4,0% (v/v), z tolerancją $\pm 1,5\%$. W związku z wprowadzeniem ZTV Asphalt-

StB 07 zaostrzono wymagania odnośnie zawartości wolnej przestrzeni. Zakres wymagany został zredukowany do przedziału pomiędzy 2,5 a 3,0% (v/v), a dodatkowo zawężono obszar tolerancji do $\pm 1,0\%$ (rys 5). Wyniki badań kontrolnych pokazują następstwo zmian zawartości lepiszcza i składu mieszanek asfaltowych (zawartość kruszywa), następujący w czasie całego okresu oceny. Znaczący spadek miał miejsce początkowo w większości w górnym zakresie tolerancji zawartości wolnych przestrzeni w próbkach Marshalla.

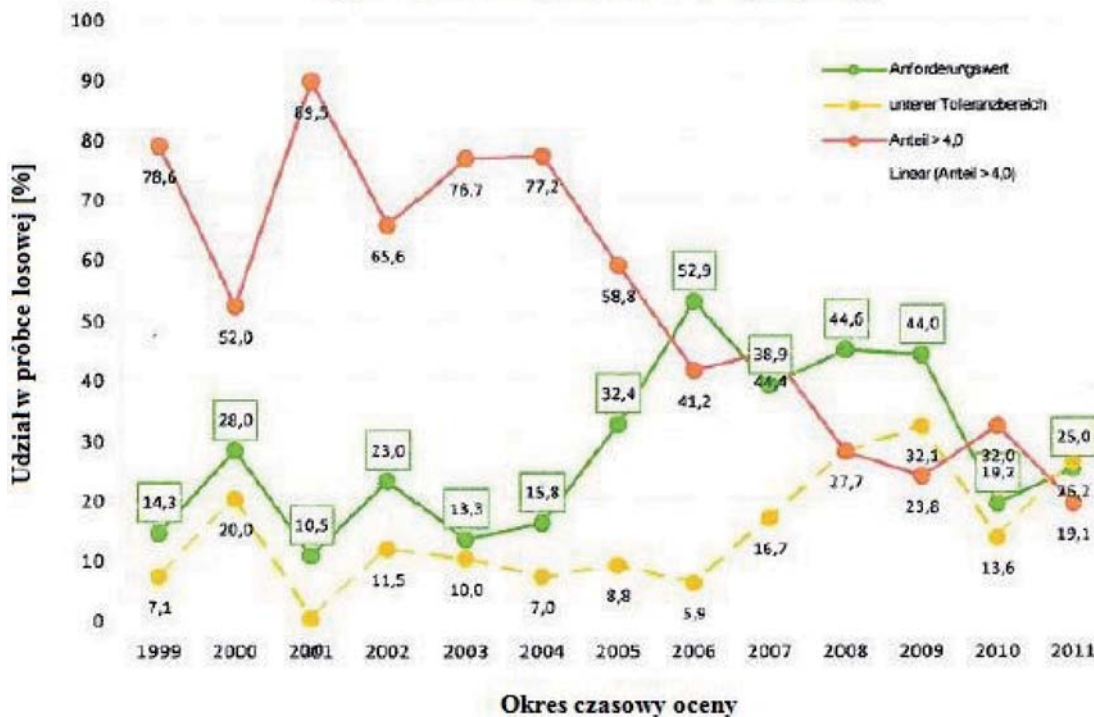


Rys. 5. Zawartość wolnych przestrzeni oznaczona w okresie rocznym określona na próbach Marshalla uformowanych z mieszanki SMA 8 S

W przypadku próbek Marshalla oznaczone średnie zawartości wolnych przestrzeni na początku okresu oceny (1999 r.) wynosiły $V_{MPK} = 5,29\%$ (v/v), tzn. były usytuowane w górnym

zakresie tolerancji ($4,0 + 1,5\%$ (v/v) = $5,5\%$ (v/v)). W podanym okresie 78,6% pomierzonych wartości przekraczało wartość graniczną według wymagań wynoszącą $4,0\%$ (v/v). Spośród tych wyników 32,1% było ponadto poza górnym zakresem tolerancji wynoszącym maksymalnie $5,5\%$ (v/v).

Procentowy rozrzut wyników pojedynczych zawartości wolnych przestrzeni (próbka Marshalla) w próbce losowej [% (m/m)]



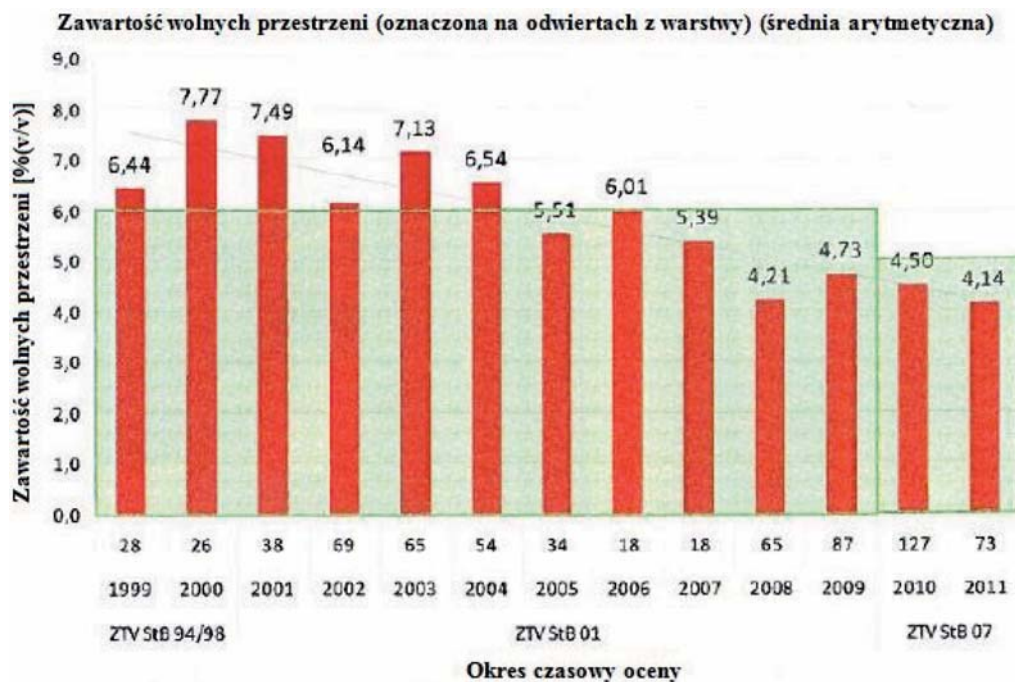
Rys. 6. Procentowy rozkład wyników pojedynczych zawartości wolnych przestrzeni określony na próbkach Marshalla uformowanych z mieszanki SMA 8 S

Wyniki badań wykonanych warstw

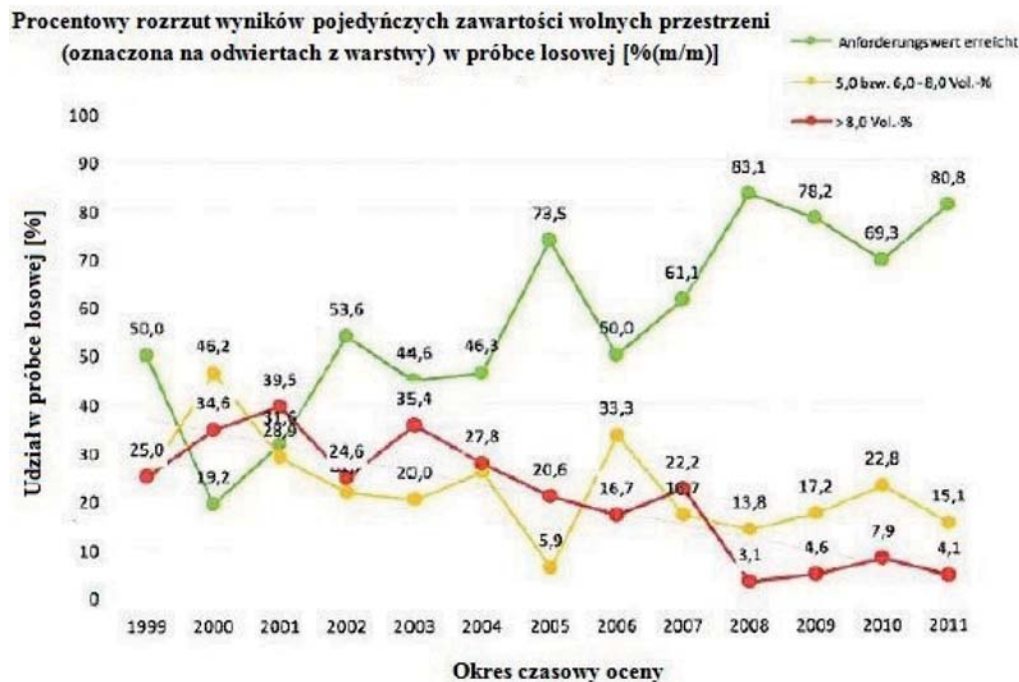
Zawartość wolnych przestrzeni w warstwach

W latach 1999–2004 średnie wartości wolnych przestrzeni z odwiertów znajdowały się w przedziale 6,1 do 7,7% (v/v), co generalnie było powyżej wartości wymaganej > 6,0% (v/v) (rysunek 7).

Analogicznie do odstępstw zawartości wolnych przestrzeni w próbkach Marshalla, również ustalone zawartości wolnych przestrzeni w odwiertach w analizowanym okresie charakteryzowały się wieloma odstępstwami. Udział szczelnych warstw ścieralnych zredukował się istotnie, począwszy od 2005 r. wartość średnia zawartości wolnych przestrzeni uzyskiwała wartość wymaganą tzn. do 6,0% (v/v) wg ZTV Asphalt - StB 01.



Rys. 7. Zawartość wolnych przestrzeni w okresie rocznym oznaczona na odwiertach z warstwy SMA 8 S



Rys. 8. Procentowy rozkład pojedynczych zawartości wolnych przestrzeni oznaczony na odwiertach z warstwy SMA 8 S

Pomimo obserwowanej pozytywnej tendencji od początku analizowanego okresu, procentowy udział zawartości wolnych przestrzeni > 6,0% (v/v) spadł z 50% (1999 r.) do 80,8% (2000 r.). Po 13 latach (w 2011 r.) obniżył się do poziomu 15,1%. Biorąc pod uwagę aktualnie obowiązującą wartość graniczną, udział przekroczeń tej wartości, względnie inwestycji budowlanych niespełniających wymagań, wynosi jeszcze 19,2%. Liczba niedopuszczalnych odchyłek od wartości wymaganych jest nadal za duża.

Zgodnie z obowiązującymi na terenie landu Berlin zapisami § 7 tzw. Berlińskiej ustawy dot. drogownictwa, a także z wytycznymi technicznymi dla drogownictwa w landzie Brandenburgia – okólnik MIR, rozdz. 4, Nr. 25/2008, przekroczenia wartości zawartości wolnych przestrzeni w zależności od ich wysokości od 2009 r. były w zróżnicowany sposób sankcjonowane. Przy stwierdzonych przekroczeniach wartości zawartości wolnych przestrzeni do 2,0%, zgodnie z obowiązującymi przepisami można w ograniczonym zakresie wydłużyć okres gwarancji, względnie dokonać potrąceń (analogicznie do ZTV LW-StB). Przy przekroczeniach wartości zawartości wolnych przestrzeni > 2,0% oczywistym skutkiem tego stanu rzeczy jest starzenie, podatność na spękania, a także skrócenie prognozowanej trwałości nawierzchni ze względu na konieczność usuwania wad i przebudów określonego obszaru.

Udział pojedynczych przekroczeń wartości dopuszczal-

nych został przedstawiony na rysunku 8 z podziałem na udział wyników 6,0 do 8,0% (v/v) (pomarańczowa seria) oraz udział wyników > 8,0% (v/v) (czerwona seria). Z dokonane go porównania wynika, że do 2007 r. występował bardzo duży udział znacznych przekroczeń (> 8,0% (v/v)), który był na poziomie 22%.

Po 2008 r. nastąpił znaczny spadek przekroczeń wartości granicznych do wartości w przedziale pomiędzy 3,1% (2008 r.) a 7,9% (2011 r.) (rysunek 8). Zasadniczo jest to za-

leżne m.in. od wdrożenia zgody Senatu, a także wprowadzenia do Dziennika Urzędowego Brandenburgii, jak i kampanii promujących jakość.

Wskaźnik zagęszczenia

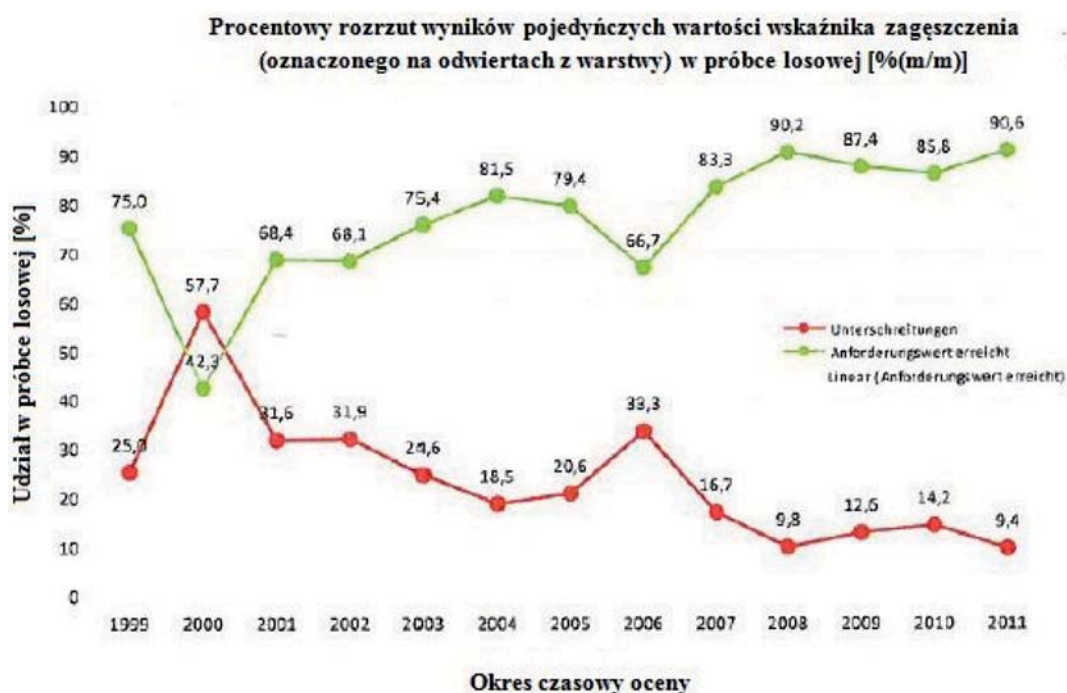
Rysunki 9 i 10 pokazują roczne wartości średnie, jak i rozrzut wartości pojedynczych wskaźnika zagęszczenia warstw w zakresie oceny próbek losowych. Wskaźnik zagęszczenia w ciągu analizowanego okresu utrzymuje się na stałym poziomie i potwierdza rozwój wysoko zagęszczonych szczelnych warstw. Pomimo że roczne wartości średnie wyraźnie pokazują tendencję do uzyskiwania dobrze zagęszczalnych szczelnych warstw, spadek z 12,6% („stare” wymagania [5], 2009 r.) na 9,4% (ZTV Asphalt- StB 07 2011 r.) jest nadal za duży.

Podsumowanie

W celu zbadania wpływu zawartości wolnych przestrzeni na procesy starzeniowe zachodzące w warstwie ścieralnej, jak również odporności na odkształcenia warstw ścieralnych wykonanych z mieszanki mastyksowo-grysowej SMA 8 S, przeprowadzono analizę statystyczną uzyskanych wyników badań kontrolnych w 13-letnim okresie eksploatacji nawierzchni (1999–2011) przy uwzględnieniu obowiązujących w podanym okresie przepisów. Obok normalnych, przyjętych, a także spodziewanych tolerancji w przypadku badań, odpowiednio do zmieniających wymagań dla poszczególnych parametrów mieszanki mineralno-asfaltowej także wewnątrz rozpatrywanego okresu, brano pod uwagę obowiązujące przepisy, co miało wpływ na ustalone wyniki badań kontrolnych. Uwzględniane były zmieniające się i równocześnie zaostrzane spo-



Rys. 9. Wskaźnik zagęszczenia w okresie rocznym oznaczony w mieszance SMA 8 S



Rys. 10. Procentowy rozkład wyników pojedynczych wartości wskaźnika zagęszczenia w mieszance SMA 8 S

soby postępowania w przypadku problemów związanych z jakością, które zawarte były w przepisach technicznych poszczególnych krajów związkowych (landów). Starania dotyczące poprawy jakości robót, a także przy uwzględnieniu zmian poszczególnych wymagań zawartych w przepisach niemieckich, tj. TL Asphalt-StB 07 i ZTV Asphalt-StB 07. Stwierdzone tendencje rozwojowe można podsumować poprzez następujące wnioski:

- Pomimo zbliżonych wymagań w tym zakresie, został stwierdzony stały wzrost zawartości lepiszcza. Podczas gdy większość wyników badań na początku rozpatrywanego okresu badawczego (1999 r.) znajdowała się w dolnym zakresie tolerancji, już w 2002 roku warunek dotyczący wymaganej zawartości lepiszcza był w zasadzie spełniany. Wskutek podwyższenia w 2009 r. minimalnej zawartości asfaltu do zawartości $> 7,2\%$ (m/m), średnia zawartość lepiszcza osiągała dolny przedział tolerancji, który jednak znajdował się jeszcze powyżej uprzednio obowiązującej wartości.
- Zawartość wolnych przestrzeni w próbkach Marshalla w analizowanym okresie, znajdująca się początkowo w górnym przedziale tolerancji, systematycznie zmniejszała się. Wymagana wartość średnia została osiągnięta po raz pierwszy w 2006 r. Jeżeli chodzi o wyniki pomiarów tego parametru, pomimo tendencji spadkowej w 2009 r. stwierdzono, że obecnie obowiązujący przedział (2,5 - 3,0% (v/v)) w większości przypadków nie zostaje osiągnięty.
- Porównanie uzyskanych wartości średnich określanych dla okresu rocznego nie wykazuje żadnych zmian w przypadku zawartości wypełniacza, podobnie stwierdzono jedynie nieznaczne zmiany zawartości kruszywa grubego w całym okresie obserwacji. W odniesieniu do obowiązujących przepisów stwierdzono natomiast powiększenie się dopuszczalnego przedziału krzywej uziarnienia w zakresie zmian, tj. spadku dolnej wartości granicznej w przypadku zawartości kruszywa grubego. Wskutek tego, bez wyraźnej tendencji do zmian poszczególnych wyników, stwierdzono przesunięcie zawartości kruszywa grubego w wymaganym przedziale.
- W przypadku zawartości wolnych przestrzeni w wykonanej warstwie, analogicznie jak w próbkach Marshalla, widoczne jest stałe obniżanie się zawartości. Udział warstw ściernalnych o zawyżonej zawartości wolnych przestrzeni uległ redukcji w takim zakresie, że w okresie od 2005 r. osiągnęte jest górne wymaganie zawarte w wytycznych ZTV Asphalt 01 wynoszące 6,0% (v/v).
- W okresie pomiędzy 1999 a 2004 r. średnie zawartości wolnych przestrzeni zawierające się w przedziale 6,2-7,6% (v/v) generalnie były powyżej wartości wymaganej. Przy obniżającej się wartości średniej, spadała również liczba wyników, która przekraczała wartość graniczną tzn. 6% (v/v). W porównaniu do początku okresu obserwacji (1999 r.) absolutna zawartość procentowa wyników przekraczających wartość graniczną zmniejszyła się z 50% w 1999 r., względnie 77% - w 2000 r. do 19,2% w 2011 r.
- Wskaźnik zagęszczenia w rozpatrywanym okresie zwiększał się i tym samym potwierdzał tendencję wykonania nawierzchni o niskiej zawartości wolnych przestrzeni. Udział niedopuszczalnych przekroczeń od wartości wymaganej obniżył się z 57,7% w 2000 r. do 9,4% w 2011 r.

Stwierdzone tendencje, które zostały ustalone na podstawie wyników badań kontrolnych dla regionu Berlin-Brandenburgia w analizowanym okresie skutkują w odniesieniu do zawartości lepiszcza, a także w zakresie wymagań określonych w przepisach technicznych. Uzasadnia to tendencję wykonywania z SMA nawierzchni o większej zawartości asfaltu, mniejszej zawartości wolnych przestrzeni, generalnie bardziej szczelnych warstw.

Wykorzystanie wyników badań kontrolnych wskazuje również, że podany zakres wymagań, w szczególności dla zawartości wolnych przestrzeni oraz wskaźnika zagęszczenia, nie jest osiąganym w zadowalającym zakresie. Planowane podwyższenie wymagań dla wskaźnika zagęszczenia do 98% należy traktować jako kryterium dla poprawy jakości robót i wykonywania bardziej szczelnych warstw ściernalnych. Pozytywne doświadczenia wskazują, że poprawa zagęszczalności bez wpływu na stabilność możliwa jest także poprzez zastosowanie dodatku piasku naturalnego w ilości około 5% (m/m). W przypadku landu Berlin zostało to już zawarte w przepisach krajowych.

Przyczynę dla poprawy jakości rozpatrywanych warstw z SMA 8 S, oprócz stosowania dodatku w ilości około 5% (m/m) piasku naturalnego jako „środka pomocniczego przy zagęszczaniu”, stanowią również szkolenia uczestników realizowanych budów, jak też konsekwentne stosowanie porąceń w przypadku stwierdzonych wad.

W kolejnym artykule, który został zamieszczony w następnym zeszycie „Asphalt” przedstawione zostały oddziaływania zawyżonej zawartości wolnych przestrzeni na właściwości użytkowe nawierzchni. W tym zakresie ocenianych było 14 odcinków o zróżnicowanej zawartości wolnych przestrzeni (poniżej 6,0% (v/v), 6,0–8,0% (v/v), powyżej 8% (v/v)), badanych i ocenianych w okresie użytkowania od 7 do 17 lat.

Literatura

- [1] Wytyczne planowania zabiegów utrzymaniowych nawierzchni drogowych; RPE Stra 01, Wydanie 01,
- [2] Dodatkowe warunki techniczne i wytyczne budowy nawierzchni asfaltowych (ZTV bit-StB 84)
- [3] Dodatkowe warunki techniczne i wytyczne budowy nawierzchni asfaltowych (ZTV Asphalt-StB 94)
- [4] Dodatkowe warunki techniczne i wytyczne budowy nawierzchni asfaltowych (ZTV Asphalt-StB 01)
- [5] Dodatkowe warunki techniczne i wytyczne budowy nawierzchni asfaltowych (ZTV Asphalt-StB 07)
- [6] Techniczne warunki dostaw mieszanki mineralno-asfaltowej do budowy nawierzchni (TL Asphalt-StB 07)
- [7] Przepisy wykonawcze do prawa drogowego, Dziennik Urzędowy 1262, Nr 1

Opracował **Wiktor Murawski**
na podstawie publikacji prof. dr inż. Dietera Großhansa
i mgr inż. Sandry Kaden,
zamieszczonej w miesięczniku „Asphalt”