

Od redakcji „Drogownictwa”

Redakcja „Drogownictwa” zamieszcza artykuł, opracowany na podstawie materiału publikowanego w jednym z niemieckich czasopism technicznych. Prezentowany tekst dotyczy nowej koncepcji wykonania warstw ścieralnych nawierzchni drogowych. Jesteśmy przeświadczeni, że prezentowane zagadnienia zainteresują specjalistów z branży drogowej w naszym kraju, zajmujących się na co dzień technologią warstw asfaltowych. W ocenie Redakcji należy rozważyć przeprowadzenie prób mających na celu sprawdzenie również w naszych warunkach przedmiotowych rozwiązań, które umożliwiają uzyskanie stabilnej nawierzchni przy zapewnieniu cech techniczno-eksploatacyjnych, które odgrywają zasadniczą rolę w bezpieczeństwie ruchu drogowego.



WIKTOR MURAWSKI  
biuro.bikwm@gmail.com

## Nowa koncepcja wykonywania wałowanych warstw ścieralnych nawierzchni o dużym obciążeniu ruchem (HVA)

Mieszanka mineralno-asfaltowa o wysokim wskaźniku zagęszczenia (Hochverdichtungsasphalt – HVA) stanowi alternatywną koncepcję w zakresie zarówno składu jak i sposobu wbudowywania wałowanych warstw ścieralnych z betonu asfaltowego względnie mastyksu grysowego SMA – w stosunku do obecnie obowiązujących w Niemczech wytycznych, tj. TL i ZTV-Aphalt-StB. Mieszanka HVA powstała w rezultacie badań ponad 30-letniej warstwy ścieralnej z betonu asfaltowego o zawartości lepiszcza B80 wynoszącej jedynie 5,4% (w przepisach technicznych zalecano wówczas minimalną

zawartość lepiszcza wynoszącą 6,2%) – przy zagęszczeniu wynoszącym ponad 100%, a także przy okazji badań dotyczących przyczyn odkształceń i spękań warstw asfaltowych wskutek naprężeń termicznych.

Artykuł opracowano m.in. na podstawie [6] – HVA Nowa koncepcja wałowanej warstwy ścieralnej dla nawierzchni o ruchu ciężkim autorstwa Prof. dr inż. E. Richter i N. Richter, zamieszczonej w czasopiśmie Asphalt nr 8/2017.

*Uwaga: Niemieckie określenie Hochverdichtungsasphalt (HVA) jest trudno precyzyjnie przetłumaczyć na techniczny język polski. W zasadzie należałoby podać tłumaczenie jako „intensywnie zagęszczona mieszanka mineralno-asfaltowa”. Inne zbliżone do podanego pierwszego tłumaczenia stanowi określenie „mieszanka mineralno-asfaltowa poddana intensywnemu zagęszczeniu”, względnie „mieszanka mineralno-asfaltowa o wysokim wskaźniku zagęszczenia”. W zasadzie należałoby stosować trzeci sposób tłumaczenia. Świadczy o tym wartość wskaźnika zagęszczenia podana w tabeli 1 tzn. powyżej 102% ( $\geq 102,0$ ). Generalnie chodzi o takie zagęszczenie mieszanki HVA, które zapewni niską zawartość wolnych przestrzeni w wykonanej warstwie  $\leq 3,0\%$  [v/v] określanej na odwiertach.*

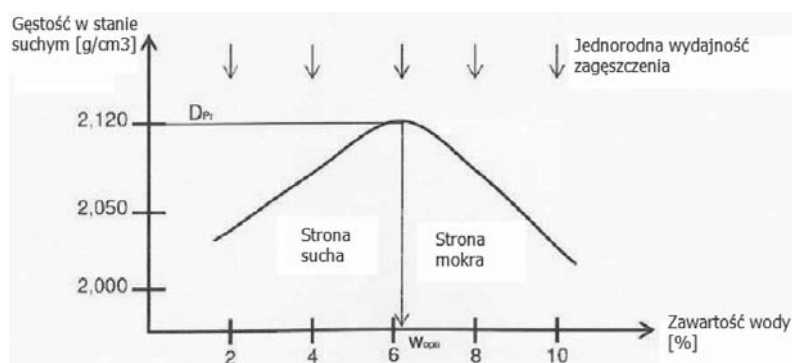
Koncepcja mieszanki mineralno-asfaltowej o wysokim wskaźniku zagęszczenia została opracowana przez autorów publikacji [6] niezależnie od Niemieckiego Stowarzyszenia Producentów Mieszanek Mineralno-Asfaltowych (DAV) i Stowarzyszenia Badawczego Drogownictwa i Komunikacji (FGSV) tzn. nie



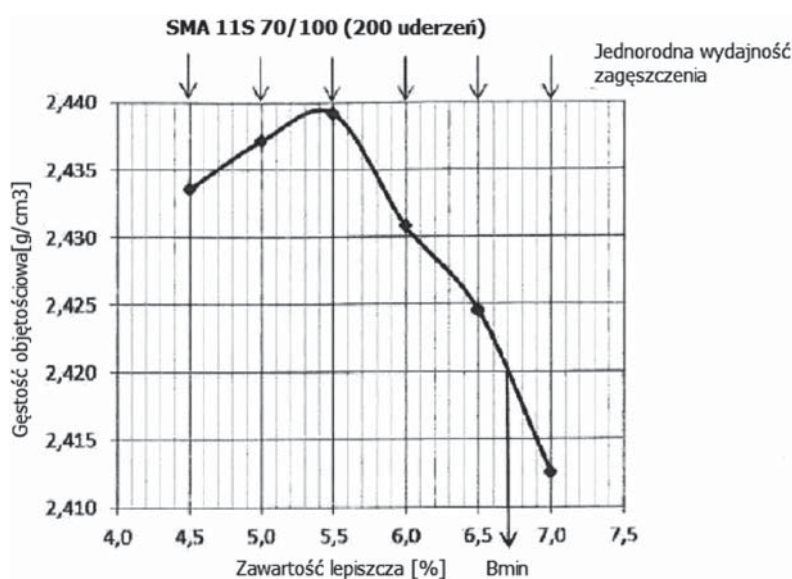
Fot. 1. Wbudowanie HVA na drodze K7377; rozsypywarka kruszywa uszorstniającego za walcami gumowymi i czterema walcami gładkimi w celu uzyskania odpowiedniego zagęszczenia końcowego

Tabela 1. Zestawienie różnic pomiędzy mieszankami HVA i SMA

Rodzaj mieszanki [%m/m]	SMA 11 HVA	SMA 11S
Zawartość asfaltu	4,6–5,0	≥ 6,7
Rodzaj asfaltu	70/100	25/55-55
Grubość warstwy [cm]	≥ 8,0	4
Sposób zagęszczania	Walce bez spryskiwania kół walców wodą	Walce ze spryskiwaniem kół walców wodą
Wskaźnik zagęszczenia [%]	≥ 102,0	≥ 98,0
Zawartość wolnych przestrzeni w odwiertach [% v/v]	≤ 3,0	≤ 5,0 (4,5)
Badania wytrzymałości i odkształcalności w wysokiej temperaturze	Wytrzymałość na ścinanie w 50°C ≥ 0,30 N/mm <sup>2</sup> Badanie koleinowania w 60°C ≤ 4 mm	brak wymagań brak wymagań
Badania wytrzymałości i odkształcalności w niskiej temperaturze	Wytrzymałość na rozłupywanie w 0°C ≥ 3,0 N/mm <sup>2</sup> Moduł E w 0°C ≤ 4500 N/mm <sup>2</sup>	brak wymagań brak wymagań



Rys. 1. Próba Proctora warstwy mrozoodpornej



Rys. 2. Próba Marshalla w przypadku SMA

w ramach oficjalnie zleconego tematu badawczego. Została opatentowana w Niemieckim Urzędzie Patentowym [1] pod numerem DE 102012222569A1. Mieszanka mineralno-asfaltowa o wysokim wskaźniku zagęszczenia różni się od mieszanek spełniających obecnie obowiązujące w Niemczech przepisy dla asfaltowych warstw wałowanych z przeznaczeniem dla nawierzchni o obciążeniu ruchem ciężkim, co przedstawiono w tabeli nr 1.

Konieczność obniżenia zawartości lepiszcza można wyjaśnić we względnie łatwy sposób za pomocą porównania badań dotyczących obszarów o zwiększonej zawartości lepiszcza. W przypadku mieszanki asfaltowej podstawowym badaniem jest próba Marshalla, podobnie jak w przypadku gruntów i podbudów niezwiązanych spoiwem hydraulicznym podstawowym badaniem jest próba Proctora. Obydwa badania bazują na zbliżonych koncepcjach, różni je tylko rodzaj środka umożliwiającego przesuw ziaren. W przypadku gruntów, stan powyżej wilgotności optymalnej, obecność wody utrudnia bardziej szczelne ułożenie ziaren. Wskutek nasycenia wodą pogarsza się nośność. W prowadzonych robotach ziemnych nikt nie zaleca, aby w trakcie robót znajdować się po tzw. wilgotnej stronie wykresu. Z tego powodu minimalny wskaźnik zagęszczenia na intensywnie obciążonych drogach został ustalony na poziomie wyższym lub równym 103%.

Przedstawienie zmian gęstości objętościowej przy zagęszczeniu próbek Marshalla, w zależności od zawartości lepiszcza pokazuje, że przy obecnie wymaganej minimalnej zawartości lepiszcza wynoszącej 6,7% znajdujemy się dość daleko od wartości maksymalnej – po „stronie wilgotnej”, co oznacza, że wymagana jest zbyt duża zawartość asfaltu. Z uwagi na fakt, że obecne obciążenia wynikające z ruchu pojazdów są znacznie większe aniżeli ma to miejsce w przypadku badań laboratoryjnych, dochodzi do powstawania odkształceń przy stosowaniu zbyt miękkiego lepiszcza. Zjawiska tego rodzaju opisane zostały w pracach badawczych prowadzonych na Uniwersytecie Technicznym (TU) w Monachium i dotyczą:

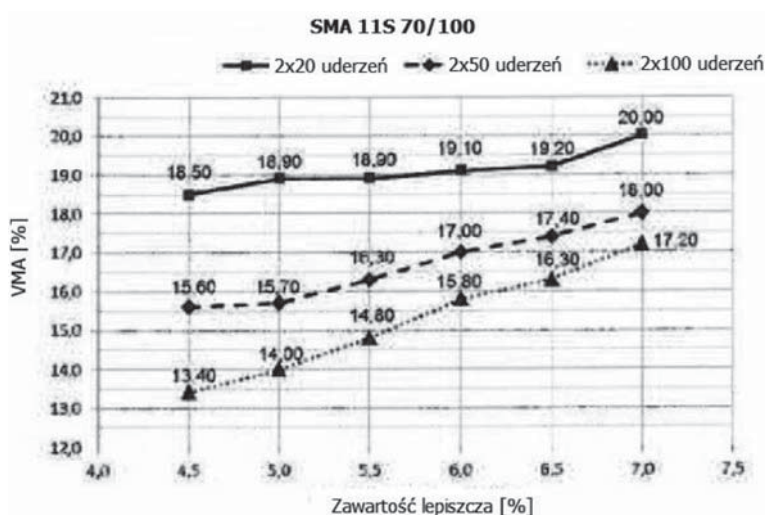
1. Dogęszczenia (zagęszczenia) końcowego, tzn. wypełnienia lepiszczem wolnych przestrzeni w szkielecie mineralnym.
2. Zmiany położenia materiałów, tzn. siłypionowanie zostają przejęte przez szkielec mineralny natomiast przez fazę lepiszcza/wypełniacz, która jest zbyt miękka.
3. Przemieszczenia bocznego, tzn. siły nie mogą zostać przeniesione bez wystąpienia uszkodzeń.

Zjawiska tego rodzaju są również widoczne przy ocenie zawartości wolnych przestrzeni w szkielecie mineralnym, co określane jest skrótem VMA % [v/v] (rys. 3). Wyniki badań pokazują, że przy odpowiednio intensywnym zagęszczeniu oraz przy niewielkiej zawartości lepiszcza można osiągnąć bardziej szczelne ułożenie ziaren. Przy zawartości asfaltu na poziomie 5% [m/m], stanowi to np. 14% zawartości wolnych przestrzeni w szkielecie mineralnym.





Fot. 2. Wbudowywanie mieszanki HVA na pasach szybkim i wolnym na autostradzie A73 przy zastosowaniu rozkładarki, podajnika pośredniego, dwóch walców ogumionych oraz rozsypywarki kruszywa o szerokości posypywania wynoszącej 4,10 m



Rys. 3. Zależność zawartości wolnych przestrzeni w szkieletie kruszywa od zawartości lepiszcza i zagęszczenia

Określając zawartość lepiszcza przy zastosowaniu 2 × 50 uderzeń w celu zagęszczenia próbki, uzyskuje się przykładowo 17,4% [v/v] zawartości wolnych przestrzeni w szkieletie mineralnym. Cele obniżania zawartości lepiszcza polega na tym, aby mieszanka, (HVA) pomimo intensywnego zagęszczenia, nie znalazła się w obszarze wysokiego nasycenia lepiszczem. Warstwa ścieralna wykonana z HVA nie może się odkształcać.

W przypadku mieszanki HVA z reguły stosuje się bardziej miękkie lepiszcze asfaltowe rodzaju 70/100 (temperatura mięknięcia asfaltu 52–56°C), tak aby uniknąć zjawiska wczesnego powstawania spękań nawierzchni. Jednak, aby można było uzyskać z takim rodzajem lepiszcza warstwę w pełni odporną na odkształcenia, konieczne jest istotne zwiększenie skuteczności zagęszczenia.

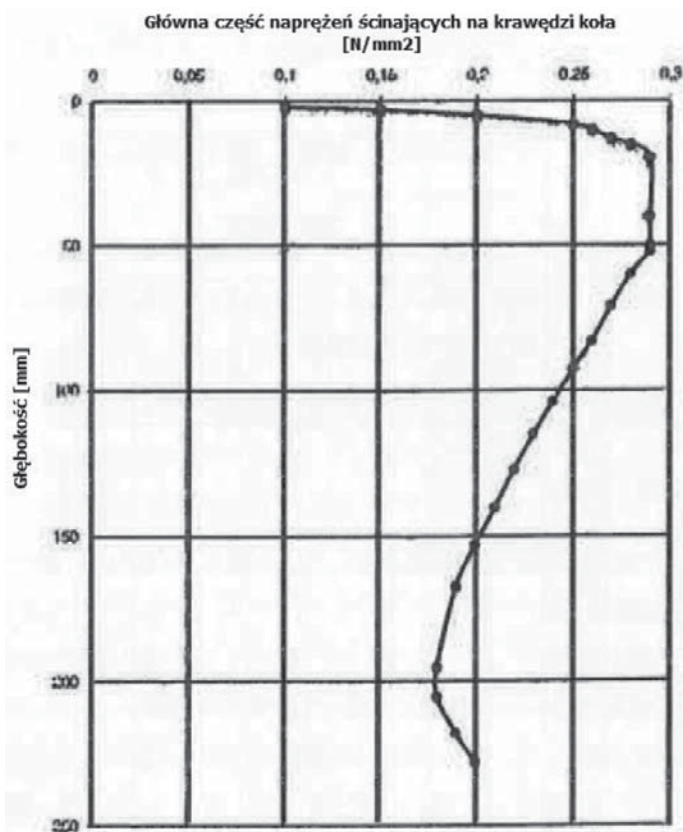
W celu lepszego wyjaśnienia problematyki odkształceń nawierzchni asfaltowych, konieczne jest szczegółowe przyjrzenie się zagadnieniom wytrzymałości, co było tematem szeregu prac badawczych.

W pracy badawczej wykonanej w 1976 r. na Uniwersytecie Technicznym w Monachium, Lenker korzystając z programu BISAR wyliczył naprężenia ścinające pod kołem pojazdu oraz na krawędziach koła w przypadku każdych 2 cm grubości warstwy. Dokonano tego dla obciążenia liniowego wynoszącego 1,04 N/mm<sup>2</sup> oraz dla ciśnienia w oponie wynoszącego 11 bar. E. Richter i M. Schubert [2] przeprowadzili ponowną analizę wykonanej pracy badawczej, a uzyskane rezultaty przedstawili w nieco uproszczony sposób w artykule dotyczącym badania koleinowania. Obliczenia wykazały, że przyczyny odkształceń przy maksymalnych naprężeniach ścinających na krawędzi koła są zlokalizowane w obrębie warstwy ścieralnej, a więc w warstwie, w której występuje najwyższa temperatura i stosunkowo duże zawartości lepiszcza, co należy uznać jako przeciwstawne w odniesieniu do warstwy wiążącej i podbudowy.

W danym przykładzie obliczeniowym wartość poszukiwana wyniosła 0,29 N/mm<sup>2</sup>. Określenie naprężeń powinno w pewnym zakresie następować na etapie budowy drogi, natomiast do chwili obecnej nie jest to powszechnie stosowane. W ramach badań kontrolnych nie prowadzi się również oceny cech mechanicznych. W zakresie kontroli jakości zakłada się spełnienie założeń odnośnie projektowanej zawartości lepiszcza, temperatury mięknięcia, składu ziarnowego, wskaźnika zagęszczenia oraz zawartości wolnych przestrzeni. Krytyczne naprężenia wskutek obciążeń nawierzchni kołami pojazdów występują latem w okresie wysokich temperatur. Z tych względów należałoby określać odporność na ścinanie, aby można było znaleźć odpowiedź na pytanie, jakie naprężenia ścinające należy przyjąć jako wymagane, aby zostały one przeniesione bez ryzyka powstania uszkodzeń.

Badania ścinania przeprowadzono w temperaturze +60°C. Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 5. Wyniki pokazują, że przy miękkim lepiszczu asfaltowym rodzaju 70/100, fakt wystąpienia odkształceń

można uznać za uzasadniony. Dopiero przy znacznie wyższych wymaganiach dotyczących wskaźników zagęszczenia, tzn. powyżej 102%, osiąga się odporność na ścinanie powyżej 0,29 N/mm<sup>2</sup>, która jak przyjmuje się nie prowadzi do odkształceń nawierzchni, odnosząc to do obliczeń wykonanych na Uniwersytecie Technicznym w Monachium. Dalsze zwiększenie wskaźnika zagęszczenia stanowi temat tabu w niemieckim budownictwie drogowym, m.in. z powodu problemów z cienkimi warstwami ścieralnymi o grubości do 4 cm, wbudowywanymi w późnym okresie jesiennym, tj. w okresie miesięcy październik–grudzień. Prawie 50% tego rodzaju inwestycji musi zostać zrealizowana o tej porze roku ze względu na możliwość pozyskania środków finansowych.



Przebieg naprężeń ścinających  $\tau$  na krawędzi koła

Nacisk koła 36,2, ciśnienie w oponie 11 bar,

$S=106,1 \rho_a = 1,023 \text{ N/mm}^2$

Rys. 4. Rozkład naprężeń ścinających na krawędzi koła

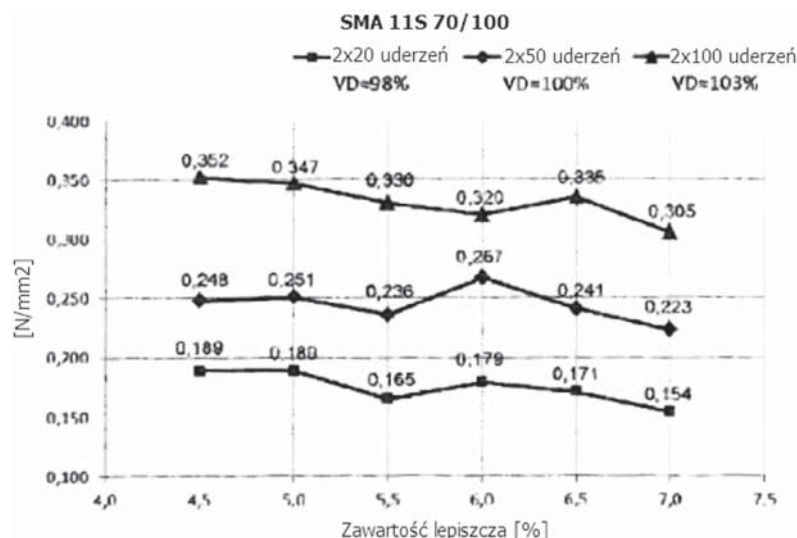
Tabela 2. Zestawienie rocznego stopnia usztywnienia lepiszcza w asfaltowych warstwach ścieralnych

Zawartość wolnych przestrzeni [%v/v]	Wzrost temperatury mięknięcia PiK [°C/rok]
<3	<0,5
4 – 5	0,6 – 1,2
6 – 7	1,5 – 2,0

Na podstawie analizy przyczyn odkształceń wyciągnięto następujące wnioski dotyczące składu mieszanki HVA:

- należy obniżyć zawartość lepiszcza w mieszance mineralno-asfaltowej o ok. 2,0% w stosunku do minimalnej zawartości lepiszcza według przepisów TL Asphalt, aby nie wchodzić w górny obszar wypełnienia wolnych przestrzeni asfaltem dla nawierzchni o dużym obciążeniu ruchem;
- konieczne jest zwiększenie wskaźnika zagęszczenia do minimum 102%, co umożliwi uży-

Rys. 5. Sztywność w temperaturze +60°C w zależności od zawartości lepiszcza i liczby uderzeń



skanie zawartości wolnych przestrzeni w warstwie  $\leq 3\%$  (oznaczanej na odwiertach) w celu zminimalizowania zjawiska dogęszczania się warstwy w warunkach rzeczywistych;

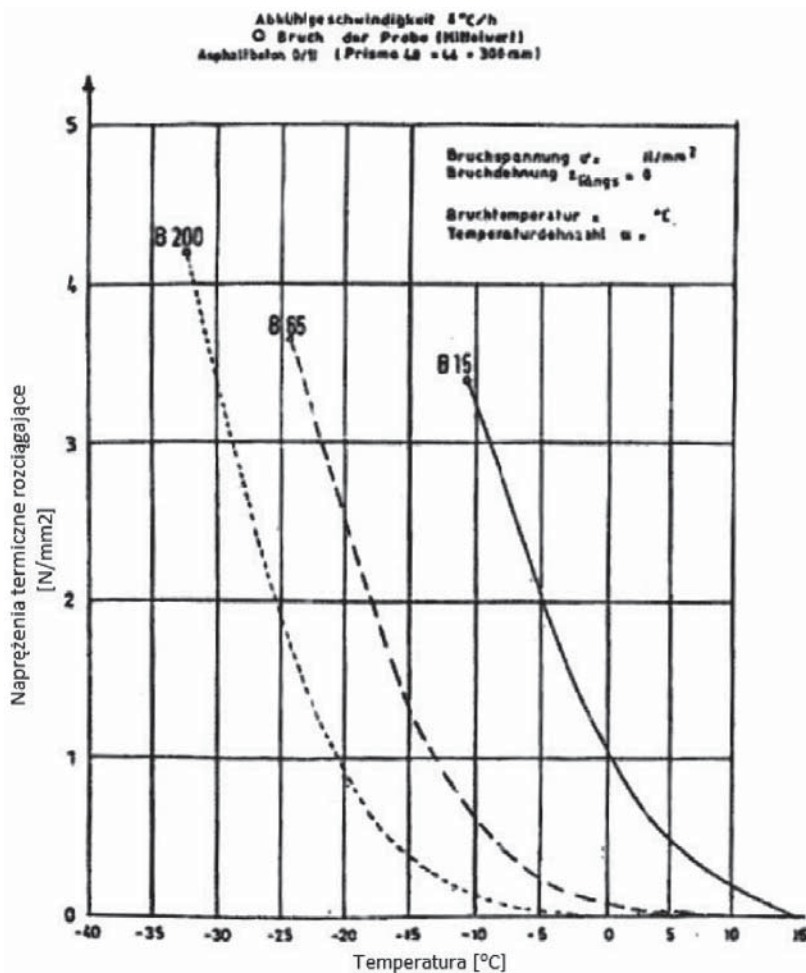
- należy stworzyć korzystniejsze warunki umożliwiające spełnienie wyższych wymagań w zakresie zagęszczenia poprzez zwiększenie grubości wbudowywania, zapobieganie szybkiemu schładzaniu się wykonywanej warstwy, co dokonuje się łącznie z eliminacją chłodzenia wodą wałków walców, a ponadto konieczne jest podwojenie liczby użytych walców.



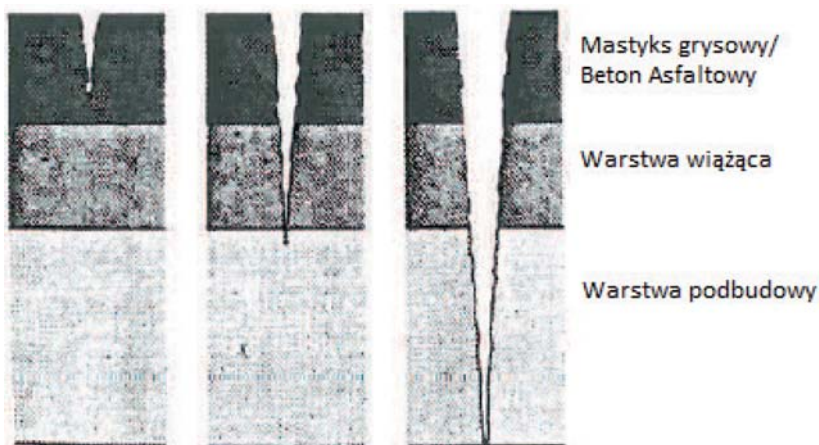
Fot. 3. Wbudowywanie mieszank mineralno-asfaltowych przy zastosowaniu rozkładarki, dwóch walców ogumionych oraz rozsypywarki liniowej w celu wytworzenia warstwy rozdzielającej

W celu przeciwdziałania tworzeniu się odkształceń w nawierzchniach asfaltowych, władze odpowiedzialne w Niemczech za utrzymanie sieci drogowej zdecydowały się już wcześniej na wprowadzenie twardszego rodzaju lepiszcza asfaltowego. Od 1978 r. asfalt B80 zastępowany był asfaltem B65, a po wystąpieniu fali uszkodzeń nawierzchni spowodowanych odkształceniami trwałymi przeprowadzono dalsze zmiany [3]. W 1996 r. zdecydowano się na kolejną korektę wprowadzając asfalt o penetracji 45 [0,1 mm]. Należy podkreślić, że liczne odcinki nawierzchni wykonane





Rys. 6. Powstawanie naprężeń indukowanych termicznie przy ciągłym ochładzaniu



Rys. 7. Schematyczne przedstawienie przebiegu indukowanego termicznie powstawania spękań w warstwach asfaltowych

z mastyksu grysowego, które teoretycznie powinny być bardziej odporne na tworzenie się odkształceń trwałych, zostały w tym kontekście ocenione krytycznie [4].

Zastosowanie twardszych rodzajów asfaltów do wytwarzania mieszanek mineralno-asfaltowych skutkuje mniejszą podatnością na zagęszczanie, większą zawartością wolnych przestrzeni w warstwie, a także z negatywnymi zjawiskami

takimi jak szybsze starzenie się lepiszcza oraz większym wpływie związanym z oddziaływaniem wody. W związku z tymi zmianami obecnie w głównej mierze występują uszkodzenia określone jako spękania termiczne, które nie mają żadnego związku z obciążeniem nawierzchni ruchem pojazdów. Z uwagi na wysoką temperaturę mięknięcia lepiszcza asfaltowego w świeżo wbudowanej mieszance mineralno-asfaltowej, zmniejszył się przedział czasowy procesu starzenia zachodzącego na eksploatowanym odcinku drogi, prowadzący do wystąpienia spękania granicznego. W wykonywanych testach obniżania temperatury próbek nawierzchni, zachodzący proces może zostać oceniony również w warunkach laboratoryjnych. W praktyce, wskutek zjawiska ochładzania się nawierzchni w okresie zimowym dochodzi do powstania bardzo dużych naprężeń rozciągających. W przypadku, gdy wytrzymałość na rozciąganie mieszanki mineralno-asfaltowej zostaje przekroczona, nawierzchnia zostaje uszkodzona wyłącznie wskutek zjawiska spadku temperatury otoczenia. Według E. Richtera [5], graniczna wartość w przypadku spękań w odniesieniu do temperatur panujących w Niemczech w okresie zimowym znajduje się w pobliżu temperatury mięknięcia lepiszcza asfaltowego oznaczanej metodą pierścienia i kuli – wynoszącej około 70°C. W przypadku mieszanek typu zagęszczanego, zawartość wolnych przestrzeni w wykonanej warstwie ma decydujące znaczenie w odniesieniu do starzenia użytego lepiszcza. W tabeli 2 przedstawiono wartości średnie usztywnienia lepiszcza zachodzące w nawierzchni w rzeczywistych warunkach na drodze, tzn. które wywołane jest wskutek oddziaływania promieni ultrafioletowych UV oraz tlenu zawartego w powietrzu [5].

Według badań, lepiszcza asfaltowe modyfikowane polimerem z reguły są nieco bardziej wrażliwe na procesy starzeniowe aniżeli lepiszcza niemodyfikowane. W przypadku, gdy lepiszcze osiągnie granicę pęknięcia z powodu starzenia zachodzącego na drodze, tworzenie się spękań rozpoczyna się w górnej strefie nawierzchni z uwagi na to, że występuje tam najniższa temperatura. Proces ten następnie postępuje stopniowo w głąb warstwy.

Ochładzanie się nawierzchni zwiększone zostaje dodatkowo przez stosowanie środków odładzających. W przypadku mieszanki HVA

przewidziano w związku z tym stosowanie lepiszcza bardziej miękkiego, tj. asfaltu rodzaju 70/100. Temperatura mięknięcia tego rodzaju lepiszcza po wbudowaniu powinna zawierać się w przedziale 52–56°C. Dzięki temu możliwy jest znaczący dodatek granulatu asfaltowego. W związku z wymaganą niską zawartością wolnych przestrzeni w warstwie, tzn. poniżej 3,0% (v/v), proces starzenia się lepiszcza następuje bardzo

powoli. W przypadku warstw wykonanych z mieszanki HVA można zakładać uzyskanie ok. 30-letniego okresu trwałości. Zostało to potwierdzone wieloletnimi doświadczeniami z warstwami ścieralnymi, które były wykonywane w okresie przed 1990 r., względnie również wcześniej, z asfaltem rodzaju B80 (obecnie jest to lepiszcze 70/100). Nawierzchnie po wykonaniu były z reguły bardzo szczelne. Są one użytkowane do dzisiaj bez stwierdzenia występowania widocznych spękań. Z podanych względów duże znaczenie przypisuje się szczelnej warstwie ścieralnej, przy czym również górna strefa tej warstwy powinna być szczelna, co stało się możliwe eliminując całkowicie spryskiwanie wodą kół walca gładkiego. Według danych uzyskanych z firm wykonawczych, zużycie wody przy zagęszczaniu warstw ścieralnych jest rzędu 0,3–0,5 l/m<sup>3</sup>, tak aby skutecznie zapobiegać przyklejaniu się mieszanki mineralno-asfaltowej do obręczy kół walców gładkich (stalowych).

W odniesieniu do grubości warstwy wynoszącej 4 cm, średni spadek temperatury odnoszący się wyłącznie do oddziaływania wody w ilości ok. 0,4 l/m<sup>2</sup> wyniósł 11,7°K. W praktyce jednak, nawierzchnia była schładzana szybciej i pobierała potrzebną energię z niżej położonych warstw. Z powodu znacznych różnic temperatury w mieszance mineralno-asfaltowej, dochodziło tym samym do zróżnicowania zawartości wolnych przestrzeni w zagęszczonej warstwie. Górna powierzchnia warstwy ścieralnej była bardziej „szorstka”, stanowiąc pewnego rodzaju punkt wyjściowy związany z ubytkiem ziaren i wykruszeń nawierzchni wskutek długiego oddziaływania wody (odmywanie lepiszcza z ziaren kruszywa), jak również starzenia lepiszcza wskutek promieniowania ultrafioletowego.

Nawierzchnie HVA zagęszczane bez użycia wody do zwilżania kół walców, pomimo mniejszej zawartości lepiszcza o ok. 2%, charakteryzują się szczelną powierzchnią. Bardziej twarde lepiszcze wyjściowe i tym samym gorsza zagęszczalność mieszanki mineralno-asfaltowej, niejednokrotnie w połączeniu z gorszymi warunkami pogodowymi w trakcie wbudowywania są przyczyną tego, że w obecnie wykonywanych warstwach ścieralnych już po kilku latach tworzą się spękania. Zazwyczaj jednak 5-letni okres gwarancji na zgłaszania tego rodzaju wad już upływa. Można mówić o prawidłowości, że obecnie wykonywane warstwy ścieralne wytwarzane na bazie asfaltu o penetracji 45 [0,1 mm] wykazują mniejszą trwałość w porównaniu do starszych wiekiem warstw ścieralnych z bardziej miękkimi lepiszczami asfaltowymi.

W celu osiągnięcia zwiększenia wskaźnika zagęszczenia mieszanki HVA do poziomu powyżej 102%, należy połączyć ze sobą następujące elementy wykonania:

- podwoić liczbę walców zagęszczających (2 walce dynamiczne gładkie na szerokość pasa jezdni);
- zwiększyć grubość wbudowywania mieszanki do powyżej 8 cm, aby wydłużyć przedział czasowy na odpowiednie zagęszczenie warstwy (faza gorącej mieszanki asfaltowej);
- zagęszczanie przeprowadzać bez użycia wody, tzn. bez dodatkowego schładzania obszaru górnej powierzchni warstwy.

## Produkcja, wbudowywanie i zagęszczanie HVA

Według przedstawionej koncepcji mieszanki HVA w okresie lat 2014 do 2017, zrealizowano w Niemczech 14 projektów budowlanych na terenie kilku landów tzn. Turyngii, Saksonii Anhalt oraz Saksonii o łącznej powierzchni 133.273 m<sup>2</sup>. Z uwagi na fakt, iż walce gładkie pozbawione zbiorników wody nie są obecnie dostępne, mieszanki mineralno-asfaltowe wbudowywano i zagęszczano w następujący sposób:

- wbudowywanie następowało z użyciem tradycyjnej (konwencjonalnej) rozkładarki, zapewniającej wysoki wskaźnik zagęszczenia wstępnego;
- zagęszczanie rozłożonej mieszanki mineralno-asfaltowej rozpoczynano przy użyciu rozgrzanego walca gumowego (3–5 przejazdów walca);
- wprowadzono wykonanie warstwy tzw. rozdzielającej z suchego kruszywa frakcji 1/3 mm w ilości 4 kg/m<sup>2</sup>, co uzyskiwano poprzez rozsypywanie kruszywa w sposób liniowy;
- końcowe zagęszczenie warstwy następowało z użyciem:
  - walca gładkiego o masie 6–9 t dynamicznego – bez użycia wody, min. 5 przejazdów,
  - walca gładkiego o masie 9–12 t dynamicznego – bez użycia wody, min. 5 przejazdów.

Istotnym problemem występującym w praktyce okazało się tzw. posypywanie ciągle wykonywanej warstwy kruszywem o uziarnieniu 1/3 mm w ilości 4 kg/m<sup>2</sup> bez powstawania stref zakładek. Zagęszczanie dokonywane przez walec ogumiony, jak również rozsypywanie kruszywa w celu wykonania warstwy rozdzielającej oznacza w praktyce skrócenie optymalnego czasu zagęszczania. W przypadku, gdyby dostępne były odpowiednie walce gładkie, do których nie przykleja się gorąca mieszanka mineralno-asfaltowa, użycie walców ogumionych, a także wykonanie tzw. warstwy rozdzielającej nie byłoby konieczne. Dociskanie poprzez 1 przejazd statyczny, a następnie końcowe zagęszczenie dynamiczne (min. 10 przejazdów) mogłyby znacznie zredukować technologiczny nakład pracy. Walce gładkie pracujące bez zwilżania wodą kół powinny być od dawna stosowane w każdym obszarze wykonania nawierzchni asfaltowych.

## Wyniki badań kontrolnych

### **Zawartość lepiszcza, temperatura mięknięcia, pierścien i kula, zawartość wolnych przestrzeni w odwiertach i wskaźnik zagęszczenia**

Wymagana zawartość lepiszcza utrzymywała się w granicach tolerancji, tzn. w przedziale  $\pm 0,3\%$  [m/m], dodatek granulatu asfaltowego wynosił od 15 do 20%. Temperatura mięknięcia PiK asfaltu 70/100 zawierała się w przedziale 49–57°C, przy większej różnicy dla naturalnego starzenia na granicy spękania wynoszącej ok. 70°C PiK. Udało się osiągnąć zawartość wolnych przestrzeni w odwiertach, tj. w zakresie nie przekraczającym 3,0% [v/v], natomiast w przypadku wskaźnika zagęszczenia na poziomie powyżej 102,0%.

Podczas wbudowywania mieszanki HVA na autostradzie A73 na pasie postojowym o szerokości 2,50 m, wartości wymaganych nie udało się uzyskać w obrębie obydwu miejsc postojowych z powodu występującej zmiany szerokości wbudowywania do 5,00 lub 6,50 m. W tych przypadkach dla podanych szerokości wbudowywania zabrakło wymaganej podwójnej liczby walców.

### **Wyniki badań odporności na odkształcenia**

Badania koleinowania na odwiertach o średnicy 30 cm zostały przeprowadzone tylko dla niektórych zrealizowanych projektów. Pomierzone wartości odkształceń zawierały się przeważnie w zakresie wymaganym, tzn. poniżej 4,0 mm – w przypadku płyt o grubości 8 do 14 cm. Bardziej niekorzystnie przedstawiała się natomiast sytuacja dotycząca wytrzymałości na ścinanie na odwiertach badanych w temperaturze +60°C. Prawie wszystkie pomierzone wartości znajdowały się poniżej wartości oznaczonych w laboratorium na próbkach Marshalla zagęszczanych 2 × 100 uderzeń na jedną stronę próbki, które wynosiły powyżej 0,32 N/mm<sup>2</sup>. Ponieważ wieloletnie pomiary temperatury warstwy ścieralnej na głębokości 2 cm nie przekraczały wartości 50°C, w przypadku niektórych projektów budowlanych dodatkowo z częściowo dostępnych odwiertów o średnicy 150 mm, pobranych w celu oznaczenia wskaźnika zagęszczenia, uzyskano odwierty o średnicy 100 mm. Pomierzone wartości były powyżej wartości wyliczonej przez Lenkera, wynoszącej 0,29 N/mm<sup>2</sup>.

Wszystkie zrealizowane inwestycje drogowe przy obciążeniu ruchem ciężkim w czasie wieloletniej eksploatacji nie wykazały żadnych odkształceń. Z praktycznego punktu widzenia podczas badań kontrolnych należy preferować temperaturę badania ścinania wynoszącą 50°C, a ponadto obniżyć wymaganie minimalne do wartości 0,30 N/mm<sup>2</sup>.

### **Wyniki pomiarów równości w przekroju poprzecznym**

Pomiary równości w przekroju poprzecznym służące do oceny odkształceń nawierzchni w praktyce zostały przeprowadzone tylko w przypadku dwóch projektów budowlanych. Pomiary w końcowym obszarze na szerokości 6,50 m użytkowanym głównie przez pojazdy ciężarowe i w mniejszym

stopniu również przez inne pojazdy, po dwóch okresach letnich nie wykazały żadnych odkształceń. Pomiary przekroju poprzecznego na pasie jazdy pod wzniesienie, wykazały minimalne zmiany równości na pasie ruchu wolnego wynoszące do 1,5 mm.

### **Wyniki badań szorstkości nawierzchni**

W zależności od stopnia intensywności zawałowania kruszywa frakcji 1/3, jak pokazują to wyniki pomiarów na odcinku pomiarowym długości 1.050 m na pasie wolnym i szybkim, powierzchnia wykonana z mieszanki HVA jest z reguły bardziej „szorstka” w porównaniu do odcinków wykonanych z SMA 11 S, poddanej tradycyjnemu uszorstnieniu drobnym kruszywem tego rodzaju nawierzchni.

### **Wyniki pomiarów równości podłużnej**

Pomiary równości podłużnej warstwy wykonanej z mieszanki HVA wykonywane były przy użyciu planografu. Na początku i na końcu odcinka, tzn. w strefach przejść na odcinki wykonane z mieszanki SMA 11 S, stwierdzono niedopuszczalne odchyłki równości. Wyniki pomiarów równości podłużnej na całym pozostałym odcinku generalnie należy uznać za bardzo dobre. Wszystkie wielkości stwierdzonych nierówności podłużnych zawierają się w przedziale poniżej 2 mm.

### **Bibliografia**

- [1] Richter N. Mieszanka mineralno-asfaltowa intensywnie zagęszczona, Patent DE 1020122256A1
- [2] Richter E. Schubert M. *Krytyczna ocena badania odporności na koleinowanie mieszanek mineralno-asfaltowych*, „Bitumen” 3/1998, Hamburg
- [3] Reuter H.R. *Mieszanka mineralno-asfaltowa – istotny składnik strategii rozbudowy dróg Departamentu Autostrad w Brandenburgii*, „Straße und Autobahn”, Zeszyt 8
- [4] Pismo Okólne „Budowa Dróg” nr 5/1996 z 18.01.1996 r., Kryteria wyboru i ocena różnego rodzaju konstrukcji drogowych. Federalne Ministerstwo Transportu StB 26/38 Bonn
- [5] Richter E. *Zachowanie się lepizczy przy wytwarzaniu mieszanek mineralno-asfaltowych i w nawierzchni drogowej*. „Nawierzchnie asfaltowe” 3/1990
- [6] Richter E., Richter N., HVA. *Nowa koncepcja wałowanej warstwy ścieralnej dla nawierzchni o ruchu ciężkim*, „Asphalt” nr 8/2017

Zapraszamy do prenumerowania DROGOWNICTWA w 2019 roku

<b>prenumerata roczna normalna 250 zł</b>	} (w tym 5% VAT)
<b>cena 1 egzemplarza 21 zł</b>	
<b>prenumerata roczna studencka 125 zł</b>	} (w tym 5% VAT)
<b>cena 1 egzemplarza 10,50 zł</b>	

Uprzejmie informujemy Szanownych Prenumeratorów, że egzemplarze „Drogownictwa” oraz faktury będą wysyłane po przesłaniu zamówienia na adres [prenumerata.drogownictwo@sitkrp.org.pl](mailto:prenumerata.drogownictwo@sitkrp.org.pl) oraz po wpłaceniu należnej kwoty na nasze konto:

**38 1160 2202 0000 0000 2741 3872**