

Marek IWAŃSKI
Politechnika Rzeszowska

Anna MATUSIAK
Politechnika Świętokrzyska

WPŁYW KRUSZYWA Z ŻUŻŁA STALOWNICZEGO NA WŁAŚCIWOŚCI BETONU ASFALTOWEGO

Kruszywo z żużła stalowniczego charakteryzuje się wysoką odpornością na ścieranie i polerowanie. Łączy w sobie najkorzystniejsze cechy kruszywa kwarcytowego i bazaltowego. Zastosowanie tego rodzaju kruszywa w betonie asfaltowym zapewnia uzyskanie przez niego parametrów fizykomechanicznych na wyższym poziomie niż przy zastosowaniu kruszywa kwarcytowego czy bazaltowego. Wykonane badania zmian cech betonu asfaltowego z kruszywem z żużła stalowniczego przed i po procesie starzenia oraz oddziaływania wody i mrozu potwierdziły jego dużą odporność na niszczące czynniki środowiskowe.

1. Wstęp

Przewidywany wzrost zapotrzebowania na kruszywa o bardzo dobrych właściwościach fizykomechanicznych, związany z planem budowy autostrad w naszym kraju oraz ograniczona baza surowców mineralnych stwarzają potrzebę poszukiwania nowych źródeł materiałów. Istotnym kryterium ich doboru jest konieczność zapewnienia wymaganej szorstkości nawierzchni asfaltowej. W związku z tym materiały, które będą stosowane, szczególnie do warstwy ścieralnej nawierzchni drogowej, powinny cechować się dużą odpornością na polerowanie i ścieranie, co zagwarantuje wysoki współczynnik tarcia opona/nawierzchnia w okresie eksploatacji drogi. Szczególną uwagę zwraca się obecnie na dużą odporność kruszywa na proces polerowania. Podkreśla to również przygotowany projekt Dokumentu Aplikacyjnego do normy PN-EN 13043:2004, wprowadzający obowiązek oceny odporności na polerowanie kruszywa stosowanego do warstw ścieralnych nawierzchni drogowych. Należy zaznaczyć, że kruszywo łamane do mieszanek mineralno-asfaltowych (betonu asfaltowego i mieszanki mastyksowo-grysowej SMA), przeznaczonych na warstwę ścieralną nawierzchni obciążonej ruchem KR3-6, powinno się charakteryzować wskaźni-

kiem polerowania $PSV \geq 50$. Baza kruszyw pochodzenia skalnego o tak wysokiej odporności na polerowanie jest w naszym kraju bardzo ograniczona.

Do materiałów alternatywnych mogących znaleźć szerokie zastosowanie w produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych można zaliczyć kruszywo z żużla stalowniczego, które charakteryzuje się właśnie dużą odpornością na polerowanie oraz ścieranie [1]. Kruszywo to pozyskiwane jest w wyniku przeróbki żużla stalowniczego zalegającego na hałdach przy hutach stali. Obecnie jednak jest ono wykorzystywane w ograniczonej ilości.

Za zastosowaniem kruszywa żużlowego stalowniczego w drogownictwie przemawiają więc nie tylko względy technologiczne, ale również i ekologiczne, polegające z jednej strony na zmniejszeniu tempa eksploatacji naturalnych złóż mineralnych, a z drugiej na ograniczeniu i likwidacji zalegających hałd materiałowych przy hutach.

Beton asfaltowy w czasie produkcji oraz w okresie eksploatacji jest narażony na działanie wielu niszczących czynników środowiska, takich jak np. wysoka temperatura i wiatr. Pod wpływem działania tych czynników zachodzą w nim nieodwracalne zmiany cech fizykomechanicznych nazywane starzeniem. Intensywność procesów starzenia betonu asfaltowego w znacznym stopniu zależy od jego dwóch głównych składników: asfaltu i kruszywa, których rodzaj wpływa na intensywność procesu chemicznej adsorpcji zachodzącej na granicy asfalt–powierzchnia ziarna kruszywa.

W starzeniu asfaltu w mieszance mineralno-asfaltowej można wyodrębnić dwa etapy. Podczas etapu pierwszego (technologicznego) następuje odparowanie lekkich składników olejowych z asfaltu poprzez oddziaływanie wysokiej temperatury w czasie przechowywania asfaltu, wytwarzania mieszanki, jej transportu i wbudowania. W związku z tym, że etap ten zachodzi bardzo szybko i gwałtownie, został on nazwany w amerykańskim programie badawczym Strategic Highway Research Program (SHRP) starzeniem krótkoterminowym (STOA) [2]. Drugi etap (eksploatacyjny) obejmuje zmiany starzeniowe asfaltu w okresie eksploatacji nawierzchni. Ten etap nazywany jest starzeniem długotrwałym (LTOA) [2]. Istotne znaczenie w starzeniu eksploatacyjnym odgrywa natężenie i czas promieniowania słonecznego. Pod wpływem działania czynników starzeniowych następuje utwardzenie asfaltu w mieszance, ulegają zmniejszeniu siły oddziaływania między asfaltem a ziarnami mineralnymi kruszywa, co w konsekwencji może doprowadzić do powstawania pęknięć nawierzchni. Na wielkość zmian tych sił, a tym samym na intensywność procesów starzenia ma wpływ rodzaj kruszywa zastosowanego w mieszance, jego odczyn oraz tekstura ziaren mineralnych. W zależności od rodzaju zastosowanego kruszywa zachodzi na jego powierzchni w mniejszym lub większym stopniu nieodwracalna adsorpcja polarnych składników asfaltu, co powoduje przyspieszenie procesu starzenia.

Niezwykle destrukcyjnie na nawierzchnię asfaltową wpływa również woda oraz woda i mróz. Ich oddziaływanie jest związane przede wszystkim z niedostatecznym otoczeniem ziaren kruszywa lepiszczem w mieszance mineralno-

-asfaltowej. Nieodpowiednie otoczenie kruszywa może być spowodowane za małą ilością lepiszcza w mieszance lub słabym powinowactwem kruszywa z asfaltem. Na skutek oddziaływania wody oraz wody i mrozu procesy destrukcyjne w nawierzchni asfaltowej zachodzą początkowo jedynie na granicy kontaktu asfalt–ziarno oraz w samych ziarnach kruszywa. Czynniki te powodują naruszenie struktury wewnętrznej całej mieszanki mineralno-asfaltowej, a w konsekwencji powstanie mikropęknięć, które stale się powiększając, przyspieszają niszczenie nawierzchni.

W przypadku betonów asfaltowych z prawidłowo dobraną ilością asfaltu ich wodo- i mrozoodporność zależą głównie od rodzaju kruszywa, jego cech powierzchniowych oraz właściwości fizykomechanicznych. Istotne znaczenie odgrywa prawidłowe rozpoznanie wpływu rodzaju kruszywa, czyli w rozpatrywanym przypadku kruszywa z żużla stalowniczego, na właściwości betonu asfaltowego w aspekcie jego odporności na działanie wody i mrozu. Przy tym, badając wodo- i mrozoodporność betonu asfaltowego, należy odnieść się do warunków rzeczywistych panujących na drodze i uwzględnić stosowanie w czasie zimy soli rozmrzających [3].

W celu wykorzystania kruszywa z żużla stalowniczego w technologii mieszanek mineralno-asfaltowych nieodzowne jest dokonanie oceny jego wpływu na odporność betonu asfaltowego w aspekcie oddziaływania czynników środowiska. Z uwagi na dłuższy okres utrzymywania ciepła przez tego rodzaju kruszywo [4] należy w badaniach zwrócić szczególną uwagę na proces starzenia betonu asfaltowego. Proces ten wydłuża się samoczynnie w przypadku zastosowania kruszyw z żużli stalownicznych.

2. Badania betonu asfaltowego

2.1. Składniki betonu asfaltowego

W przyjętym programie badań dotyczącym określenia wpływu kruszywa z żużla stalowniczego w betonie asfaltowym przeznaczonym na warstwę ścieralną zwrócono szczególną uwagę na jego odporność na proces starzenia oraz oddziaływanie wody i mrozu, z uwzględnieniem procedur opracowanych w ramach programu SHRP.

W badaniach zastosowano kruszywo z żużla stalowniczego oraz kruszywo kwarcytowe charakteryzujące się jedną z największych odporności na ścieranie i polerowanie, a także kruszywo bazaltowe – będące kruszywem standardowym w warunkach krajowych.

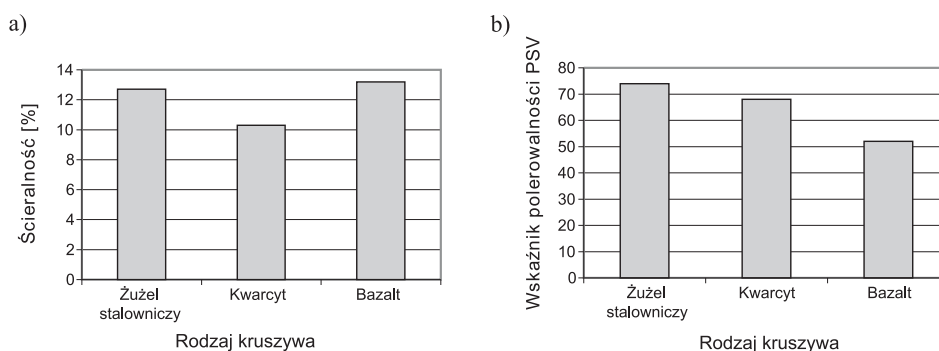
Mieszanki mineralne zaprojektowano, wykorzystując następujące kruszywa:

- żużłowe stalownicze ze Slag Recycling frakcji 4,0-8,0 mm i 8,0-12,0 mm,

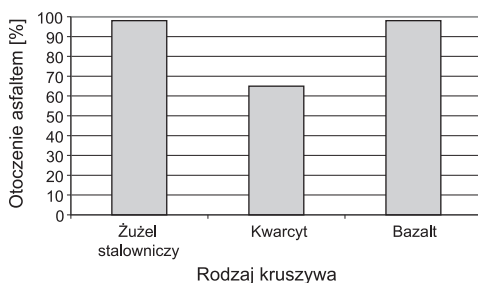
- kwarcytowe z Wiśniówki k/Kielc frakcji 2,0-6,3 mm i 6,3-12,8 mm,
- bazaltowe z Wilkowa frakcji 5,0-8,0 mm i 8,0-11,0 mm.

W celu zapewnienia prawidłowego uziarnienia mieszanki mineralnej betonu asfaltowego z kruszywem żużlowym stalowniczym i bazaltowym zastosowano dodatek kruszywa granitowego frakcji 2,0-5,0 mm z Granicznej. Natomiast w betonie asfaltowym z kruszywem kwarcytowym, w celu poprawy właściwości adhezyjnych, zastosowano kruszywo wapienne frakcji 0-4,0 mm z Trzuskawicy.

Kruszywo z żużła stalowniczego ze Slag Recycling wykazuje korzystne właściwości w aspekcie jego odporności na polerowanie i ścieranie oraz powinowactwo z asfaltem w porównaniu z kruszywem kwarcytowym i bazaltowym. Na rysunku 1. przedstawiono wyniki badań własnych odporności na ścieranie (wg PN-79/B-06714-42) i polerowanie (PN-EN 1097-8:2001), a na rys. 2. powinowactwo z asfaltem badanych kruszyw (PN-84/B-06714-22).



Rys. 1. Właściwości mechaniczne badanych kruszyw: a) odporność na ścieranie, b) odporność na polerowanie



Rys. 2. Powinowactwo badanych kruszyw z asfaltem

Analiza wyników badań przedstawionych na rys. 1. i 2. pokazuje, że kruszywo z żużła stalowniczego pod względem odporności na polerowanie odpowiada właściwościom kruszywa kwarcytowego, a w aspekcie powinowactwa z asfaltem ich odporność na ścieranie jest zbliżona do kruszywa bazaltowego.

Tym samym łączy ono w sobie najbardziej pożądane cechy kruszywa bazaltowego i kwarcytowego pod względem ich przydatności do mieszanki mineralno-asfaltowej.

Należy jednak pamiętać, że kruszywo z żużla stalowniczego jest kruszywem sztucznym. Materiałem wyjściowym do jego produkcji, jak wspomniano wcześniej, jest żużel konwertorowy pozyskiwany z hałdy, która tworzyła się na przestrzeni długiego czasu. W związku z tym jego skład chemiczny może być zróżnicowany, zależnie od rodzaju materiału wsadowego do pieca konwertorowego. Nieodzowne jest więc dokładniejsze monitorowanie jego właściwości w porównaniu z kruszywami pozyskiwanymi z naturalnego materiału mineralnego.

W celu zróżnicowania składu mineralogicznego mieszanki betonu asfaltowego z kruszywem bazaltowym i z żużla stalowniczego zastosowano piasek łamany granitowy z Graniczej. Ponieważ w wykonywanych badaniach beton asfaltowy z kruszywem kwarcytowym z Wiśniówki pełnił rolę kontrolną, również i w jego składzie zastosowano ten sam rodzaj piasku. Przy tym należy zaznaczyć, że jak pokazały wcześniejsze badania [5], w przypadku tego rodzaju kruszywa korzystniejsze jest zastosowanie piasku łamanego wapiennego w betonie asfaltowym. Wykorzystanie we wszystkich mieszankach mineralnych tego samego rodzaju piasku łamanego pozwoliło, w sposób bardziej jednoznaczny, na dokonanie oceny wpływu kruszywa podstawowego na właściwości betonu asfaltowego.

We wszystkich projektowanych mieszankach betonu asfaltowego zastosowano mączkę wapienną z Trzuskawicy, natomiast jako lepiszcze stosowano asfalt 35/50 z Płocka. W celu zapewnienia prawidłowej adhezji asfaltu z kruszywem kwarcytowym zastosowano środek adhezyjny Teramin 14 z Kędzierzyna Koźla, którego wymaganą ilość ustalono zgodnie z normą PN-84/B-06714/22.

2.2. Projekt mieszanek betonu asfaltowego

Do badań wytypowano beton asfaltowy o uziarnieniu 0-12,8 mm, przeznaczony na warstwę ścieralną nawierzchni obciążonej ruchem KR6, zgodnie z PN-S-96025:2000 [6]. Zaprojektowano trzy rodzaje betonu asfaltowego, w których zamiennie kruszywem podstawowym w mieszance mineralnej było kruszywo z żużla stalowniczego (Ż), kwarcytowe (K) i bazaltowe (B). Projektując mieszanki mineralne betonu asfaltowego, kierowano się zasadą, aby w ich składzie oprócz kruszywa podstawowego było również kruszywo doziarniające, różniące się od niego właściwościami fizykomechanicznymi. Tak zaprojektowane mieszanki mineralne pozwalają zapewnić większą trwałość betonu asfaltowego na oddziaływanie destrukcyjnych czynników klimatycznych i eksploatacyjnych [5]. Skład ramowy materiału mineralnego badanych betonów asfaltowych zestawiono w tab. 1.

Tabela 1. Zawartość procentowa materiałów mineralnych w betonie asfaltowym

Składniki BA-Ż	Udział [%]	Składniki BA-K	Udział [%]	Składniki BA-B	Udział [%]
Mączka wapienna z Trzuskawicy	8,0	mączka wapienna z Trzuskawicy	9,0	mączka wapienna z Trzuskawicy	8,0
Piasek łamany granitowy z Granicznej	32,0	piasek łamany granitowy z Granicznej	26,0	piasek łamany granitowy z Granicznej	31,0
Grys granitowy z Granicznej: – frakcja 2,0-5,0 mm	16,0	grys wapienny z Trzuskawicy: – frakcja 0-4,0 mm	18,0	grys granitowy z Granicznej: – frakcja 2,0-5,0 mm	15,0
Grys żuźlowy stalowniczy ze Ślag Recy-ling: – frakcja 4,0-8,0 mm – frakcja 8,0-12,0 mm	17,0 27,0	grys kwarcytowy z Wiśniówki: – frakcja 2,0-6,3 mm – frakcja 6,3-12,8 mm	10,0 37,0	grys bazaltowy z Wilkowa: – frakcja 2,0-8,0 mm – frakcja 8,0-11,0 mm	14,0 32,0
Razem	100,0	Razem	100,0	Razem	100,0

Ilość asfaltu 35/50 z Płocka w badanych betonach asfaltowych określono za pomocą metody Marshalla. Należy podkreślić, że ustalając ilość asfaltu 35/50, uwzględniono fakt, że kruszywo z żuźła stalowniczego powoduje zwiększenie gęstości objętościowej całej mieszanki, a jednocześnie wielkości otoczki asfaltowej w mieszankach kwarcytowych, bazaltowych i żuźlowych są porównywalne. Do otoczenia asfaltem ziaren kruszywa bazaltowego czy kwarcytowego wymagana jest taka sama ilość asfaltu jak do otoczenia ziaren kruszywa z żuźła stalowniczego. Jednak ciężar ziarna kruszywa żuźlowego jest większy niż takich samych ziaren bazaltu czy kwarcytu. W związku z tym należy odpowiednio zmniejszyć ilość asfaltu w mieszankach z kruszywem z żuźła stalowniczego.

Beton asfaltowy z kruszywem bazaltowym (BA-B) zawierał 5,2% asfaltu, a z kruszywem kwarcytowym (BA-K) odpowiednio: 5,3% asfaltu oraz dodatek środka adhezyjnego Teramin w ilości 0,3% w stosunku do asfaltu. Z kolei w betonie asfaltowym z kruszywem z żuźła stalowniczego (BA-Ż) zawartość asfaltu wynosiła 4,8%.

2.3. Metodyka badań i analiza wyników

Opracowany program badawczy, mający na celu ocenę wpływu kruszywa z żuźła stalowniczego na właściwości betonu asfaltowego obejmował określenie:

- standardowych właściwości zgodnie z PN-S-96025:2000 [6],
- modułu statycznego pełzania zgodnie z Zeszytem IBDiM nr 48/95 [7],
- zmiany wybranych właściwości po procesach starzenia krótkoterminowego STOA i długoterminowego LTOA, zgodnie z zaleceniami SUPERPAVE opracowanymi w ramach programu SHRP [2],

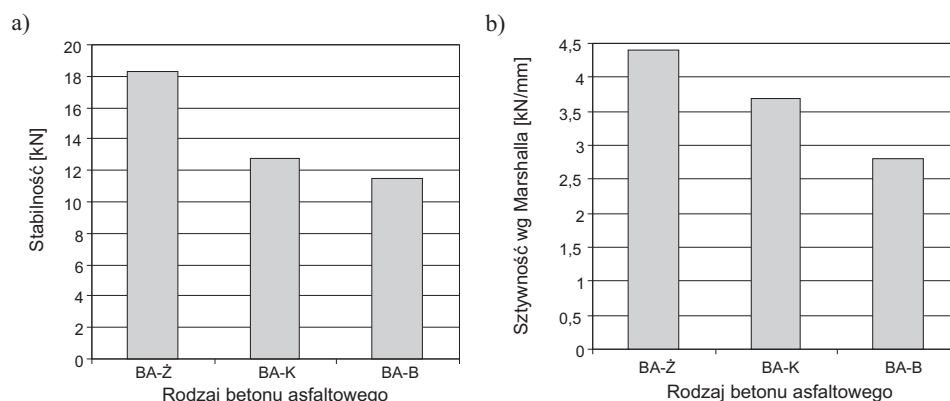
- odporności na działanie wody w wyniku badania wytrzymałości na ściskanie osiowe zgodnie z procedurą amerykańską AASHTO T165 [8],
- odporności na działanie mrozu zgodnie z procedurą fińską PANK4302 i AASHTO T283 przedstawioną w artykule [3].

Istotnym elementem badań była ocena jednorodności wykonywanych prac. Do badań przyjmowano tylko próbki, w których zawartość wolnych przestrzeni zawierała się w przedziale ($V - 2s$; $V + 2s$), gdzie: V – średnia wartość wolnych przestrzeni w betonie asfaltowym, a s – odchylenie standardowe.

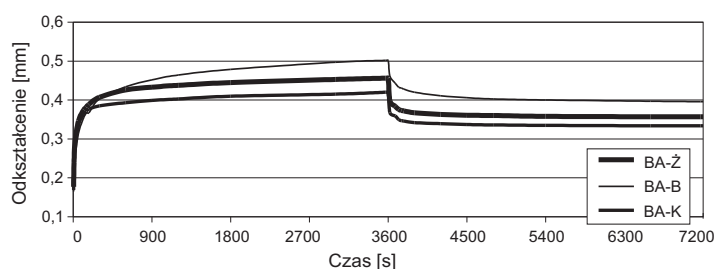
W pierwszym etapie badań określono standardowe właściwości ocenianych betonów asfaltowych, których rezultaty zestawiono w tab. 2. Natomiast na rys. 3. przedstawiono wpływ zastosowanego rodzaju kruszywa na główne charakterystyki mechaniczne betonu asfaltowego – stabilność i sztywność wg Marshalla, a na rys. 4. pokazano charakterystyki pełzania badanych betonów, na podstawie których określono moduły sztywności.

Tabela 2. Właściwości fizykomechaniczne betonu asfaltowego

Parametr	Rodzaj betonu asfaltowego		
	BA-Ż	BA-B	BA-K
Gęstość właściwa MMB [Mg/m ³]	2,722	2,597	2,493
Gęstość strukturalna MMB [Mg/m ³]	2,662	2,545	2,429
Zawartość wolnej przestrzeni [%]	2,20	2,00	2,90
Stopień wypełnienia wolnej przestrzeni lepiszczem [%]	84,5	86,0	80,5
Stabilność wg Marshalla [kN]	18,3	11,5	12,8
Odkształcenie wg Marshalla [mm]	4,2	4,1	3,7
Sztywność wg Marshalla [kN/mm]	4,4	2,8	3,5
Moduł statyczny pełzania [MPa]	21,9	19,9	23,8
Zawartość asfaltu [%]	4,8	5,0	5,0



Rys. 3. Standardowe właściwości mechaniczne betonu asfaltowego w aspekcie rodzaju kruszywa: a) stabilność wg Marshalla, b) wskaźnik sztywności wg Marshalla



Rys. 4. Charakterystyki pełzania betonów asfaltowych pod obciążeniem statycznym

Analiza wyników badań zestawionych w tab. 3. pokazuje, że istotny wpływ na właściwości mechaniczne betonu asfaltowego ma rodzaj zastosowanego kruszywa. Kruszywo z żużla stalowniczego najlepiej wpływa na zapewnienie wysokiej stabilności i wskaźnika sztywności wg Marshalla betonu asfaltowego w porównaniu z pozostałymi kruszywami. Należy zaznaczyć, że stabilność tego betonu asfaltowego jest w granicach 50% większa niż betonu asfaltowego z kruszywem kwarcytowym. Natomiast moduł statyczny betonu asfaltowego z kruszywem z żużla stalowniczego jest porównywalny z wykorzystaniem w jego składzie kruszywa kwarcytowego. Zastosowanie kruszywa z żużla stalowniczego zapewnia tym samym odporność betonu asfaltowego na powstawanie trwałych odkształceń plastycznych większą niż w przypadku wykorzystywania kruszywa kwarcytowego czy też bazaltowego.

Aby ocenić wpływ kruszywa z żużla stalowniczego na proces starzenia betonu asfaltowego, poddano go procesowi starzenia krótkoterminowego (STOA) oraz starzeniu długoterminowemu (LTOA). W czasie badań starzenia oceniano stabilność i moduł pełzania. Wyniki badań wpływu starzenia krótkoterminowego i długoterminowego na zmianę stabilności zaprojektowanych betonów asfaltowych zestawiono w tab. 3., a rezultaty badań wpływu starzenia betonu asfaltowego na zmianę modułu statycznego pełzania przedstawia tab. 4.

Tabela 3. Wpływ procesu starzenia na stabilność betonu asfaltowego

Typ betonu asfaltowego	Stabilność wg Marshalla [kN]			Wskaźnik zmian stabilności po procesie starzenia		
	NS	STOA	LTOA	STOA/NS	LTOA/NS	LTOA/STOA
BA-Ż	17,0	19,5	20,1	1,15	1,18	1,03
BA-B	11,5	14,8	15,7	1,29	1,36	1,06
BA-K	12,8	16,5	18,0	1,29	1,41	1,09

Analizując wyniki uzyskanych badań, należy stwierdzić, że proces starzenia w sposób znaczący wpływa na właściwości betonu asfaltowego. W czasie sta-

zenia krótkotrwałego (STOA/NS) zmiany wartości ocenianych parametrów wahają się w przedziale od 15 do 29%. W wyniku tego procesu następuje wzrost sztywności struktury wewnętrznej betonu asfaltowego. Podczas kolejnego etapu starzenia następuje spowolnienie tempa zmiany wartości badanych właściwości betonu asfaltowego. Najmniejszą zmianę stabilności i modułu stycznego po procesie starzenia długoterminowego (LTOA/NS) uzyskał beton asfaltowy z kruszywem z żużla stalowniczego w porównaniu z zastosowaniem kruszywa kwarcytowego lub bazaltowego. Proces starzenia długoterminowego (LTOA/STOA) przyczynia się do jeszcze większego usztywnienia mieszanek, jednak wpływ tego starzenia na zmiany wartości ocenianych parametrów jest już mniejszy. Przyrost zmian nie przekracza 10%. W przypadku betonu asfaltowego z kruszywem z żużla stalowniczego zanotowano najmniejsze zmiany zarówno stabilności, jak i modułu pełzania po procesie starzenia, co świadczy o dużej odporności BA-Ż na ten proces.

Tabela 4. Wpływ procesu starzenia na moduł statyczny pełzania betonu asfaltowego

Typ betonu asfaltowego	Moduł statyczny pełzania [MPa]			Wskaźnik zmian modułu pełzania po procesie starzenia		
	NS	STOA	LTOA	STOA/NS	LTOA/NS	LTOA/STOA
BA-Ż	21,8	27,5	29,6	1,26	1,36	1,08
BA-B	19,9	25,7	27,9	1,29	1,40	1,09
BA-K	23,8	30,5	32,7	1,28	1,37	1,07

Aby ocenić wpływ procesu starzenia na wodo- i mrozoodporność betonu asfaltowego z kruszywem z żużla stalowniczego, wykonano badania polegające na określeniu wpływu wody na kohezję betonu asfaltowego wg metody AASHTO T165, poprzez badanie wytrzymałości na ściskanie osiowe próbek [8], wytrzymałości na rozciąganie pośrednie próbek sezonowanych i badanych w ujemnej temperaturze zgodnie z PANK 4302 [3] oraz wytrzymałości na rozciąganie pośrednie przed i po przejściu cykli pielęgnacyjnych symulujących warunki atmosferyczne, zgodnie z procedurami amerykańskimi wg zmodyfikowanej metody AASHTO T283 [3].

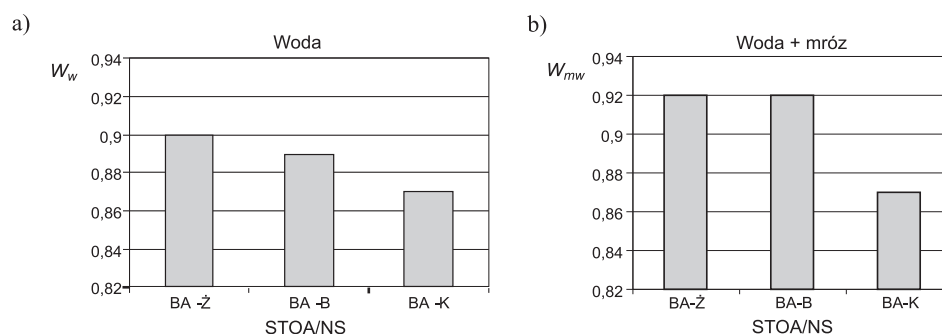
Do określania wymienionych wcześniej parametrów wykorzystano dwie grupy próbek betonów asfaltowych: pierwszej grupy nie poddano starzeniu, drugą grupę stanowiły zaś betony asfaltowe po procesie starzenia krótkoterminowego. Uwzględniono tylko wpływ starzenia STOA, ponieważ jak pokazały badania mechanicznych właściwości betonu asfaltowego, właśnie to starzenie powoduje znaczną zmianę badanych parametrów.

Wyniki badań odporności betonu asfaltowego na oddziaływanie wody i mrozu zestawiono w tab. 5., natomiast zmianę wskaźnika wytrzymałości na

rozciąganie pośrednie po oddziaływaniu wody i mrozu zgodnie z AASHTO T283 betonu asfaltowego poddanego starzeniu STOA przedstawiono na rys. 5.

Tabela 5. Wyniki badań wodo- i mrozoodporności betonu asfaltowego przed i po procesie starzenia

Parametr	Starzenie	Rodzaj betonu asfaltowego		
		BA-Ż	BA-B	BA-K
Wskaźnik wytrzymałości na ściskanie wg AASHTO T165 [%]	NS	94,1	88,7	89,2
	STOA	88,8	83,4	81,2
	STOA/NS	0,94	0,96	0,91
Wytrzymałość na rozciąganie metodą pośrednią w temperaturze -2°C wg PANK 4302 [MPa]	NS	3,7	3,7	3,9
	STOA	4,3	4,3	4,8
	STOA/NS	1,16	1,16	1,23
Wskaźnik wytrzymałości wg AASHTO T283 po pielęgnacji w wodzie – W_w [%]	NS	93,1	91,9	86,3
	STOA	84,0	82,1	75,5
	STOA/NS	0,90	0,89	0,87
Wskaźnik wytrzymałości wg AASHTO T283 po pielęgnacji w wodzie i na mrozie – W_{mw} [%]	NS	89,2	88,6	76,3
	STOA	82,4	81,7	66,6
	STOA/NS	0,92	0,92	0,87



Rys. 5. Wskaźnik wytrzymałości na rozciąganie pośrednie betonu asfaltowego wg AASHTO T283: a) po pielęgnacji w wodzie, b) po pielęgnacji w wodzie i na mrozie

Dokonując analizy wyników badań zestawionych w tab. 5., można stwierdzić istotny wpływ starzenia na zmianę odporności betonu asfaltowego na działanie wody, wody i mrozu, jak również na spękania niskotemperaturowe. W przypadku wszystkich betonów asfaltowych zanotowano wzrost wytrzymałości na rozciąganie pośrednie po procesie starzenia krótkotrwałego. Stwierdzono również obniżenie wartości wskaźnika wytrzymałości na ściskanie osiowe w przypadkach wszystkich badanych betonów asfaltowych, niezależnie od rodzaju zastosowanego kruszywa.

Analizując wyniki badań betonu asfaltowego z kruszywem z żużla stalowniczego, należy zauważyć, że pomimo spadku wskaźników wytrzymałości na ściskanie osiowe, jak i rozciąganie pośrednie wartości tych wskaźników są większe od minimalnej dopuszczalnej wartości wynoszącej 70%.

Biorąc pod uwagę oceniane właściwości, stwierdza się, że proces starzenia najbardziej negatywnie wpływa na beton asfaltowy z kruszywem kwarcytowym. Po procesie starzenia wskaźnik wytrzymałości na rozciąganie pośrednie zamrażanych i odmrażanych próbek wg AASHTO T283 osiągnął wartość najmniejszą dla tej mieszanki, natomiast wytrzymałość na pośrednie rozciąganie (wg PANK 4302) w temperaturze -2°C była równa dopuszczalnej wartości granicznej 4,8 MPa. Beton asfaltowy z kruszywem kwarcytowym w wyniku procesu starzenia cechuje się małą odpornością na działanie niskich temperatur, nawierzchnia wykonana z takiego materiału może wykazywać w okresie zimy spękania niskotemperaturowe. Beton asfaltowy z kruszywem z żużla stalowniczego uzyskał podobne parametry wytrzymałościowe jak beton asfaltowy z bazaltem. Pomimo procesu starzenia tylko w nieznacznym stopniu utracił on właściwości pierwotne, tak jak i beton asfaltowy z kruszywem bazaltowym.

3. Wnioski

Dokonując analizy wyników wykonanych badań kruszywa z żużla stalowniczego, a także wykonanego z jego udziałem betonu asfaltowego, można sformułować następujące wnioski:

- kruszywo z żużla stalowniczego łączy w sobie pozytywne cechy zarówno kruszywa kwarcytowego, jak i bazaltowego, pod względem odporności na polerowanie odpowiada właściwościom kruszywa kwarcytowego, natomiast pod względem powinowactwa z asfaltem i odporności na ścieranie posiada takie właściwości jak kruszywo bazaltowe,
- zastosowanie kruszywa z żużla stalowniczego do betonu asfaltowego sprawia, że uzyskuje on bardzo dobre właściwości fizykomechaniczne, a zwłaszcza stabilność Marshalla oraz wskaźnik sztywności Marshalla, które są wyższe niż przy zastosowaniu kruszywa kwarcytowego w betonie asfaltowym,
- w wyniku procesu starzenia betonu asfaltowego następuje usztywnienie jego struktury wewnętrznej, zastosowanie kruszywa z żużla stalowniczego w betonie asfaltowym pozwala utrzymać dużą odporność na proces starzenia (beton asfaltowy z tym kruszywem charakteryzuje się najmniejszymi zmianami cech mechanicznych w porównaniu z pozostałymi),
- proces starzenia w istotny sposób wpływa na zmianę odporności betonu asfaltowego na oddziaływanie wody i niskich temperatur, powodując jej

obniżenie – pomimo tego beton asfaltowy z kruszywem z żużla stalowniczego nadal wykazuje odporność na działanie wody oraz wody i mrozu,

- dłuższe utrzymywanie ciepła przez kruszywo z żużla stalowniczego nie powoduje obniżenia odporności na proces starzenia betonu asfaltowego.

Uzyskane pozytywne wyniki badań laboratoryjnych zastosowania kruszywa z żużla stalowniczego do betonu asfaltowego pozwalają rozszerzyć program prac badawczych, których nieodzownym elementem jest wykonanie odcinków doświadczalnych. Zgromadzenie uzupełniającej bazy danych podczas ich eksploatacji zgodnie z Systemem Stanu Oceny Nawierzchni pozwoli na jednoznaczną ocenę przydatności kruszywa z żużla stalowniczego do produkcji betonu asfaltowego.

Literatura

1. Sybilski D., Pałys M., Mularzuk R.: *Zastosowanie grysów z żużla stalowniczego w celu poprawy szorstkości nawierzchni drogowej*. VIII Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe”, Kielce 2002, s. 149-157
2. Bell A.C., Wahaby A.B., Cristime M.E., Sosnowske D.: *Slection of Laboratory Aging Procedures for Asphalt-Aggregate Mixtures*. Strategic Higway Research Program, Raport nr SHRP-A-383, National Research Council, Washington D.C.
3. Iwański M.: *Kruszywo kwarcytowe do mieszanek mineralno-asfaltowych*. Materiały Budowlane, 11, 2000, s. 55-59
4. Matusiak A.: *Odporność mieszanki mineralno-asfaltowej z kruszywem z żużla stalowniczego na oddziaływanie czynników środowiska*. Rozprawa doktorska, Politechnika Świętokrzyska, Kielce 2006, s. 187
5. Iwański M.: *Właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej a rodzaj kruszywa*. Drogownictwo, 6, 2004, s. 185-195
6. PN-S-96025:2000. *Nawierzchnie asfaltowe. Wymagania*
7. Zawadzki J., Kłos M.: *Zasady projektowania betonu asfaltowego o zwiększonej odporności na odkształcenia trwałe*. Wytyczne oznaczenia odkształcenia i modułu sztywności mieszanek mineralno-bitumicznych metodą pełzania. Zeszyt IBDM nr 48, Warszawa 1995
8. Judycki J., Jaskuła P.: *Badania odporności betonu asfaltowego na działanie wody i mrozu*. Drogownictwo, 12, 1997, s. 374-378

AGEING PROCESS RESISTANCE OF ASPHALT CONCRETE WITH STEEL SLAG AGGREGATE

S u m m a r y

Ageing process has an influence to changes of physical and mechanical properties in asphaltic concrete. The external factors (high temperature in production time, climatic factors in exploitation) and also kind of mineral used, for example: kind of aggregate has an influence to

changes size. Steel slag aggregate is used to asphaltic concrete designed for friction course in limited extent. Consequently it's necessary to entirely study the destructive effect environmental factors. The change of physical and mechanical characteristics of asphaltic concrete before and after ageing process was tested. The influence of short-term ageing STOA and long-term ageing to the high temperature resistance, to water and frost resistance of asphaltic concrete with steel slag aggregate were tested. On the basis the research made was performed the complex opinion asphaltic concrete with steel slag aggregate.

Złożono w Oficynie Wydawniczej w czerwcu 2008 r.