



POLITECHNIKA GDAŃSKA
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Katedra Inżynierii Drogowej

ul. G. Narutowicza 11
80-233 GDAŃSK

Tel: (0-58) 347 13 47
Fax: (0-58) 347 10 97

WERYFIKACJA I AKTUALIZACJA
„KATALOGU TYPOWYCH KONSTRUKCJI
NAWIERZCHNI PODATNYCH I PÓŁSZTYWNYCH”
Z 1997 ROKU

RAPORT Z PIERWSZEGO ETAPU

Opracowano na zlecenie:

Generalna Dyrekcja Dróg
Krajowych i Autostrad
ul. Żelazna 59
00-848 WARSZAWA

Opracowali:

Prof. dr hab. inż. Józef Judycki – autor kierujący

Dr inż. Piotr Jaskuła

Mgr inż. Łukasz Wojna

Kierownik Katedry Inżynierii Drogowej - prof. dr hab. inż. Józef Judycki

Gdańsk, grudzień 2009

SPIS TREŚCI

1. Wstęp	3
1.1. Podstawa opracowania	3
1.2. Cel pracy	3
1.3. Zakres pracy	5
1.4. Opis problemu	6
2. Normy i wytyczne dotyczące nawierzchni asfaltowych w Polsce	8
2.1. Norma PN-74-S96022 Nawierzchnie samochodowe i lotniskowe. Nawierzchnie z betonu asfaltowego	8
2.1.1. Rodzaje asfaltów	9
2.1.2. Objętość wolnych przestrzeni	9
2.1.3. Zawartość lepiszcza	9
2.2. Zeszyty nr 48,49,50 Informacje, instrukcje, IBDiM, 1995	10
2.2.1. Rodzaje asfaltów	10
2.2.2. Objętość wolnych przestrzeni	11
2.2.3. Zawartość lepiszcza	11
2.3. PN-S-96025:2000 Drogi samochodowe i lotniskowe, Nawierzchnie asfaltowe. Wymagania	12
2.3.1. Rodzaje asfaltów.	12
2.3.2. Objętość wolnych przestrzeni	13
2.3.3. Zawartość lepiszcza	14
2.4. Wymagania Techniczne. Nawierzchnie Asfaltowe Drogowe i Lotniskowe(projekt polskich wytycznych na podstawie norm PN-EN 13108-x)	15
2.4.1 Rodzaje asfaltów	16
2.4.2 Objętość wolnych przestrzeni	19
2.4.3. Zawartość lepiszcza	20
2.5 Porównanie parametrów mieszanki mineralno-asfaltowej z betonu asfaltowego dla podbudowy o uziarnieniu 0/25	22
3. Polski katalog nawierzchni	26
3.1 Historia polskich katalogów konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych	26
3.2. Założenia polskiego „Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych.” z 1997 r.	28
3.2.1. Normy i wytyczne przyjęte do obliczeń w polskim „Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych”	28
3.2.2. Klasyfikacja ruchu oraz przeliczanie osi rzeczywistych na porównawcze	29
4. Materiały i mieszanki, których technologia rozwinęła się w ciągu ostatnich 10 lat.	34
3.1 Nowe warstwy ścieralne	34
3.1.1 Mastyks grysowy SMA	34
3.1.2 Nawierzchnie drenażowe	39
3.2 Beton asfaltowy o wysokim module sztywności	43
3.3 Asfalty modyfikowane	46
Bibliografia	52

1. Wstęp

1.1. Podstawa opracowania

Opracowanie wykonano na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w Warszawie (GDDKiA w Warszawie) w ramach umowy nr, wg harmonogramu dla etapu I.

1.2. Cel pracy

Obowiązujący w Polsce „Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych” został zatwierdzony przez Dyrektora GDDP w dniu 24 kwietnia 1997 r. Opracowywany był przez około 2 lata, od 1995 r. . Obecnie, po ponad 12 latach stosowania wymaga on zmiany. Aby wprowadzić zmiany do Katalogu należy wykonać studia i analizy szeregu zagadnień, które poniżej opisano.

Celem pracy jest:

- o Wyeliminowanie niedostatków obecnego Katalogu.
- o Dostosowanie Katalogu do obecnych technologii i materiałów.
 - o Asfalty drogowe zwykłe wg nowych norm (inne penetracje, lepkości, sztywności)
 - o Asfalty modyfikowane wg nowych norm (jak wyżej)
 - o Mieszanki mineralno-asfaltowe wg nowych norm, po za tym nieuwzględnione w Katalogu - SMA, betony asfaltowe o wysokim module sztywności, asfalty porowate
 - o Wprowadzenie metod zapobiegania powstawaniu spękań odbitych w nawierzchniach półsztywnych (warstwy przeciwspekaniowe, nacinanie warstwy podbudowy, i td) – zapewni to większe użycie podbudów stabilizowanych cementem i zmniejszy zużycie kruszyw łamanych)
 - o Warstwy mrozochronne wg współczesnych zasad

- o Dostosowanie Katalogu do zwiększonego obciążenia dróg przez ruch drogowy.
 - o Wprowadzenie kategorii ruchu „S” powyżej obecnego ruchu KR6 (KR6 zaczyna się od 14,6 mln osi 100 kN na dobę na pas – ruch będzie zdecydowanie większy)
 - o Uściślenie współczynników przeliczeniowych pojazdów na osie standardowe
- o Wprowadzenie zmian do obecnych sposobów wzmacniania podłoża drogowych.
 - o Obecny Katalog w pkt. 5.2 ust. b str. 22c podaje sposoby wzmacniania podłoża identyczne, bez zmiany jak stary Katalog z 1977 roku, czyli sprzed 30 laty, podane w pkt. 6.1 str. 21 starego Katalogu. Technologie są w istotnej części przestarzałe. Jest to słaby punkt tego Katalogu.
 - o Obecny Katalog nie precyzuje jasno i dokładnie zasad stosowania warstw mrozoochronnych i warstw odsączających. Zostaną przeanalizowane i uściśnione wymagania dla tych warstw oraz podane zasady ich stosowania.
 - o W obecnym Katalogu podłoże gruntowe musi być wzmocnione do $E=100$ MPa dla KR1 i KR2 oraz $E=120$ MPa dla KR3-KR6. Zawyża to koszty budowy dróg zwłaszcza niższych klas, gdzie grubości warstw wzmocnienia podłoża wypadają relatywnie duże w porównaniu z małym ruchem. Przeanalizowane zostaną wzmocnienia do niższego modułu (np. $E = 70$ MPa) dla dróg niższych kategorii ruchu. Zostanie jednak zachowana zasada wymaganej nośności konstrukcji przez wzrost grubości warstw wyższych. Spodziewane istotne oszczędności kosztów.

- o Uściślenie obliczeń i wymiarowania konstrukcji podanych w starym Katalogu
 - o Określanie temperatury ekwiwalentnej dla pór roku i dla całego roku.
 - o Przyjęcie modułów kruszyw łamanych z uwzględnieniem ich nieliniowej sprężystości nieliniowej sprężystości.
 - o Wykonanie obliczeń dla realnych modułów wzmocnionego podłoża.
 - o Wykonanie obliczeń dla cech materiałowych wg współczesnych przepisów innych niż 12 lat temu i nowych badań.
 - o Uwzględnienie szczepności międzywarstwowej, dla nawierzchni wielowarstwowych związanych cementem.
 - o Uwzględnienie nowych osiągnięć w analizie konstrukcji i w badaniach materiałów.

1.3. Zakres pracy

Praca została podzielona na cztery etapy, a w zakres każdego etapu wchodzi:

Etap I

1. Prace wstępne. Przegląd zmian norm i wytycznych dotyczących nawierzchni asfaltowych pod kątem wpływu na katalogowe konstrukcje nawierzchni

Etap II

2. Dostosowanie Katalogu do zastosowania nowych technologii i materiałów. Określenie parametrów projektowych dotyczących nowych technologii i materiałów.
3. Wprowadzenie zmian do obecnych sposobów wzmocnienia podłoża drogowych (tzw. „doprowadzania do G1)
4. Dostosowanie Katalogu do zwiększonego obciążenia dróg przez ruch, cz.1

Etap III

5. Dostosowanie Katalogu do zwiększonego obciążenia dróg przez ruch, cz.2
6. Studia nad nowymi metodami określania trwałości zmęczeniowej. Określenie kryteriów zmęczeniowych do obliczeń
7. Wprowadzenie metod zapobiegania powstawaniu spękań odbitych w nawierzchniach półsztywnych (warstwy przeciwspekaniowe, nacinanie warstwy podbudowy, itd)
8. Obliczenia i wymiarowania konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych, cz.1

Etap IV

9. Obliczenia i wymiarowania konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych, cz.2
10. Redakcja roboczej wersji katalogu
11. Opiniowanie roboczej wersji katalogu i opracowanie ostatecznej wersji

1.4. Opis problemu

„Typizacja konstrukcji nawierzchni drogowych polega na ujednoliceniu typów oraz wymiarów warstw. Celem typizacji jest:

- Ujednolicenie konstrukcji nawierzchni przeznaczonych do określonych natężeń ruchu drogowego i jakości podłoża,
- Uniknięcie dowolnej i nieekonomicznej budowy warstw,
- Ułatwienie projektantom, inwestorom i wykonawcom projektowania oraz wstępnego planowania zapotrzebowania na materiały i sprzęt,
- Pomoc w wyborze konstrukcji nawierzchni pod względem możliwości wykorzystania materiałów miejscowych
- Zwiększenie i ułatwienie pełnej mechanizacji robót przez ujednolicenie sprzętu w związku ze zmniejszeniem liczby typów budowanych konstrukcji” [1].

Obecny „Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych” z 1997 roku służy już od ponad 12 lat. Wydawać by się

mogło, że jedna dekada to nie zbyt długi okres czasu, szczególnie patrząc na karierę poprzedniego katalogu nawierzchni, który przetrwał przez niemal 20 lat. Czas ten był jednak bardzo burzliwy w branży budownictwa drogowego. Wraz z wejściem Polski w struktury Unii Europejskiej rozpoczął się gwałtowny rozwój sieci drogowej naszego kraju i nowych technologii, które wcześniej stosowane były w krajach zachodnich. Równocześnie wchodzi w życie przepisy oparte na normach Europejskich, które zmieniają wymagania w stosunku do wcześniejszych rodzimych dokumentów.

Potrzeba rewizji obecnego katalogu nawierzchni nie jest podyktowana jego wadami, a raczej potrzebą dostosowania go do nowych realiów w drogownictwie.

Niniejsze opracowanie na tym etapie przedstawia problematykę zagadnienia w stosunku do nawierzchni podatnych. W pracy zawarto zarówno opis nowych dostępnych materiałów i mieszanek, jak i zestawienie obowiązujących norm i wymagań na przestrzeni ostatniego 30-lecia.

Zagadnienia przedstawione w niniejszym opracowaniu oraz proponowane rozwiązania, mają na celu zwrócenie uwagi na problematykę z jaką będą musieli się spotkać autorzy nowelizujący i dostosowujący katalog nawierzchni do nowych realiów.

2. Normy i wytyczne dotyczące nawierzchni asfaltowych w Polsce

Na przestrzeni ostatnich lat normy i wytyczne obowiązujące w Polsce zmieniały się kilkakrotnie. Poniższy rozdział ma na celu przybliżenie w jaki sposób przebiegały te zmiany oraz przedstawienie aktualnie obowiązujących wytycznych. Porównane zostaną normy:

- PN-74-S96022 Nawierzchnie samochodowe i lotniskowe – Nawierzchnie z betonu asfaltowego
- Zeszyty nr 48,49,50 Informacje, instrukcje, IBDiM, 1995 r.
- PN-S-96025:2000 „Nawierzchnie samochodowe i lotniskowe – Nawierzchnie asfaltowe. Wymagania”
- Wymagania Techniczne. Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych, WT-2 Nawierzchni asfaltowe 2008

Analizując powyższe dokumenty skupiono się przede wszystkim na porównaniu rodzajów użytych asfaltów, zawartości lepiszcza oraz objętości wolnych przestrzeni w gotowej mieszance mineralno-asfaltowej.

2.1. Norma PN-74-S96022 Nawierzchnie samochodowe i lotniskowe. Nawierzchnie z betonu asfaltowego

Norma została wprowadzona w 1974r. i zastępowała PN-70/S-96022. W stosunku do dokumentu z 1970 roku zmienił się jej układ, wprowadzono poprawki redakcyjne i zwiększono liczbę określeń. Biorąc pod uwagę stronę techniczną na uwagę zasługuje aktualizacja wykresów uziarnienia mieszanek mineralnych oraz rzędnych granicznych krzywych uziarnienia. Dodatkowo wyeliminowano z użycia asfalt D200.

2.1.1. Rodzaje asfaltów

Norma PN-74-S96022 dopuszczała do stosowania 3 rodzaje asfaltów: D50, D70, D100 zgodne z wymaganiami PN-65/C-96170. W poniższej tabeli przedstawiono niektóre z wymagań wobec nich stawiane.

Tabela 1. Wymagania stawiane asfaltom wg PN-65/C-96170
Źródło: Na podstawie PN-65/C-96170 Przetwory naftowe. Asfalty Drogowe

Wymagania	Rodzaj asfaltu		
	D100	D70	D50
Penetracja w temperaturze 25°C	90÷110	65÷85	45÷60
Temperatura łamliwości, °C, nie wyższa niż	-7	-7	-6
Temperatura mięknięcia, °C	38÷52	40÷55	42÷57
Spadek penetracji po odparowaniu w 165 °C (5 godz.), %, nie więcej niż	40	40	40

2.1.2. Objętość wolnych przestrzeni

Nowością wprowadzoną w normie PN-74-S96022 było wyróżnienie dwóch struktur betonu asfaltowego ze względu na objętość wolnych przestrzeni.

- Beton asfaltowy o strukturze zamkniętej (ścisty) o objętości wolnych przestrzeni w granicach **1,5÷4,5%**
- Beton asfaltowy o strukturze częściowo zamkniętej (półścisty) o objętości wolnych przestrzeni w granicach **4,5÷8%**

Jednocześnie norma nie określała jednoznacznie jakiego rodzaju mieszankę należy stosować do poszczególnych warstw nawierzchni.

2.1.3. Zawartość lepiszcza

Norma PN-74-S96022 nakazuje obliczenie zawartości asfaltu wg BN-73/6771-03, określając granice w jakich powinny zawierać się przyjęte wartości dla poszczególnych MMA i MM. Dodatkowo określa maksymalną

różnicę w zawartości asfaltu pomiędzy zaprojektowaną mieszanką, a uzyskaną z ekstrakcji. W poniższej tabeli przedstawiono wyżej opisywane wartości:

Tabela 2. Zawartość asfaltu w MMA w zależności od struktury i uziarnienia mieszanki.

Źródło: Na podstawie PN-74/S-96022 Nawierzchnie samochodowe i lotniskowe. Nawierzchnie z betonu asfaltowego

Asfalty	Beton asfaltowy						
	drobnoziarnisty		średnioziarnisty		gruboziarnisty		
	o strukturze						
	zamkniętej		częściowo zamkniętej	zamkniętej	częściowo zamkniętej	zamkniętej	częściowo zamkniętej
	z małą zawartością frakcji grysowej	Z dużą zawartością frakcji grysowej					
D50	7,3÷8,7	7,0÷8,5	6,0÷7,5	6,5÷8,0	6,0÷7,0	6,5÷8,0	5,5÷7,0
D70	7,0÷8,5	6,5÷8,0	5,5÷7,0	6,0÷7,5	5,0÷6,5	6,0÷7,5	5,0÷6,5
D100	-	6,0÷7,5	5,0÷6,5	5,5÷7,0	4,2÷6,7	5,5÷7,0	4,2÷5,7
Dopuszczalna różnica między zaprojektowaną zawartością asfaltu, a uzyskaną z ekstrakcji nie powinna być większa niż ±0,5%							

2.2. Zeszyty nr 48,49,50 Informacje, instrukcje, IBDiM, 1995

Kolejnymi wytycznymi, które dotyczyły nawierzchni asfaltowych były wydane w 1995 r. zeszyty IBDiM. Jako pierwsze zawierały podział wymagań wobec MMA do poszczególnych warstw konstrukcyjnych. Zrezygnowano również z użycia asfaltu D100.

2.2.1. Rodzaje asfaltów

Wytyczne IBDiM dopuszczają używanie asfaltów D50 i D70 w zależności od warstwy konstrukcji. Wymagania co do asfaltów były zgodne z normą PN-65/C-96170

Tabela 3. Rodzaje asfaltów do poszczególnych warstw konstrukcji wg IBDiM
Źródło: Na podstawie Zeszyty nr 48,49,50 Informacje, instrukcje, IBDiM, 1995

Rodzaj asfaltu	Warstwa konstrukcji		
	warstwa ścieralna	warstwa wiążąca	warstwa podbudowy
D50	+	+	—
D70	+ (z ograniczeniami)	+ (z ograniczeniami)	+

2.2.2. Objętość wolnych przestrzeni

Instrukcje IBDiM precyzują objętość wolnych przestrzeni dla poszczególnych mieszanek w zależności od ich przeznaczenia. W stosunku do poprzedniej normy został zawężony zakres objętości wolnych przestrzeni dla warstwy ścieralnej (zamkniętej wg PN-74/S-96022). Zwiększono także dopuszczalną objętość wolnych przestrzeni dla warstwy podbudowy z 8% do 10%.

Tabela 4. Zawartość wolnych przestrzeni w MMA wg IBDiM
Źródło: Na podstawie Zeszyty nr 48,49,50 Informacje, instrukcje, IBDiM, 1995

Beton asfaltowy		
warstwa ścieralna	warstwa wiążąca	warstwa podbudowy
2,0÷4,0	4,5÷8,0	5,0÷10,0

2.2.3. Zawartość lepiszcza

W wytycznych IBDiM zawartość lepiszcza ograniczono w znaczący sposób w stosunku do normy PN-74/S-96022. Ilość asfaltu w mieszance dla podbudowy spadła o ok. 50%. Mieszanki stały się dużo sztywniejsze, a dodatkowo wzrosła dopuszczalna objętość wolnych przestrzeni, co spowodowało przyspieszone spękania wielu nawierzchni, a więc obniżyło także trwałość zmęczeniową konstrukcji.

Tabela 5. Zawartość lepiszcza w MMA wg IBDiM
Źródło: Na podstawie Zeszyty nr 48,49,50 Informacje, instrukcje, IBDiM, 1995

Beton asfaltowy						
w-wa ścieralna			w-wa wiążąca		w-wa podbudowy	
Mieszanka o uziarnieniu ciągłym 0-20 mm	Mieszanka o uziarnieniu ciągłym 0-12,8 mm	Mieszanka o uziarnieniu nieciągłym 0-20 mm	Mieszanka o uziarnieniu 0-25 mm	Mieszanka o uziarnieniu 0-20 mm	Mieszanka o uziarnieniu 0-31,5 mm	Mieszanka o uziarnieniu 0-25 mm
4,5÷5,6	4,8÷5,8	4,3÷5,4	4,0÷5,5		2,8÷4,5	3,0÷4,7

2.3. PN-S-96025:2000 Drogi samochodowe i lotniskowe, Nawierzchnie asfaltowe. Wymagania

Wraz z nastaniem kolejnego stulecia pojawiła się w Polsce nowa norma zastępująca obowiązujący do tego czasu normatyw z 1974 r. Zrezygnowano z opisu metod projektowania składu mieszanek mineralno-asfaltowych oraz z oznaczania nasiąkliwości próbek z mieszanek mineralno-asfaltowych i z nawierzchni drogowych. Dodatkowo rozszerzono zakres technologiczny o piasek otoczony asfaltem i mastyks grysowy SMA oraz wprowadzono wymagania uwzględniające obciążenie nawierzchni ruchem drogowym oraz rozróżnienie mieszanek mineralno-asfaltowych wytworzonych i wbudowanych.

2.3.1. Rodzaje asfaltów.

W normie z 2000 roku wyszczególniono rodzaje asfaltów dla poszczególnych mieszanek mineralno-asfaltowych oraz obciążeń. Uwzględniono stosowanie asfaltów modyfikowanych do warstw ścieralnych i wiążących. Wymagania jakim podlegały asfalty zwykłe nadal nawiązywały do normy PN-65/C-96170. Pomimo, że norma wprowadza również wymagania dla asfaltu lanego i

piasku otoczonego asfaltem w swojej pracy skupiłem się na porównywaniu mieszanek z betonu asfaltowego i mastyksu grysowego SMA.

Tabela 6. Rodzaje asfaltu wg PN-S-96025:2000

Źródło: Na podstawie PN-S-96025:2000 Drogi samochodowe i lotniskowe, Nawierzchnie asfaltowe. Wymagania

Kategoria ruchu	Beton asfaltowy		Beton asfaltowy/SMA
	Warstwa podbudowy	Warstwa wiążąca	Warstwa ścieralna
KR1-2	D50, D70	D50, D70	D50, D70, D100, DE80 (A,B,C), DP80
KR3-6	D50, D70	D50, DE30 (A,B,C), DE80 (A,B,C) DP30, DP80	D50, D70, DE80 (A,B,C), DP80

2.3.2. Objętość wolnych przestrzeni

Zmiany jakie zaszły w normie z 2000 r. nie ominęły również objętości wolnych przestrzeni. Podział dotyczył już nie tylko warstwy konstrukcji, do której była przeznaczona mieszanka mineralno-asfaltowa, ale także obciążenie ruchem i określał ilość wolnych przestrzeni w czasie badań i we wbudowanej warstwie. Objętość wolnych przestrzeni zmalała w stosunku do wytycznych IBDiM z 1995r.

Tabela 7. Objętość wolnych przestrzeni wg PN-S-96025:2000

Źródło: Na podstawie PN-S-96025:2000 Drogi samochodowe i lotniskowe, Nawierzchnie asfaltowe. Wymagania

	W-wa podbudowy	W-wa wiążąca	W-wa Ścieralna BA		W-wa Ścieralna SMA	
	KR1-6	KR1-6	KR1-2	KR3-6	KR1-2	KR3-6
Wolna przestrzeń w próbkach	4,0÷8,0	4,0÷8,0	1,5÷4,5	2,0÷4,0	2,0÷4,0	3,0÷4,0
Wolna przestrzeń w warstwie	4,5÷9,0	4,5÷9,0	1,5÷5,0	3,0÷5,0	2,0÷6,0	3,0÷6,0

2.3.3. Zawartość lepiszcza

Zawartość lepiszcza także została dodatkowo uzależniona od kategorii ruchu. Norma PN-S-96025:2000 określa jedynie orientacyjne zawartości asfaltu dla poszczególnych rodzajów mieszanek mineralno-asfaltowych i ich uziarnienia. Zawartość asfaltu pozostała zbliżona do zawartej w wytycznych IBDiM.

Tabela 8. Orientacyjna zawartość asfaltu w MMA wg PN-S-96025:2000
Źródło: Na podstawie PN-S-96025:2000 Drogi samochodowe i lotniskowe, Nawierzchnie asfaltowe. Wymagania

Beton asfaltowy - warstwa podbudowy						
KR1 – KR2					od KR3 do KR6	
0/31,5	0/25,0	0/20,0	0/16,0	0/12,8	0/31,5	0/25,0
3,5÷4,5	3,8÷4,8	4,0÷5,2	4,0÷5,5	4,0÷5,8	2,8÷4,5	3,0÷4,7
Beton asfaltowy – warstwa wiążąca						
KR1 – KR2				od KR3 do KR6		
0/20,0	0/16,0	0/12,8	0/25,0	0/20,0	0/16,0	0/12,8
4,3÷5,8	4,3÷5,8	4,5÷6,0	4,0÷5,5	4,0÷5,5	4,3÷5,8	4,3÷5,8
Beton asfaltowy – warstwa ścieralna						
KR1 – KR2			od KR3 do KR6			
0/20,0	0/16,0; 0/12,8	0/8,0; 0/6,3	0/20,0	0/20,0 ¹⁾	0/16,0	0/12,8
5,0÷6,5	5,0÷6,5	5,5÷6,5	4,5÷5,6	4,3÷5,4	4,8÷6,0	4,8÷6,5
Mieszanki SMA – warstwa ścieralna						
KR1 – KR2				od KR3 do KR6		
0/9,6	0/8,0	0/6,3	0/4,0	0/12,8	0/9,6	0/8,0
6,0÷7,0	6,0÷7,0	6,5÷7,5	7,0÷8,0	5,5÷6,8	6,0÷7,0	6,0÷7,0

¹⁾ Mieszanka o uziarnieniu nieciągłym; nietypowe uziarnienie MM betonu asfaltowego.

2.4. Wymagania Techniczne. Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych, WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2008 na podstawie norm PN-EN 13108-x

Wymagania Techniczne Nawierzchnie Asfaltowe Na Drogach Publicznych (WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008) zawiera przepisy techniczne dotyczące produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych oraz wykonywania asfaltowych nawierzchni drogowych.

Ustanowione w 2006 r. europejskie normy zharmonizowane serii EN-13108-x zostały zatwierdzone w Polsce jako Polskie Normy PN-EN 13108-x. Z dniem 3 czerwca 2008 roku stały się obowiązujące w Polsce i zastąpiły dotychczasową normę: „PN-S-96025:2000 Drogi samochodowe i lotniskowe, Nawierzchnie asfaltowe. Wymagania”.

Normy PN-EN 13108-x powiązane są z obszernym pakietem innych norm zharmonizowanych PN-EN dotyczących asfaltowych lepiszczy drogowych, emulsji asfaltowych, kruszyw do mieszanek mineralno-asfaltowych i in., obejmujących zarówno wymagania materiałowe, jak i metody badań.

Harmonizacja norm europejskich obejmuje wyroby – nie obejmuje technologii stosowania wyrobów. W wypadku budowy nawierzchni drogowej normy PN-EN 13108-x dotyczą mieszanek mineralno-asfaltowych, lecz nie dotyczą projektowania i budowy konstrukcji nawierzchni drogowej. Zmiany wprowadzane przez przyjęcie do stosowania norm PN-EN 13108-x oraz metod badań materiałów, jak również postęp techniczny w ostatnich latach, wymagają kompleksowej zmiany przepisów technicznych związanych z projektowaniem i produkcją mieszanek mineralno-asfaltowych, jak również z projektowaniem i budową konstrukcji nawierzchni drogowych.

Omawiane WT-2 (podobnie jak obowiązująca dotychczas norma PN-S-96025:2000) obejmują wymagania wobec mieszanek mineralno-asfaltowych do budowy nawierzchni drogowych, jak również ich produkcji i wykonywania robót nawierzchniowych. Podane są także zasady dokonywania kontroli produkcji i wykonania robót oraz odbioru wykonanych nawierzchni.

Dokument ten ma za zadanie wprowadzić do praktycznego stosowania obowiązujące normy europejskie PN-EN 13108-x przystosowując ich zapisy ogólne do naszych warunków technicznych i klimatycznych.

2.4.1 Rodzaje asfaltów

W nowych wytycznych technicznych pojawiły się mieszanki i lepiszcza nie ujęte w normie: „PN-S-96025:2000 Drogi samochodowe i lotniskowe, Nawierzchnie asfaltowe. Wymagania”, oraz zabrakło miejsca dla stosowania piasku otoczonego asfaltem. Dodatkowymi mieszankami są: beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw (BBTM) oraz asfalt porowaty (PA). W niniejszym opracowaniu pominięte zostaną wymagania dla asfaltu lanego oraz asfaltu porowatego, który w naszym kraju jak dotąd ma specjalne zastosowanie.

W omawianych w tym punkcie WT-2 pojawiły się nowe określenia i oznaczenia zarówno mieszanek mineralno-asfaltowych jak i samych lepiszczy. Zapewne w końcowej formie nazwy zaczerpnięte z języka angielskiego zostaną „spolszczone”.

AC 16 S 70/100	beton asfaltowy o największym wymiarze kruszywa 16 mm, do warstwy ścieralnej z asfaltem 70/100
	typ: beton asfaltowy
	wymiar: 16
	przeznaczenie: warstwa ścieralna

AC WMS 16 W 20/30	beton asfaltowy o wysokim module sztywności o największym wymiarze kruszywa 16 mm do warstwy wiążącej z asfaltem 20/30 typ: beton asfaltowy WMS wymiar: 16 przeznaczenie: warstwa wiążąca
BBTM 8A 50/70	beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw, o największym wymiarze kruszywa 8 mm i modelu uziarnienia A, z asfaltem 50/70 typ: beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw (mieszanka BBTM) wymiar: 8 model uziarnienia: A przeznaczenie: warstwa ścieralna
SMA 11 50/70	mieszanka SMA, o największym wymiarze kruszywa 11 mm, z asfaltem 50/70 typ: mieszanka SMA wymiar: 11
PA 16 W	Asfalt porowaty o największym wymiarze kruszywa 16 mm do warstwy wiążącej typ: asfalt porowaty wymiar: 16 przeznaczenie: warstwa wiążąca
PMB 10/40-65	Asfalt modyfikowany o zakresie penetracji 10- 40 w 25°C [0,1 mm] i minimalnej temperaturze mięknięcia PiK 65 °C (w nawiązaniu do normy PN-EN 14023:2006 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Zasady specyfikacji dla asfaltów modyfikowanych polimerami

Tabela 9. Rodzaje asfaltu w MMA
Źródło: WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008

Warstwa podbudowy			
Kategoria ruchu	KR1-2	KR3-4	KR5-6
Lepiszczce asfaltowe ⁶	50/70	35/50 ¹ , 50/70 ¹ , 20/30 ² , 15/25 ² , 10/20 ² PMB 10/40-65 ² , PMB 25/55-60 ³ ,	35/50 ¹ , 50/70 ¹ , 20/30 ² , 15/25 ² , 10/20 ² PMB 10/40-65 ² , PMB 25/55-60 ³ ,
Warstwa wiążąca			
Kategoria ruchu	KR1-2	KR3-4	KR5-6
Lepiszczce asfaltowe ⁶	50/70	35/50 ¹ , 50/70 ¹ , 20/30 ² , 15/25 ² , 10/20 ² PMB 10/40-65 ² , PMB 25/55-60 ³ ,	35/50 ¹ , 50/70 ¹ , 20/30 ² , 15/25 ² , 10/20 ² PMB 10/40-65 ² , PMB 25/55-60 ³ ,
Warstwa ścieralna			
Kategoria ruchu	KR1-2	KR3-4	KR5-6
Lepiszczce asfaltowe ⁶	50/70 ⁴ , 70/100 PMB 45/80-55, PMB 45/80-65, PMB 65/105-60 ⁵ , PMB 65/105-70 ⁵	50/70 ⁴ PMB 45/80-55, PMB 45/80-65, PMB 65/105-60 ⁵ , PMB 65/105-70 ⁵	PMB 45/80-55, PMB 45/80-65, PMB 65/105-60 ⁵ , PMB 65/105-70 ⁵

Uwagi:

¹ do betonu asfaltowego

² do betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS

³ do betonu asfaltowego do warstwy podbudowy lub wiążącej

⁴ nie zaleca się do stosowania w regionach, gdzie spodziewana minimalna temperatura nawierzchni wynosi poniżej -34°C - region północno-wschodni i tereny podgórskie

⁵ do cienkiej warstwy na gorąco z SMA o grubości nie większej niż 3,5 cm

⁶ prócz wymienionych mogą być stosowane inne lepiszcza nienormowe według aprobat technicznych

2.4.2 Objętość wolnych przestrzeni

WT-2 wprowadzają różne zawartości wolnych przestrzeni w zależności od obciążenia ruchem, położenia warstwy oraz metody projektowania. Do ustalania składu mieszanki mineralno-asfaltowej norma zakłada dwie metody:

Metoda empiryczna - projektowanie składu mieszanki mineralno-asfaltowej na podstawie specyfikacji empirycznej, która określa zestaw wymagań wobec składu i materiałów składowych wraz z wymaganiami powiązanymi funkcjonalnie

Metoda funkcjonalna - projektowanie składu mieszanki mineralno-asfaltowej na podstawie specyfikacji funkcjonalnej. Specyfikacja funkcjonalna jest to zestaw wymagań funkcjonalnych oraz ograniczona liczba wymagań wobec składu i materiałów składowych, z większym stopniem swobody doboru składu niż w specyfikacji empirycznej.

Zakres objętości wolnych przestrzeni dla podbudowy został nieco rozszerzony jednak nie występują tu większe zmiany w stosunku do normy PN-S-96025:2000

Tabela 10. Objętość wolnych przestrzeni
Źródło: WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008

Objętość wolnych przestrzeni w próbkach (metoda empiryczna)			
Kategoria ruchu	KR1-2	KR3-4	KR5-6
Warstwa podbudowy BA	4,0÷10,0	4,0÷10,0	5,0÷10,0
Warstwa wiążąca BA	3,0÷6,0	4,0÷7,0	4,0÷7,0
Warstwa ścieralna BA	1,0÷3,0	2,0÷4,0	-
Warstwa ścieralna SMA	2,0÷4,0	2,0÷4,0 3,0÷4,0(SMA11)	3,0÷4,0

Cd tabeli 10.

Objętość wolnych przestrzeni w próbkach (metoda funkcjonalna)			
Kategoria ruchu	KR1-2	KR3-4	KR5-6
Warstwa podbudowy BA	-	3,0÷10,0	4,0÷10,0
Warstwa podbudowy lub wiążąca BAWMS	-	2,0÷4,0	2,0÷4,0
Warstwa wiążąca BA	-	3,0÷7,0	4,0÷7,0
Objętość wolnych przestrzeni w nawierzchni			
Kategoria ruchu	KR1-2	KR3-4	KR5-6
Warstwa podbudowy BA	4,0÷1,0	4,0÷10,0	5,0÷10,0
Warstwa podbudowy lub wiążąca BAWMS	-	2,0÷5,0	2,0÷5,0
Warstwa wiążąca BA	3,0÷6,0	4,0÷7,0	4,0÷7,0
Warstwa ścieralna BA	1,0÷4,0	2,0÷5,0	-
Warstwa ścieralna SMA	2,0÷6,0	2,0÷6,0	2,0÷6,0

Zawartość wolnych przestrzeni w próbce Marshalla pobranej z mieszanki mineralno-asfaltowej lub wyjątkowo powtórnie rozgrzanej próbki pobranej z nawierzchni, nie może wykroczyć poza wartości graniczne o więcej niż:

- AC P, AC W, 2,0 % v/v,
- AC S, AC WMS, SMA 1,5 % v/v.

2.4.3. Zawartość lepiszcza

W najnowszych wymaganiach zawartość lepiszcza uzależnia się tak jak w poprzedniej normie od uziarnienia mieszanki oraz od kategorii ruchu.

Dodatkowo ilość bitumu zależy od metody projektowania. Kolejną zmianą w stosunku do poprzedniej normy jest podawanie tylko minimalnej zawartości lepiszcza bez określania górnej granicy. Wartości minimalne dla podbudowy wzrosły w stosunku do PN-S-96025:2000 o ok. 20%

Tabela 11. Minimalna Zawartość lepiszcza

Źródło: WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008

Minimalna zawartość lepiszcza w warstwie podbudowy BA					
Metoda projektowania	AC 16 P KR1-2	AC 22 P KR1-2	AC 16 P KR3-6	AC 22 P KR3-6	
funkcjonalna	-	-	3,0	3,0	
empiryczna	4,2	4,0	4,0	3,8	
Minimalna zawartość lepiszcza w warstwie wiążącej BA					
Metoda projektowania	AC 11 W KR1-2	AC 16 W KR1-2	AC 16 W KR3-6	AC 22 W KR3-6	
funkcjonalna	-	-	3,0	3,0	
empiryczna	4,6	4,4	4,4	4,2	
Minimalna zawartość lepiszcza w warstwie ścieralnej BA					
Metoda projektowania	AC 5 S KR1-2	AC 8 S KR1-2	AC 11 S KR1-2	AC 8 S KR3-4	AC 11 S KR3-4
funkcjonalna	-	-	-	-	-
empiryczna	7,0	6,6	6,4	6,4	6,2
Minimalna zawartość lepiszcza w warstwie podbudowy lub wiążącej BAWMS					
Metoda projektowania	AC WMS 11 KR3-6	AC WMS 16 KR3-6			
funkcjonalna	4,8	4,8			
empiryczna	-	-			
Zawartość lepiszcza warstwa ścieralna SMA					
Metoda projektowania	SMA 5 KR1-4	SMA 8 KR1-6	SMA 11 KR3-6		
funkcjonalna	-	-	-		
empiryczna	6,8	6,6	6,0		

Zawartość rozpuszczalnego lepiszcza z każdej próbki pobranej z mieszanki mineralno-asfaltowej lub wyjątkowo z próbki pobranej z nawierzchni nie może odbiegać od wartości projektowanej, z uwzględnieniem podanych tolerancji w zależności od średniej arytmetycznej z danego odcinka budowy.

Tabela 12. Tolerancje w zawartości lepiszcza w MMA

Źródło: WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008

Liczba wyników badań	1	2	3 - 4	5 - 8	9 - 19	powyżej 20
AC P	± 0,6	± 0,55	± 0,50	± 0,40	± 0,35	± 0,30
AC S, AC W, AC WMS, SMA,	± 0,5	± 0,45	± 0,40	± 0,35	± 0,30	± 0,25

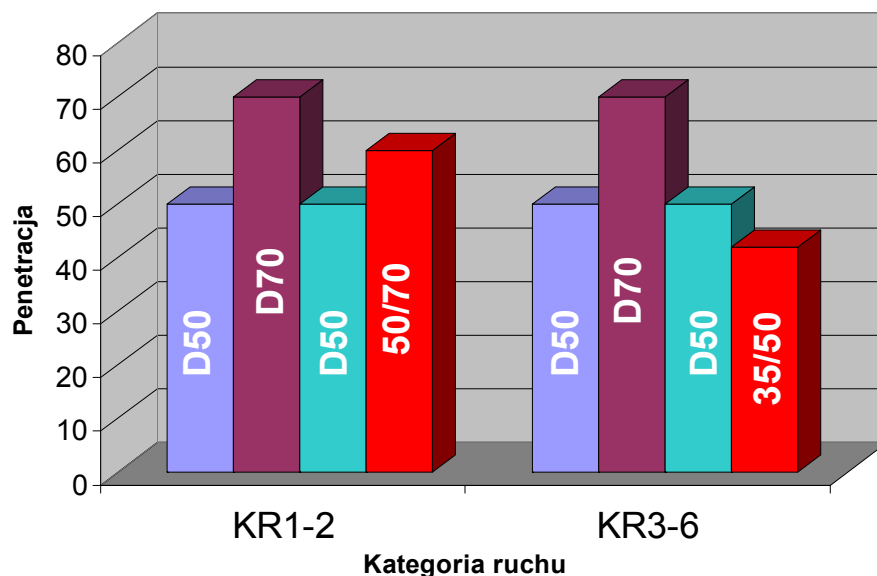
2.5 Porównanie parametrów mieszanki mineralno-asfaltowej z betonu asfaltowego dla podbudowy o uziarnieniu 0/25

Na poniższych wykresach przedstawiono porównania wymogów zawartych w omawianych wcześniej normach. Wartości na wykresach odpowiadają wymaganiom dla mieszanki mineralno-asfaltowej z betonu asfaltowego dla podbudowy. Przyjęto, że jest to odpowiednik MMA:

- Gruboziarnistej, częściowo zamkniętej wg. PN-74/S-96022
- Beton asfaltowy do warstwy podbudowy o uziarnieniu 0/25 wg Wytucznych IBDiM
- Beton asfaltowy do warstwy podbudowy o uziarnieniu 0/25 wg PN-S-96025:2000
- Beton asfaltowy do warstwy podbudowy o uziarnieniu 0/22 (AC 0/22 P) wg WT Nawierzchnie Asfaltowe DiL - 2007

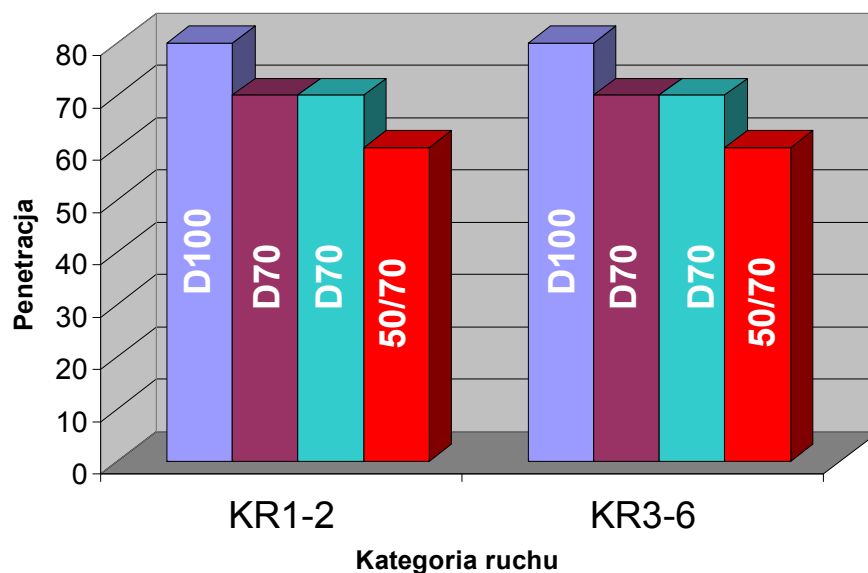
Przyjęte porównania dla mieszanek mineralno-asfaltowych dla podbudowy, wynikają z decydującej roli jaką odgrywa ta warstwa w trwałości zmęczeniowej nawierzchni. W zakresie wymienionych wartości będą mieściły się parametry użyte do obliczeń w dalszej części tego opracowania.

Porównanie rodzajów asfaltów dla podbudowy z betonu asfaltowego dla uziarnienia 0/25 (BA 22 P) - minimalna penetracja



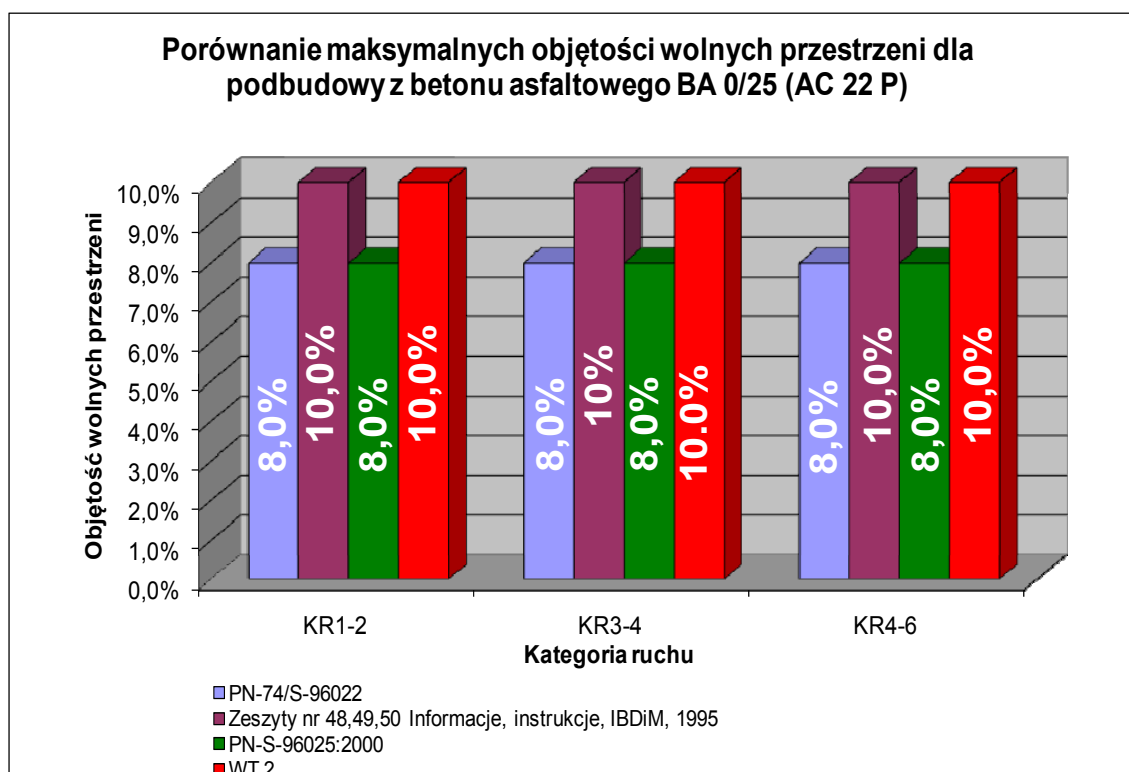
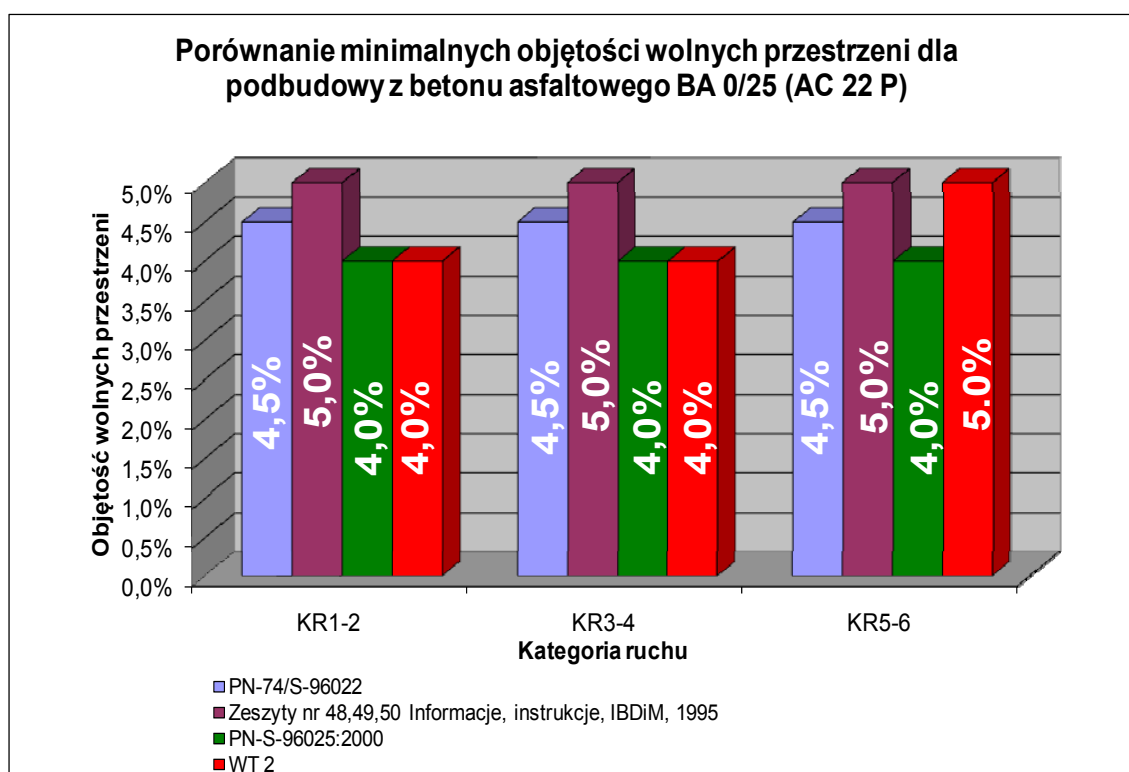
■ PN-74/S-96022
 ■ Zeszyty nr 48,49,50 Informacje, instrukcje, IBDiM, 1995
 ■ PN-S-96025:2000
 ■ PN-EN-13108-x

Porównanie rodzajów asfaltów dla podbudowy z betonu asfaltowego dla uziarnienia 0/25 (BA 22P) - maksymalna penetracja

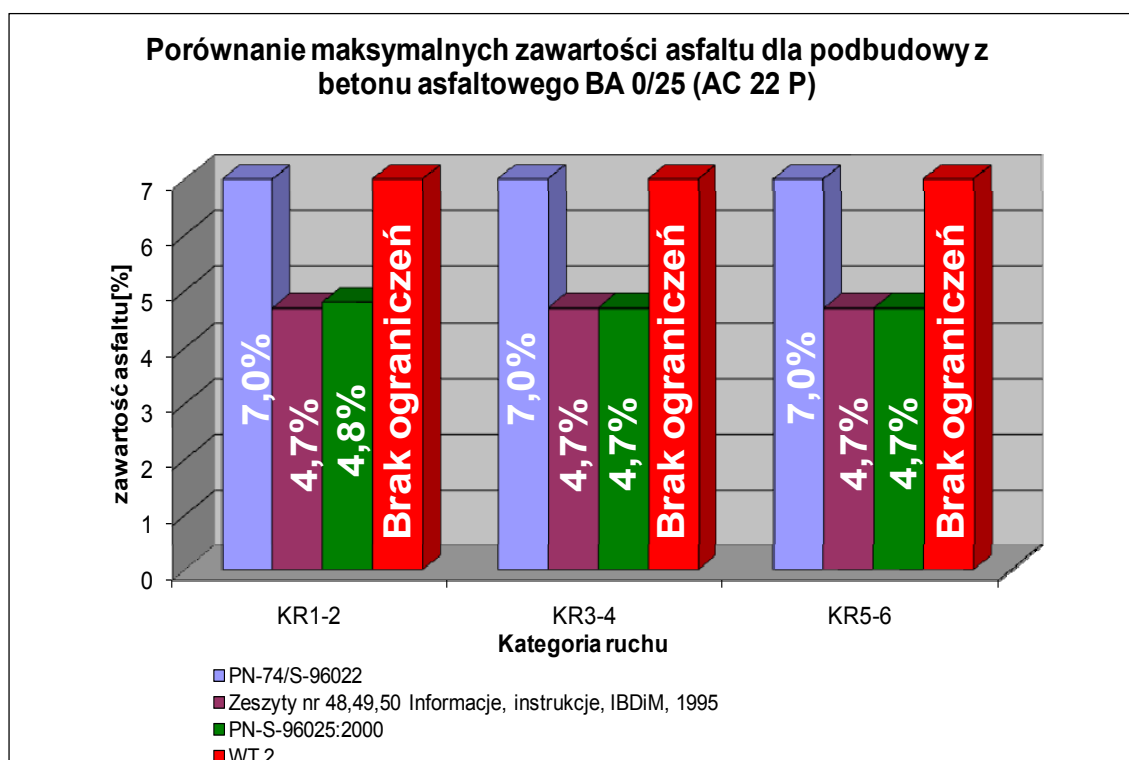
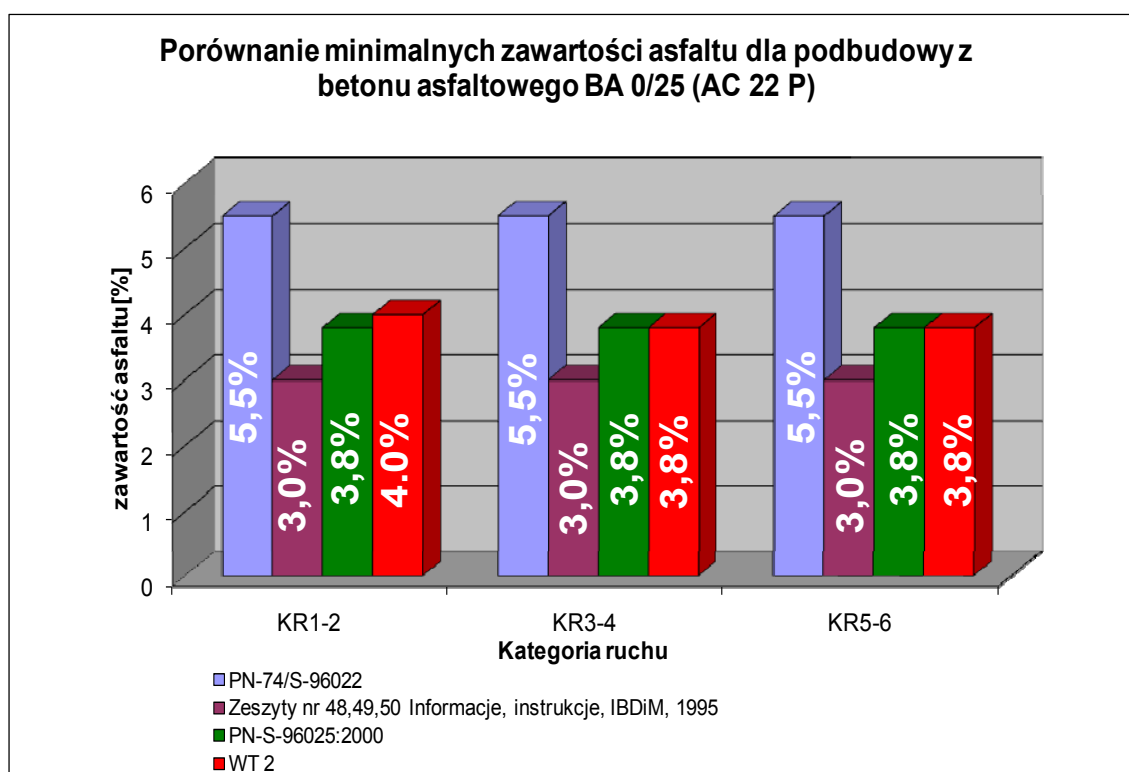


■ PN-74/S-96022
 ■ Zeszyty nr 48,49,50 Informacje, instrukcje, IBDiM, 1995
 ■ PN-S-96025:2000
 ■ PN-EN-13108-x

Wykres 1,2
Źródło: Materiały własne



Wykres 3,4
Źródło: Materiały własne



Wykres 5,6
Źródło: Materiały własne

3. Polski katalog nawierzchni

3.1 Historia polskich katalogów konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych

Pierwszy polski katalog typowych nawierzchni powstał w 1977 r. Kolejny katalog z 1983 r. był nowelizacją poprzedniego wydania. Pozycją, która również ukazała się przed obecnym katalogiem i została zatwierdzona do stosowania przez dyrektora Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych był „Katalog typowych konstrukcji podatnych i półsztywnych nawierzchni ulic”.

Obliczenia konstrukcji typowych do katalogów powyższych zostały wykonane na podstawie metody PJ-IBD zwanej potocznie metodą „Polską”. Opracowana została w 1965 r. przez prof. Jana Pachowskiego i była adaptacją metody CBR do polskich warunków. Metoda PJ-IBD również opierała się na współczynnikach materiałowych oraz grubości zastępczej konstrukcji nawierzchni. Ogólne wzory obliczeniowe przedstawiały się w następujący sposób:

$$h = h_1 + h_2 + h_3 + h_4$$

$$h_1 = 3ab_1$$

$$h_2 = 15ab_2cd_1$$

$$h_3 = 10ab_3cd_2e$$

$$h_4 = 5b_4d_2$$

współczynniki:

a – natężenie ruchu (SRD w osiach 80kN)

b_1, b_2, b_3, b_4 – współczynniki materiałowe dla poszczególnych warstw nawierzchni

c – współczynnik zależny od dopuszczalnego obciążenia koła

Oś obliczeniową przyjęto o nacisku 80 kN. Początkowo wyróżnione zostało 6 kategorii ruchu w późniejszych opracowaniach najcięższą kategorię ruchu R_6 podzielono na dwie podkategorie a i b.

Tabela 13. Kategorie ruchu dla metody PJ-IBD

Źródło:” Katalog typowych konstrukcji podatnych i półsztywnych nawierzchni ulic”

Kategorie ruchu				
		Charakterystyka ruchu	Liczba pojazdów porównawczych 80 kN	Współczynnik a dla jednego pasa ruchu
R₁		Bardzo lekki	<12	1,20
R₂		Lekki	12 ÷ 35	1,40
R₃		Lekko średni	36 ÷ 100	1,69
R₄		średni	101 ÷ 300	2,00
R₅		Ciężki	301 ÷ 1000	2,33
R₆	a	Bardzo ciężki	1001 ÷ 3000	2,65
	b		>3000	2,96

Liczbę pojazdów rzeczywistych na obliczeniowe przyjmowano na podstawie nomogramu sporządzonego za pomocą wzoru logarytmicznego:

$$\log N_{por} = 0,77 \frac{piDi}{p \times D} + \frac{piDi}{p \times D} \times \log Ni - 0,77$$

N_{por} – liczba pojazdów porównawczych 80 kN, odpowiadająca określonej liczbie Ni samochodów o danym iloczynie pi x Di

pi x Di – iloczyn ciśnienia jednostkowego przekazywanego na powierzchnię nawierzchni (kN/m²) i średnicy zastępczego śladu koła (m) pojazdu charakterystycznego dla grupy pojazdów o nacisku na oś ≤ 80 kN i grupy pojazdów o nacisku na oś > 80 kN

p x D – iloczyn j.w. dla pojazdu porównawczego – dla p.p. 80 kN
p x D = 170 kN/m

Ni – liczba pojazdów o jednakowym pi x Di na jednym pasie ruchu w ciągu doby.

Dla obliczeń w „starych katalogach” konstrukcji nawierzchni przyjęto 20 letni okres eksploatacji nowych nawierzchni. Obciążenie ruchem danej drogi, uwzględnione przy projektowaniu nowej nawierzchni określono w połowie

okresu eksploatacji, tzn. w 10-tym roku po oddaniu do użytkowania. Dodatkowo otrzymane wyniki sprawdzono metodą CBR.

3.2. Założenia polskiego „Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych.” z 1997 r.

W poniższym podrozdziale przedstawione zostaną założenia przyjęte do obliczeń obecnego katalogu oraz normy i wytyczne na podstawie, których te założenia poczyniono. Omówiono zostaną przede wszystkim aspekty katalogu związane z konstrukcją nawierzchni oraz materiałami użytymi do jej wykonania. Przedstawiony będzie także podział na kategorie ruchu oraz w sposób przeliczania poszczególnych pojazdów na osie obliczeniowe.

3.2.1. Normy i wytyczne przyjęte do obliczeń w polskim „Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych”

Powstawanie polskiego katalogu, zbiegło się w czasie z projektem nowej normy dotyczącej nawierzchni asfaltowych znanej później jako PN-S-96025:2000. Do tego czasu obowiązującą normą była PN-S-96022:1974 „Drogi samochodowe i lotniskowe. Nawierzchnie z betonu asfaltowego”. Dodatkowo w 1995 r. ukazały się zeszyty IBDiM. Wszystkie wymienione tu normy zostały omówione i porównane w poprzednim rozdziale.

Większość szczegółowych zaleceń wobec mieszanek zbliżona jest do wytycznych z zeszytów IBDiM. Chociaż są pewne różnice. Podstawową jest podział wymagań ze względu na kategorie ruchu, co zostało wykorzystane również w normie z 2000r. Poza tym istnieją także inne rozbieżności:

Warstwa podbudowy:

- Katalog dopuszcza użycie asfaltu D50
- Dla kategorii ruchu KR1-2 można stosować wg katalogu uziarnienie mieszanek 0/12,8; 0/16; 0/20; 0/25; 0/31,5 natomiast w przypadku

instrukcji IBDiM można było stosować tylko mieszanki o uziarnieniu 0/25 i 0/31,5

Warstwa wiążąca:

- W zeszytach IBDiM uwzględnione są tylko dwa uziarnienia mieszanek: 0/25 i 0/20. Natomiast w katalogu dopuszcza się uziarnienie 0/12,8(tylko KR1-2); 0/16; 0/20; 0/25(tylko KR3-6).

Warstwa ścieralna

- Również w przypadku warstwy ścieralnej z betonu asfaltowego rozszerzony został zakres uziarnienia dla mieszanek mineralno-asfaltowych. Dotyczy to kategorii ruchu KR1-2 gdzie można stosować poza uziarnieniem 0/12,8; 0/20 również 0/6,3; 0/8; 0/16.
- Rozszerzony został zakres zawartości wolnych przestrzeni z 2,0% - 4,0% do 1,5% - 4,5%.

Mieszankę SMA katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych zaleca wykonywać wg zeszytu IBDiM, Informacje, Instrukcje, nr 49, 1995 r.

3.2.2. Klasyfikacja ruchu oraz przeliczanie osi rzeczywistych na porównawcze

Projektowanie według Katalogu odbywa się na podstawie prognozowanego średnio-dobowego ruchu w przekroju drogi określonego dla dziesiątego roku po oddaniu drogi do eksploatacji. Analizę ruchu przeprowadza się w trzech grupach pojazdów: samochody ciężarowe bez przyczep, samochody ciężarowe z przyczepami i autobusy. Na podstawie prognozowanego ruchu oblicza się liczbę osi obliczeniowych według wzoru:

$$L = (N_1 r_1 + N_2 r_2 + N_3 r_3) f_1$$

Gdzie:

L – liczba osi obliczeniowych na dobę na pas obliczeniowy w dziesiątym roku po oddaniu drogi do eksploatacji

- N_1, N_2, N_3 – średni dobowy ruch samochodów ciężarowych bez przyczep, z przyczepami i autobusów w przekroju drogi w dziesiątym roku prognozowanej eksploatacji.
- r_1, r_2, r_3 – współczynniki przeliczeniowe samochodów ciężarowych i autobusów na osie obliczeniowe
- f_1 – współczynnik obciążenia obliczeniowego pasa ruchu

Tabela 14. Tabela do wyznaczenia współczynnika f
Źródło: „Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych”

Liczba pasów ruchu w obu kierunkach		Współczynnik obliczeniowego pasa ruchu f
droga jednojezdniowa	droga dwujezdniowa	
1	2	3
2	-	0,50
3	-	0,50
4	4	0,45
-	6	0,35
-	8	0,30

Tabela 15. Tabela do wyznaczenia współczynnika f .
Źródło: „Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych”

Rodzaj pojazdu	Współczynnik przeliczeniowy na osie obliczeniowe
1	2
Samochód ciężarowy bez przyczepy	$r_1 = 0,109$
Pojazd członowy (samochód ciężarowy z przyczepami, ciągnik siodłowy z naczepą)	$r_2 = 1,245^{1)}$, $r_2 = 1,950^{2)}$
Autobus	$r_3 = 0,594$

1) Wartość współczynnika przy mniejszym niż 8% udziale pojazdów o nacisku osi na jezdnię 115 kN.

2) Wartość współczynnika przy od 8% do 20% udziale pojazdów o nacisku osi na jezdnię 115 kN.

Jeżeli udział w ruchu pojazdów o nacisku osi na jezdnię 115 kN jest większy niż 20%, współczynnik przeliczeniowy powinien być wyznaczony indywidualnie.

Klasyfikacja dróg w obecnym katalogu nawierzchni dzieli je na 6 kategorii ruchu w zależności od obciążenia:

Tabela 16. Tabela do wyznaczenia współczynnika f.
Źródło:” Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych

Klasyfikacja dróg według kategorii ruchu		
	Liczba osi obliczeniowych (100 kN) na dobę na pas obliczeniowy	Trwałość zmęczeniowa: liczba osi obliczeniowych (100 kN) w założonym okresie obliczeniowym (20 lat)
KR1	≤12	≤90 000
KR2	13÷70	90 000 ÷ 510 000
KR3	71÷335	510 000 ÷ 2 500 000
KR4	336÷1000	2 500 000 ÷ 7 300 000
KR5	1001÷2000	7 300 000 ÷ 14 600 000
KR6	2001 i więcej	14 600 000 i więcej

”

2.2.3 Założenia projektowe

Typowe konstrukcje nawierzchni zaprojektowano z zastosowaniem mechanistycznych metod projektowania, wykorzystując obliczenia naprężeń i odkształceń w nawierzchni według teorii wielowarstwowej półprzestrzeni sprężystej lub lepkosprężystej.

Konstrukcje podatne z podbudową z mieszanki mineralno-asfaltowej zaprojektowano z zastosowaniem kryteriów zmęczeniowych warstw asfaltowych i deformacji strukturalnych nawierzchni:

- Instytutu Asfaltowego, USA
- SHELL

Kryterium zmęczeniowe wybrano na podstawie obliczeń nawierzchni metodami mechanistycznymi i porównaniu otrzymanych nawierzchni ze sprawdzonymi znajdującymi się w starym katalogu nawierzchni. Kryterium najbliższym niegdyś obliczonym konstrukcjom, a zarazem dającym wyniki pozostające po bezpiecznej stronie jest kryterium Instytutu Asfaltowego.

Do obliczeń przyjęto następujące kryteria projektowe:

- Obliczeniowy okres eksploatacji wynosi 20 lat,
- W obliczeniowym okresie eksploatacji nawierzchni wystąpią spękania zmęczeniowe nawierzchni na powierzchni nie większej niż 20% i/lub deformacje strukturalne (koleiny strukturalne), wynikające z trwałego odkształcenia podłoża, o głębokości nie większej niż 12,5 mm,
- Konstrukcje nawierzchni sprawdzono dla poszczególnych kategorii ruchu, przyjmując górną graniczną wartość Średniego Dobowego Ruchu w roku (SDR), a w wypadku kategorii ruchu KR6 SDR = 3000 osi 100 kN/pas/dobę.
- Założenia materiałowe przyjęto na podstawie danych literaturowych oraz obliczeń metodami analitycznymi.

2.2.4 Założenia materiałowe

Dla warstw bitumicznych przyjmuje się następujące średnie wartości temperatur:

- | | |
|--|-------|
| 1) okres zimy (3 miesiące) | -2°C, |
| 2) okres wiosny i jesieni (6 miesięcy) | 10°C, |
| 3) okres lata (3 miesiące) | 23°C. |

Za obliczeniowy nacisk osi pojedynczej na nawierzchnię przyjmuje się 100 kN, a rozkład ruchu na poszczególne okresy w roku jest następujący:

- | | |
|--|------|
| 1) okres zimy (3 miesiące) | 20%, |
| 2) okres wiosny i jesieni (6 miesięcy) | 50%, |
| 3) okres lata (3 miesiące) | 30%. |

Wartości stałych materiałowych dla podbudowy z kruszyw oraz podłoża gruntowego:

Tabela 17. Stałe materiałowe.

Źródło:” Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych”

Rodzaj materiału	E (MPa)	μ
1	2	3
Kruszywo łamane o ciągłym uziarnieniu, stabilizowane mechanicznie	400	0,30
Tłuczeń	400	0,30
Kruszywo naturalne o ciągłym uziarnieniu, stabilizowane mechanicznie	200	0,30
Podłoże bezpośrednio pod konstrukcją nawierzchni	100	0,30

Wartość stałych materiałowych dla MMA dla poszczególnych pór roku

Tabela 18. Stałe materiałowe

Źródło:” Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych”

Rodzaj mieszanki	Zima		Wiosna, jesień		Lato	
	E (MPa)	μ	E (MPa)	μ	E (MPa)	μ
1	2	3	4	5	6	7
Beton asfaltowy o strukturze zamkniętej przeznaczony do warstwy ścieralnej	19300	0,25	10300	0,30	2800	0,40
Beton asfaltowy o strukturze częściowo zamkniętej przeznaczony do warstwy wiążącej	18800	0,25	10100	0,30	3000	0,40
Beton asfaltowy o strukturze częściowo zamkniętej przeznaczony do warstwy podbudowy	18100	0,25	9600	0,30	3000	0,40

4. Materiały i mieszanki, których technologia rozwinęła się w ciągu ostatnich 10 lat.

Wraz z wstąpieniem Polski do Unii Europejskiej rozpoczął się w naszym kraju dynamiczny rozwój sieci drogowej. W wyniku zwiększonego ruchu oraz obciążeń koniecznym stało się zastosowanie nowych materiałów i technologii. Stosowane wcześniej w niewielkim zakresie polimeroasfalty czy nawierzchnie ścieralne typu SMA stały się w ostatniej dekadzie powszechnie używane. W najnowszych wymaganiach technicznych znalazło się miejsce między innymi dla takich materiałów jak:

- Asfalt porowaty (AP)
- Beton asfaltowy o wysokim module sztywności (ACWMS)
- Mastyks grysowy SMA
- Beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw

W tym rozdziale przedstawiono podstawowe informacje na temat SMA, betonu asfaltowego o wysokim module sztywności oraz nawierzchni z zastosowaniem polimeroasfaltów.

3.1 Nowe warstwy ścieralne

Warstwa ścieralna jako górna warstwa konstrukcji nawierzchni, służąca do zabezpieczenia niższych warstw konstrukcyjnych przed bezpośrednim oddziaływaniem ruchu i infiltracją wody ma duży wpływ na bezpieczeństwo ruchu i ocenę nawierzchni przez użytkowników poniżej zostały przedstawione dwa typy tych warstw – mastyks grysowy SMA oraz nawierzchnia drenażowa.

3.1.1 Mastyks grysowy SMA

Technologia SMA, opracowana w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku w Niemczech, rozpowszechniła się w Europie w latach osiemdziesiątych, następnie w USA. Obecnie technologia ta znana jest na całym świecie i z

powodzeniem stosuje się ją do budowy nawierzchni, przede wszystkim o dużym natężeniu ruchu drogowego [2].

W Polsce doświadczenia z wprowadzaniem SMA rozpoczęły się na początku lat 90. w pracach prowadzonych przez IBDiM. Na początku były to SMA z dodatkiem polimerów - plastomeru (Vestoplast) lub elastomeru (Cariflex, obecnie Kraton). Wynikiem pierwszych prac i doświadczeń było wydanie przez IBDiM w 1992 r. „Zasad wykonywania nawierzchni z mieszanki SMA”, nowelizowanych następnie w 1995 r.[3] Następnie zawarto wymagania co do tej warstwy w Katalogu konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych oraz w polskiej normie PN-S-96025:2000 „Drogi samochodowe i lotniskowe, Nawierzchnie asfaltowe. Wymagania: Dodatkowo, wymagania wobec polimeroasfaltów stosowanych w SMA zawierały TWT-PAD-97. Na chwilę obecną obowiązująca jest norma PN-EN 13108-5:2006 Mieszanki mineralno-asfaltowe – Wymagania – Część 5: Mieszanka SMA.

Warstwa ścieralna nawierzchni z SMA łączy w sobie zalety betonu asfaltowego i asfaltu twardolanego i charakteryzuje się dużą szorstkością, zwiększoną odpornością na odkształcenia trwałe (koleinowanie), odpornością na działanie czynników atmosferycznych oraz redukcję hałasu od ruchu drogowego [2].

Pierwotnie SMA powstała jako mieszanka mająca zapobiec szybkiemu ścieraniu nawierzchni pod wpływem działania opon okolcowanych. Stąd między innymi duża zawartość twardych grysów. Jednak kluczem do zwiększonej trwałości SMA jest wysoka zawartość mastyksu i „nadmiaru” lepiszcza. Mastyks, ze swej natury nieprzepuszczalny dla wody i powietrza, wypełniając wolne przestrzenie w mieszance czyni ją odporną na działanie wilgoci i przyspieszone starzenie lepiszcza. Ponadto, grubsza warstwa lepiszcza otaczającego kruszywo, zapewnia trwalsze otoczenie ziaren – czyli zmniejsza ryzyko ich wykruszania [3].

Najbardziej znaną cechą SMA jest jednak jej zwiększona odporność na koleinowanie. Odporność ta się ma swoje źródło w składzie mieszanki

mineralnej o nieciągłym uziarnieniu. Mieszanka ta składa się w ponad 70% z frakcji grysowej, tworzącej stabilny szkielet z ziaren oraz z mastyksu wypełniającego przestrzenie między grysami. Taki skład mieszanki mineralno-asfaltowej, po ułożeniu i prawidłowym zagęszczeniu, gwarantuje zaklinowanie grysów, i co za tym idzie, utworzenie odpornej na koleinowanie warstwy. Badania SMA z lepiszczem niemodyfikowanym, wykonane w aparacie ściskania trójosiowego pozwalają stwierdzić, że odporność na deformacje jest dla SMA 1.5÷4 -krotnie większa niż betonu asfaltowego [3].

Kolejną cechą SMA jest szorstkość. Właściwość nawierzchni, która jest jednym z głównych czynników poprawiających bezpieczeństwo ruchu. Wysokie wskaźniki szorstkości SMA osiągane są dzięki zastosowaniu odpowiedniego rodzaju kruszywa oraz wybraniu odpowiedniej tekstury powierzchni. Do warstw ścieralnych z SMA powinno używać się wyłącznie kruszywa o odpowiednim PSV (Polished Stone Value), który jest wskaźnikiem odporności kruszywa na polerowanie pod ruchem. Tekstura powierzchni ma duże znaczenie dla kontaktu opona-nawierzchnia w obecności wody, a więc dla bezpieczeństwa ruchu. Jak można zaobserwować w praktyce, na warstwie SMA po deszczu nie występuje cienka warstwa wody opadowej. Znajduje się ona w mikrokanalikach otaczających wystające ziarna grysów. Głębokość tak powstałej tekstury zależy od wielkości ziaren kruszywa (grysów) i stopnia wypełnienia mastyksem przestrzeni między grysami. W SMA o największym maksymalnym uziarnieniu – 0/14 i 0/16 mm głębokość tekstury sięga 1.5÷2.0 mm. W przypadku dróg, na których pojazdy rozwijają duże prędkości, stosowanie grubszych mieszanek SMA jest szczególnie uprawnione. Te specyficzne właściwości odprowadzania warstwy wody mają także wpływ na bezpieczeństwo jazdy w nocy, kiedy zapobiegają olśnieniu światłami pojazdów jadących z naprzeciwka i polepszają widoczność oznakowania poziomego [3].

Następną zaletą stosowania SMA jest redukcja hałasu związanego z ruchem drogowym. W zależności od stosowanych tradycyjnie w różnych krajach mieszanek do warstw ścieralnych, obserwowane są różne zmiany w

hałaśliwości ruchu samochodowego. Na przykład w Wlk.Brytanii, gdzie bardzo popularny jest Hot Rolled Asphalt, zastosowanie SMA zmniejszyło hałas samochodowy od 2.7 do 5.3 dB(A). Także we Włoszech, pomiary przy prędkości 110 km/h i w porównaniu z betonem asfaltowym 0/15 mm, wskazały spadek natężenia hałasu o 5.0÷7.0 dB(A). Nie zawsze tak dobry efekt jest osiągany. W przypadkach zastosowania dodatkowego uszorstnienia drobnym kruszywem, po okresie około roku można spodziewać się wzrostu hałaśliwości nawierzchni [3].

Pomimo wielu zalet mieszanka SMA posiada także wady. Tak jak wcześniej napisano, w SMA, na ziarnach kruszywa znajduje się znacznie grubsza warstwa lepiszcza. Wpływa to nie tylko na zwiększenie trwałości warstwy, ale także, tym razem niekorzystnie, na utrzymywanie się relatywnie zwiększonej śliskości nawierzchni po wykonaniu. Dlatego w niektórych krajach stosuje się zabieg uszorstniania świeżej warstwy ścieralnej SMA przez rozsianie i zawałowanie drobnego kruszywa 0/2÷5 mm [3].

Według najnowszych wytycznych dla mieszanki SMA wymagane są poniższe właściwości:

Tabela 19. Wymagania dla SMA
Źródło: WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008

Wymagane właściwości mieszanki SMA do warstwy ścieralnej, KR1-2

Właściwość	Warunki zagęszczania wg PN-EN 13108-20	Metoda i warunki badania	SMA 5	SMA 8
Min. i max. zawartość wolnych przestrzeni	C.1.2, ubijanie, 2 × 50 ud.	PN-EN 12697-8, p. 4	V_{min2} V_{max4}	V_{min2} V_{max4}
Odporność na działanie wody	C.1.1, ubijanie, 2 × 25 ud.	PN-EN 12697-12, kondycjonowanie w 40 °C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 15 °C	$ITSR_{90}$	$ITSR_{90}$
Maksymalna spływność lepiszcza	-	PN-EN 12697-18, p. 5	$D_{0,3}$	$D_{0,3}$

Wymagane właściwości mieszanki SMA do warstwy ścieralnej, KR3-4

Właściwość	Warunki zagęszczania wg PN-EN 13108-20	Metoda i warunki badania	SMA 5	SMA 8	SMA 11
Min. i max. zawartość wolnych przestrzeni	C.1.2, ubijanie, 2 × 50 ud.	PN-EN 12697-8, p. 4	V_{min2} V_{max4}	V_{min2} V_{max4}	V_{min3} V_{max4}
Odporność na deformacje trwałe: maksymalny przyrost koleiny, maksymalna proporcjonalna głębokość koleiny	C.1.20, wałowanie, P_{98} - P_{100}	PN-EN 12697-22, metoda B w powietrzu, PN-EN 13108-20, D.1.6, 60 °C, 10 000 cykli	$WTS_{AIR0,70}$ $PRD_{AIR7,0}$	$WTS_{AIR0,70}$ $PRD_{AIR7,0}$	$WTS_{AIR0,70}$ $PRD_{AIR7,0}$
Odporność na działanie wody	C.1.1, ubijanie, 2 × 25 ud.	PN-EN 12697-12, kondycjonowanie w 40 °C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 15 °C	$ITSR_{90}$	$ITSR_{90}$	$ITSR_{90}$
Maksymalna spływność lepiszcza	-	PN-EN 12697-18, p. 5	$D_{0,3}$	$D_{0,3}$	$D_{0,3}$

Wymagane właściwości mieszanki SMA do warstwy ścieralnej, KR5-6

Właściwość	Warunki zagęszczania wg PN-EN 13108-20	Metoda i warunki badania	SMA 8	SMA 11
Min. i max. zawartość wolnych przestrzeni	C.1.2, ubijanie, 2 × 50 ud.	PN-EN 12697-8, p. 4	V_{min3} V_{max4}	V_{min3} V_{max4}
Odporność na deformacje trwałe: maksymalny przyrost koleiny, maksymalna proporcjonalna głębokość koleiny	C.1.20, wałowanie, P_{98} - P_{100}	PN-EN 12697-22, metoda B w powietrzu, PN-EN 13108-20, D.1.6, 60 °C, 10 000 cykli	$WTS_{AIR0,30}$ $PRD_{AIR5,0}$	$WTS_{AIR0,30}$ $PRD_{AIR5,0}$
Odporność na działanie wody	C.1.1, ubijanie, 2 × 25 ud.	PN-EN 12697-12, kondycjonowanie w 40 °C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 15 °C	$ITSR_{90}$	$ITSR_{90}$
Maksymalna spływność lepiszcza	-	PN-EN 12697-18, p. 5	$D_{0,3}$	$D_{0,3}$

3.1.2 Nawierzchnie drenażowe

Technologia budowy nawierzchni drenażowych zwanych także porowatymi pojawiła się w drugiej połowie lat siedemdziesiątych XX wieku w USA. W początkowym okresie stosowania były to tylko warstwy ścieralne z mieszanek mineralno-asfaltowych o strukturze otwartej. W Europie jako pierwsza w 1977 r. Francja wykonała odcinki doświadczalne warstw ścieralnych z mieszanki drenażowej. W następnych latach tę technologię zaczęto stosować w Belgii, Holandii, a następnie w Szwecji, Austrii, Niemczech i Wielkiej Brytanii [2].

Mieszanki mineralno-asfaltowe porowate zawierają w swoim składzie przede wszystkim frakcje grysowe. Zawartość tej frakcji oscyluje w granicach 83% - 87% m/m. Tworzy to bardzo silną strukturę, która zapewnia dużą odporność na deformacje pod obciążeniem kołami ciężkich pojazdów samochodowych. Nawierzchnia porowata jest szorstka, a więc i bezpieczna. Bezpieczeństwo jest również zapewnione przez wyeliminowanie poślizgu wodnego (akwaplaningu) oraz duże zmniejszenie zabrudzenia oznakowania pionowego. Nawierzchnie drenażowe powodują zmniejszenie hałaśliwości ruchu samochodowego co jest istotne z punktu widzenia ochrony środowiska [2].

Nieciągłe uziarnienie mieszanki mineralnej porowatego betonu asfaltowego oraz zawartość 83-87% m/m frakcji grysowej, ograniczona ilość frakcji piaskowej tworzy bardzo silną strukturę mieszanki i przesądza o jej dużej odporności na deformacje trwałe. Duże znaczenie ma także stosowane lepiszcze – najczęściej jest to asfalt modyfikowany polimerem, który usztywnia lepiszcze w wysokich temperaturach, a w niskich poprawia elastyczność nawierzchni. Ponadto mieszanka mineralno-asfaltowa z polimeroasfaltem wykazuje większą stabilność. Dodatkowo stosowane włókno, najczęściej mineralne, także wpływa na zmniejszenie powstawania deformacji trwałych gotowej nawierzchni. Włókno charakteryzuje się chłonnością lepiszcza oraz powodowaniem efektu zbrojenia. Dzięki stabilizowaniu lepiszcza można zastosować jego większą ilość pożądaną z

wielu względów, a podczas produkcji mieszanki asfalt nie spływa z kruszywa. Poprzez wzajemne blokowanie się włókien między sobą oraz między cząstkami mieszanki mineralnej ziarna kruszywa mocno się klinują. Utworzona w ten sposób sztywna sieć pozwala na zachowanie połączonych ze sobą kanalików z wolnej przestrzeni, co ma oczywisty wpływ na skuteczność drenażu. Mikrozbrojenie powoduje, że nawierzchnia charakteryzuje się zwiększoną odpornością na deformacje, stabilnością, ścieralnością i przyczepnością [3].

Przepuszczalność nawierzchni drenażowych to główna cecha odróżniająca ją od innych konstrukcji. W tradycyjnych nawierzchniach odwodnienie jezdni uzyskuje się przez spadek poprzeczny. Jednak badania dowiodły, że zwiększanie pochylenia jezdni powyżej 4%, przy których powstaje warstwa wody o grubości 0,9mm, nie daje już znaczących rezultatów. W takich warunkach powstaje zjawisko akwaplanacji, które polega na istnieniu 0,5-1,0mm warstwy wody na styku opony z nawierzchnią, a ograniczenie tego kontaktu wpływa bezpośrednio na bezpieczeństwo użytkowników dróg. Duże znaczenie ma również prędkość pojazdu, gdyż przy pewnej jej wartości, tzw. prędkości akwaplanacyjnej, następuje całkowita utrata suchego kontaktu opony z nawierzchnią i siły tarcia nie występują. [3]. Natomiast nawierzchnia drenażowa charakteryzuje się dużą otwartością struktury. Przepuszcza wodę do środka a następnie odprowadza ją po niżej położonej warstwie nieprzepuszczalnej na pobocza. Pory w warstwie drenażowej łączą się ze sobą tworząc kanaliki, przez które odprowadza się wodę. Warstwę drenażową projektuje się takiej grubości by średni opad mógł być zmagazynowany w nawierzchni. Na przykład warstwa grubości 4 cm o porowatości 25% może zmagazynować opad do 10 mm [2].

Redukcja hałasu powstającego na styku opony z nawierzchnią przy toczeniu się pojazdu jest bardzo ważną zaletą betonu asfaltowego porowatego i w wielu przypadkach o zastosowaniu mieszanki drenażowej decyduje właśnie ta zdolność. Sprężane powietrze przez toczące się koło powoduje powstawanie charakterystycznego szumu. Otwartość struktury cichej nawierzchni sprawia, że to niekorzystne zjawisko jest w dużym stopniu

redukowane lub nie występuje wcale. Na podstawie np. 5-letnich badań przeprowadzonych w Danii na drodze zamiejskiej w Viskinge oraz na odcinku ulicy w Kopenhadze zaobserwowano zmniejszenie się poziomu hałasu średnio o ok. 2dB. Z innych doświadczeń wynika, że można uzyskać redukcję hałasu wynoszącą nawet 4-5dB. W praktyce oznacza to słyszalność trzykrotnie mniejszego hałasu przy niezmiennym natężeniu ruchu [3].

Po za wymienionymi zaletami nawierzchni drenażowych występują także wady tej mieszanki. Do głównych problemów należy zaliczyć

- Zmniejszoną trwałość nawierzchni,
- Zwiększone koszty i trudności zimowego utrzymania
- Ograniczone stosowanie.

Przeciętna trwałość nawierzchni drenażowych przy obciążeniu do 4000 pojazdów ciężarowych na dobę na 1 pas ruchu wynosi około 8 lat, podczas gdy trwałość klasycznego betonu asfaltowego od 12 do 18 lat. Typowym rodzajem zniszczenia nawierzchni drenażowych są zniszczenia powierzchniowe [Radziszewski]. Duże szkody nawierzchni porowatej mogą wyrządzić niskie temperatury zimą. Zamarzająca woda jest głównym wrogiem otwartej struktury nawierzchni. W Polsce praktycznie przez pół roku należy liczyć się z problemem zimowego utrzymania dróg. Ponadto wilgoć i powietrze, które zostaje uwięzione wewnątrz nawierzchni jest bardzo groźne dla jej trwałości, gdyż powoduje szybsze starzenie się asfaltu przez jego utlenianie [3].

Kolejnym często decydującym problemem występującym przy stosowaniu nawierzchni drenażowych jest koszt, zarówno wykonania jak i utrzymania. Wyższe koszty utrzymania wynikają z faktu, że do mieszanek porowatych stosuje się większą ilość najwyższej jakości kruszyw grysowych oraz modyfikowanych lepiszczy asfaltowych. Wyższe koszty utrzymania związane są przede wszystkim z dużymi nakładami, które są niezbędne w czasie zimowego utrzymania nawierzchni. Ze względu na dużą porowatość i niższą przepuszczalność ciepła, lód śnieg szybciej pojawiają się na nawierzchni drenażowej w porównaniu do nawierzchni standardowej. Aby nie dopuścić

do zamknięcia się porowatej struktury nawierzchni należy częściej i więcej używać soli [2].

Powyższe wady w szczególności związane z dużymi nakładami na utrzymanie nawierzchni zimą powodują, że w Polsce nie mamy zbyt wielkich doświadczeń z tego rodzaju nawierzchnią. Co więcej nic nie wskazuje na to, aby w najbliższych latach wzrosło jej znaczenie naszym kraju.

Obowiązujące obecnie w Polsce normy dotyczące nawierzchni bitumicznych, jak i WT-2 oparte o te normy zawierają wymagania dla asfaltu porowatego.

Tabela 20. Materiały do asfaltu porowatego

Źródło: WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008

Materiał	Kategoria ruchu
	KR1-6
Wymiar górnego sita mieszanki mineralnej D , mm	8, 11, 16 ¹
Lepiszczą do warstwy ścieralnej	PMB 45/80-55, PMB 45.80-60 PMB 65/105-60, PMB 65/105-70
Kruszywa mineralne do warstwy wiążącej i ścieralnej	Tablice 4.1, 4.2, 4.3 według WT Kruszywa MMA PU – 2006, Część 2, jak do SMA

¹ – do warstwy wiążącej do układu dwuwarstwowego z asfaltu porowatego

Tabela 21. Rzędne krzywych granicznych uziarnienia asfaltu porowatego oraz zawartość lepiszcza

Źródło: WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008

Właściwość	PA8 KR1-6		PA11 KR1-6		PA16 KR1-6	
Wymiar sita #, mm	od	do	od	do	od	do
Przechodzi przez:						
22	–	–	–	–	100	–
16	–	–	100	–	90	100
11,2	100	–	90	100	70	85
8	90	100	5	15	–	–
5,6	5	15	–	–	–	–
2	5	10	5	10	5	10
0,063	3	5	3	5	3	5
Minimalna zawartość lepiszcza, B_{min}	$B_{min6,5}$		$B_{min6,0}$		$B_{min5,5}$	
Zawartość środka stabilizującego, % (m/m)	$\geq 0,5$		$\geq 0,4$		$\geq 0,3$	

Tabela 21. Wymagane właściwości asfaltu porowatego do nawierzchni drogowych, KR1-6

Źródło: WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008

Właściwość	Warunki zagęszczania wg PN-EN 13108-20	Metoda badania i warunki badania	Wymaganie
Minimalna i maksymalna zawartość wolnych przestrzeni	C.1.2, ubijanie, 2 × 50 ud.	PN-EN 12697-8, gęstość objętościowa zgodnie z PN-EN 12697-6, gęstość zgodnie z PN-EN 12697-5 w wodzie	$V_{\min 24}$ $V_{\max 32}$
Odporność na działanie wody	C.1.1, ubijanie, 2 × 25 ud.	PN-EN 12697-12, kondycjonowanie w 40 °C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 15°C	$ITSR_{90}$
Maksymalna śpływność lepiszcza	–	PN-EN 12697-18, p.5	D_0
Ubytek ziaren	C.1.2 ubijanie, 2 × 50 ud.	PN-EN 12697-17, temperatura 25°C	PL_{NR}

3.2 Beton asfaltowy o wysokim module sztywności

Rozwój twardych asfaltów drogowych (posiadających penetrację poniżej 25 x 0,1mm w 25°C), a następnie wytworzonego na ich bazie betonu asfaltowego o wysokim module sztywności, rozpoczął się w latach osiemdziesiątych we Francji. Materiał ten ma lepsze właściwości mechaniczne od mieszanek wytworzonych ze zwykłych asfaltów drogowych szczególnie jeśli chodzi o spękania i odkształcenia trwałe. Betony asfaltowe o wysokim module sztywności na początku były używane do wzmocnienia starych nawierzchni. W kolejnym etapie rozwoju zaczęto stosować ten materiał w podbudowach nowych nawierzchni w celu osiągnięcia zysków ekonomicznych przez redukcję grubości warstw konstrukcyjnych nawierzchni. Szczególnie duże oszczędności można było uzyskać stosując tego rodzaju konstrukcje w rejonach, w których utrudniony był dostęp do dobrych kruszyw oraz na drogach o intensywnym i powolnym ruchu [4].

Beton asfaltowy o wysokim module sztywności według standardów europejskich to beton asfaltowy o ciągłym uziarnieniu zawierający od 32 do 35 % frakcji piaskowej (poniżej 2 mm) oraz od 7 do 8 % materiału poniżej

0,075 mm. Maksymalny wymiar ziaren to 10,14 i 20 mm, które odpowiadają odpowiednio grubością warstw od 6 do 10 cm, od 7 do 12 cm i od 10 do 15 cm. Zawartość asfaltu w tych mieszankach waha się od 5 do 6 % [4].

W najnowszym projekcie wymagań technicznych, opartych na normach europejskich PN-EN 13108-x, zawarto wymagania i zakres stosowania omawianej mieszanki. Według wytycznych beton asfaltowy o wysokim module sztywności (AC WMS) może być stosowany do warstwy podbudowy i do warstwy wiążącej. Zaleca się stosować obie warstwy wykonane z ACWMS lub tylko warstwę wiążącą. Warstwa ścieralna na konstrukcji z warstw ACWMS powinna mieć grubość nie większą niż 3 cm i być wykonana z mieszanki SMA lub BBTM. Skład AC WMS projektowany jest wyłącznie metodą funkcjonalną, co wymaga zaawansowanego zaplecza laboratoryjnego. Stosowanie AC WMS zaleca się przede wszystkim w konstrukcjach nawierzchni dróg KR5-6, w mniejszym stopniu KR3-4, ze względu na zaawansowane metody badawcze niezbędne w projektowaniu mieszanki mineralno-asfaltowej.

Tabela 22. Materiały do betonu asfaltowego o wysokim module sztywności do warstwy podbudowy i wiążącej (projektowanie funkcjonalne)

Źródło: WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008

Materiał	Kategoria ruchu	
	KR3-6	
Wymiar górnego sita mieszanki mineralnej D, mm	11	16
Lepiszczka asfaltowe ¹	20/30, 15/25, 10/20 PMB 10/40-65 PMB 10/40-75	
Kruszywa mineralne	Tablice 1.1, 1.2, 1.3 według WT Kruszywa MMA PU – 2006, Część 2	

¹ prócz wymienionych mogą być stosowane inne lepiszcza nienormowane według aprobat technicznych

Tabela 23. Uziarnienie mieszanki mineralnej oraz zawartość lepiszcza do betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS do warstwy podbudowy lub wiążącej, KR3-6

Źródło: WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008

Właściwość	AC WMS 11		AC WMS 16	
Wymiar sita #, mm	od	do	od	do
Przechodzi przez:				
22,4			100	
16	100		90	100
11,2	90	100	70	85
8	70	85		
2	40	50	35	45
0,125	7	17	7	17
0,063	5	9	5	9
Minimalna zawartość lepiszcza, B_{min}	$B_{min4,8}$		$B_{min4,8}$	

Tabela 24. Wymagane właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej betonu asfaltowego o wysokim module sztywności do warstwy podbudowy lub wiążącej, KR3-6

Źródło: WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008

Właściwość	Warunki zagęszczania wg PN-EN 13108-20	Metoda i warunki badania	Wymiar mieszanki	
			AC WMS 11	AC WMS 16
Minimalna i maksymalna zawartość wolnych przestrzeni	C.1.3, ubijanie, 2×75 ud.	PN-EN 12697-8, p. 4	$V_{min1,0}$ V_{max4}	$V_{min1,0}$ V_{max4}
Odporność na działanie wody	C.1.1, ubijanie, 2×25 ud.	PN-EN 12697-12, kondycjonowanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 15°C	$ITSR_{80}$	$ITSR_{80}$
Odporność na deformacje trwałe: maksymalny przyrost koleiny, maksymalna proporcjonalna głębokość koleiny	C.1.20, wałowanie, $P_{98}-P_{100}$	PN-EN 12697-22, metoda B w powietrzu, PN-EN 13108-20, D.1.6, 60°C , 10 000 cykli	$WTS_{AIR0,10}$ $PRD_{AIR3,0}$	$WTS_{AIR0,10}$ $PRD_{AIR3,0}$
Sztywność	C.1.20, wałowanie, $P_{98}-P_{100}$	PN-EN 12697-26, 4PB-PR, temperatura 10°C , częstotliwość 10Hz	$S_{min14000}$	$S_{min14000}$
Odporność na zmęczenie	C.1.20, wałowanie, $P_{98}-P_{100}$	PN-EN 12697-24, 4PB-PR, temperatura 10°C , częstotliwość 10Hz	ϵ_6-130	ϵ_6-130

3.3 Asfalty modyfikowane

Asfalt modyfikowany nie jest nowym wynalazkiem. Już od najwcześniejszych lat stosowania asfaltu do budowy dróg dokonywane były eksperymenty z kauczukiem naturalnym w formie lateksu jako dodatku do asfaltu. Początki stosowania zostały opisane w literaturze już w 1900 roku. Natomiast informacje dotyczące modyfikowania smoły za pomocą kauczuku pojawiły się już w 1823 roku. Wraz z postępem w chemii polimerów nastąpiło przejście od modyfikowania asfaltu kauczukiem naturalnym w kierunku stosowania polimerów syntetycznych. Badania z polimerami syntetycznymi były prowadzone w USA, Włoszech i Japonii już w 1948 roku. Początkowo dotyczyły chloroprenu i kopolimeru styren/butadien. Obecnie zastosowanie kauczuku naturalnego straciło znaczenie. Spośród wielu polimerów syntetycznych dostępnych na rynku jedynie kilka znalazło zastosowanie do modyfikowania asfaltu. Oprócz modyfikacji elastomerem bazującej na kauczuku etylenowo-propylenowym (EPD) oferowany jest jedynie asfalt modyfikowany polimerem na bazie blokowego kopolimeru styren-butadien-styren (SBS). Równolegle na rynku znajdują się termoplastyczny polipropylen ataktyczny (APP), kopolimer etylenu z octanem winylu (EVA), kopolimer propylen-buten i polietylen niskiej gęstości [5].

Dzięki zastosowaniu polimeroasfaltów w warstwach konstrukcji można uzyskać szereg zalet w wykonanej nawierzchni. Przede wszystkim:

- Zmniejszona wrażliwość temperaturowa,
- Wyższa kohezja – zwiększona odporność na spękania,
- Poprawa adhezji asfaltu do kruszywa,
- Większa sprężystość asfaltu,
- Wyższa trwałość zmęczeniowa,
- Wyższa odporność na koleinowanie,
- Zmniejszenie efektu starzenia.

W polskich warunkach klimatycznych, w których występują szybkie spadki temperatury w zimie oraz długotrwałe upały w lecie, przedział Plastyczności asfaltu powinien być jak najszerszy, tak aby bezpiecznie objąć najwyższe i

najniższe temperatury. [6] Asfalt modyfikowany ma szerszy zakres stanu lepko-sprężystego. Oznacza to, że asfalt dłużej zachowa elastyczność w niskiej temperaturze i zacznie mięknąć w wyższej temperaturze niż zwykły asfalt. W praktyce ma to znaczenie przy zapobieganiu spękanom w zimie i pojawieniu się kolein w lecie [7].

Kohezja polimeroasfaltów w większości przypadków jest większa niż asfaltów zwykłych. Szczególnie widoczne jest to w niskich temperaturach. Podczas spadku temperatury, kiedy następuje kurczenie się powierzchniowej warstwy nawierzchni i istnieje zagrożenie jej pęknięcia, wykonanie tej warstwy z asfaltu modyfikowanego zmniejsza ryzyko spękań [7].

Adhezja asfaltu modyfikowanego do kruszyw poprawia się w różnym stopniu. W testach gotowania (adhezja bierna) notowane jest zwiększenie przyczepności od 10 do 80% [7].

Sprężystość ma przede wszystkim wpływ na deformacje nawierzchni (koleiny). W asfaltach modyfikowanych elastomerami tworzy się sieć, która nadaje asfaltowi właściwości sprężyste. Właściwość ta ma duże znaczenie w zapobieganiu spękanom. Po odciążeniu konstrukcji nawierzchnia szybciej wraca do swojego pierwotnego kształtu.

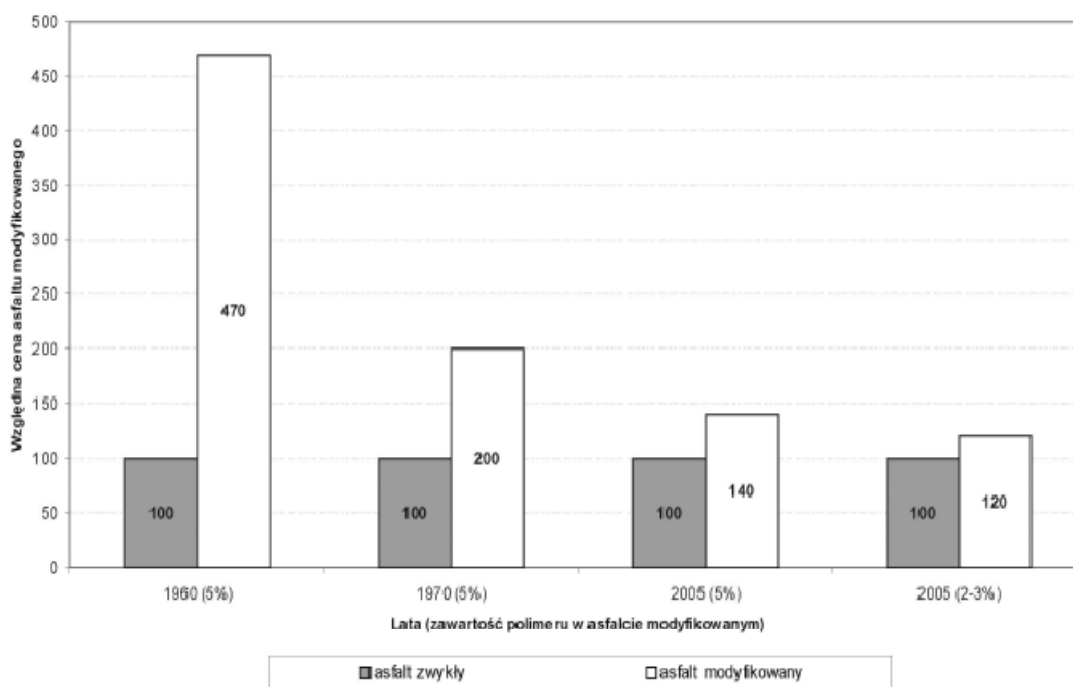
Zwiększona sprężystość i kohezja wpływają na trwałość zmęczeniową nawierzchni wykonanej z użyciem polimeroasfaltów. Podwyższona wytrzymałość na rozciąganie i sprężystość ograniczająca w znacznym stopniu ryzyko spękań powodują wydłużenie użytkowania nawierzchni. Przykładowo dla warstwy ścieralnej SMA wykonanej z zastosowaniem zwykłego asfaltu okres użytkowania wynosi 15 lat natomiast dla tej samej warstwy nawierzchni przy zastąpieniu zwykłego asfaltu polimeroasfaltem okres użytkowania wydłuża się do 18 lat [5].

Pomimo wyższych temperatur technologicznych wymaganych przy mieszaniu i pompowaniu mieszanki z asfaltami modyfikowanymi efekt starzenia jest mniejszy niż w asfaltach zwykłych. Wyższe temperatury

technologiczne związane są z właściwościami sieci jaką tworzą łańcuchy polimerów. Ich rozpad rozpoczyna się w temperaturze powyżej 100°C. W wysokiej temperaturze elastomery również pęcznieją zwiększając swoją objętość dziewięciokrotnie i zarazem pochłaniają część frakcji ciekłych asfaltu uniemożliwiając ich odparowanie. Dodatkowo dzięki większej lepkości polimeroasfaltów, grubość lepiszcza otaczającego kruszywo jest większa co również zmniejsza stopień starzenia [7].

Omawiając podstawowe właściwości asfaltów modyfikowanych jak dotąd skupiłem się na zaletach tego materiału. Jednak posiada on również wady, które sprawiają, że nie jest on powszechnie stosowanym lepiszczem.

Pierwszym i często decydującym czynnikiem o nie zastosowaniu polimeroasfaltu jest jego cena. Bardziej skomplikowany proces produkcji oraz dodatek modyfikatorów sprawiają, że mieszanki wykonane z użyciem zwykłego asfaltu są odczuwalnie tańsze tych, w których zastosowano asfalt modyfikowany. Tendencja ta jednak ulega zmianie. Bardziej wydajne technologie produkcji oraz zmniejszenie zawartości modyfikatorów spowodowały względny spadek ceny asfaltów modyfikowanych w stosunku do asfaltów zwykłych. W poniższej tabeli pokazano jak zmieniał się stosunek ceny tych dwóch materiałów.



Wykres 7. Porównanie cen asfaltu zwykłego i modyfikowanego na przestrzeni lat.

Źródło: *Asfalty modyfikowane w Niemczech, Drogownictwo 2/2006*

Cennik asfaltów modyfikowanych i zwykłych grupy Lotos z 2008 r:

Tabela 36. Porównanie cen asfaltu zwykłego i modyfikowanego na podstawie cennika firmy Lotos na dzień 29.10.2008 r.

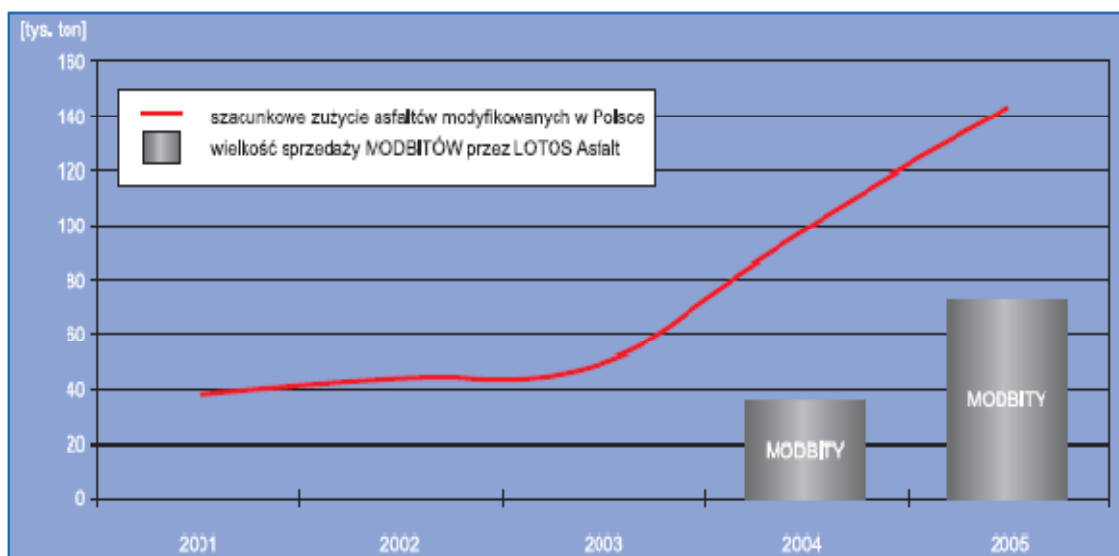
Źródło: http://www.lotos.pl/korporacyjny/grupa_kapitalowa/lotos_asfalt/strona/6878

Asfalty drogowe		
Rodzaj asfaltu	Masa	Cena (brutto)
20/30	Mg	1964,20
35/50	Mg	1921,50
50/70	Mg	1909,30
70/100	Mg	1952,00
Modbit 30 B	Mg	2372,90
Modbit 80 B	Mg	2360,70
Modbit 80 C	Mg	2592,50

Na podstawie powyższych danych stosunek ceny asfaltu modyfikowanego Modbit30B do 35/50 wynosi 1,23, natomiast asfaltu Modbit80B do 50/70 1,24.

Kolejnym problemem jaki można napotkać przy zastosowaniu asfaltu modyfikowanego koszt produkcji mieszanki i jej wbudowanie. Polimeroasfalty jak wiadomo mają większą lepkość i wyższą temperaturę mięknięcia. W czasie produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych należy zatem dostarczyć więcej energii w postaci ciepła, aby uzyskać odpowiednią konsystencję mieszanki. TemperatURY otaczania jak i pompowania są znacznie wyższe. Dodatkowym problem jest zagęszczanie mieszanki na budowie. Z podanych wyżej powodów mieszanka musi zostać przetransportowana i zagęszczona na budowie w wyższej temperaturze. Uzyskanie takich warunków po okresie letnim może być bardzo trudne, a w związku z tym zyski z zastosowania asfaltu modyfikowanego mogą być niewielkie.

Pomimo wyższych początkowych kosztów i utrudnionego wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych ich popularność ciągle rośnie, co obrazuje poniższy wykres.



Wykres 8. Wzrost sprzedaży modyfikowanych w Polsce.

Źródło: MODBIT-y– asfalty modyfikowane z LOTOS Asfalt, Autostrady 04/2006

Na wzrost sprzedaży asfaltów modyfikowanych mają wpływ następujące czynniki: spadek ich ceny względem asfaltów zwykłych, zmiany w przepisach narzucające wykonywanie nawierzchni o dużym obciążeniu z tego materiału, a także co raz większa ilość danych na temat oszczędności jakie można uzyskać stosując ten materiał. Wyższa odporność na odkształcenia w

nawierzchni powoduje redukcję kosztów utrzymania i remontów, co przy wysokich kosztach robót powoduje większą konkurencyjność asfaltu modyfikowanego. Zaczęto również szukać oszczędności stosując polimeroasfalty już w etapie projektowania. Dzięki użyciu lepiszcza modyfikowanego w warstwach konstrukcyjnych nawierzchni można zredukować ich grubość. Na podstawie niemieckich doświadczeń oszacowano, że:

Standardową konstrukcję składającą się z:

- 4 cm warstwa ścieralna z SMA 0/11 z asfaltem 50/70
- 8 cm warstwa wiążąca beton asfaltowy 0/16 z asfaltem 50/70
- 18 cm podbudowa beton asfaltowy 0/32 z asfaltem 50/70

W przypadku zastosowania asfaltu PMB45A możliwe jest zmniejszenie grubości warstwy o ok. 1cm. Zmniejszenie grubości warstwy o 5 cm jest możliwe, jeśli warstwa podbudowy wykonana jest z asfaltu modyfikowanego [5].

Bibliografia

- [1] Antoni Szydło Nawierzchnie drogowe z betonu cementowego. Teoria, wymiarowanie, realizacja, Polski Cement Sp. z o.o., Warszawa 2004
- [2] Piłat Jerzy, Radziszewski Piotr, Nawierzchnie asfaltowe, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2004
- [3] www.road.pl,
- [4] Luis Picado – Santos, Stiffness modulus and phase angle prediction models for high modulus asphalt concrete, Department of civil engineering, FCT, University of Coimbra, Portugal,
- [5] Drogownictwo 2/2006
- [6] www.bp.com.pl
- [7] Błazejowski Krzysztof, Styk Stanisław, Technologia warstw asfaltowych, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2004
- [8] Rozporządzenie ministra infrastruktury
- [9] Judycki Józef, Porównanie kryteriów zmęzeniowych do projektowania podatnych i półsztywnych nawierzchni drogowych w aspekcie nowego polskiego katalogu typowych konstrukcji, Drogownictwo 1/99
- [10] Alenowicz Jacek, Judycki Józef, Sybilski Dariusz, Szydło Antoni, Analiza nośności i trwałości przebudowy nawierzchni betonowej na przykładzie drogi Nr 4
- [11] Won Jun Woo i inni, Polymer modified asphalt durability in pavements, Texas Transportation Institute, lipiec 2007
- [12] PN-65/C-96170 Przetwory naftowe. Asfalty drogowe,
- [13] PN-74-S96022 Nawierzchnie samochodowe i lotniskowe – Nawierzchnie z betonu asfaltowego
- [14] Zeszyty nr 48,49,50 Informacje, instrukcje, IBDiM, 1995 r.
- [15] PN-S-96025:2000 „Nawierzchnie samochodowe i lotniskowe – Nawierzchnie asfaltowe. Wymagania”
- [16] Wymagania Techniczne Nawierzchnie Asfaltowe Na Drogach Publicznych (WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe 2008)
- [17] Modbity – asfalty modyfikowane z LOTOS asfalt, Autostrady 04/2006
- [18] Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych, Warszawa 1997

- [19] Katalog typowych konstrukcji podatnych i półsztywnych nawierzchni ulic, Warszawa 1990
- [20] The Shell bitumen Handbook fifth edition, Shell Bitumen
- [21] www.lotos.pl
- [22] J. Perret, M. Ould-Henia , A.-G. Dumont, High Modulus Pavement Design Using Accelerated Loading Testing (ALT), Laboratory of Traffic Facilities (LAVOC), Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne (EPFL), 3rd Eurasphalt & Eurobitume Congress Vienna 2004
- [23] Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowej o zwiększonej odporności na koleinowanie I zmęczenie (ZW-WMS 2007), Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2007