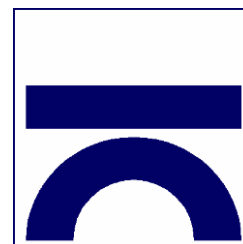


Instytut Badawczy Dróg i Mostów

Zakład Technologii Nawierzchni



TN-249: Nawierzchnie asfaltowe długowieczne i tanie w utrzymaniu

Zadanie 1

Analiza doświadczeń nawierzchni długowiecznych w świecie

Opracował:

Kierownik Zakładu
Technologii Nawierzchni

Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Warszawa, grudzień 2009 r.

Spis treści

1	Wprowadzenie	1
2	Koncepcja nawierzchni długowiecznej.....	2
2.1	Projekt COST 333.....	2
2.2	Projekt ELLPAG (FEHRL).....	4
2.3	Projekt FORMAT (FEHRL).....	5
2.4	Raport WRA (PIARC) 2007	5
2.5	Projekt OECD	6
3	Przykłady nawierzchni długowiecznej.....	6
3.1	Wielka Brytania	6
3.2	Francja	7
3.3	Dania.....	9
3.4	USA	10
4	Warunki uzyskania nawierzchni długowiecznej.....	11
4.1	Wielka Brytania	11
4.1.1	Warunki projektowania	11
4.1.3	Mechanizm uszkodzenia	12
4.1.4	Obciążenie ruchem.....	12
4.1.5	Wykonanie.....	13
4.1.6	Podsumowanie	13
4.2	USA	13
5	Polskie doświadczenia.....	19
5.1	Zmiany technologiczne w Polsce w ostatnich latach	19
5.2	Zasady wykonywania nawierzchni o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie w Polsce 20	
5.3	Nawierzchnia o zwiększonej trwałości według ZW-WMS 70	21
5.4	Zastosowanie AC WMS w WT-2	27
5.5	Obecne możliwości projektowania nawierzchni o zwiększonej trwałości	33
5.6	Idea warstwy antyzmęczeniowej i badania w pełnej skali w Polsce	33
6	Zakończenie.....	48

Załączniki:

1. Raport ELLPAG: Nawierzchnie podatne
2. Raport ELLPAG: Nawierzchnie półsztywne
3. Raport PIARC: Nawierzchnie długowieczne
4. Raport TRL 250: Projektowanie nawierzchni asfaltowych długowiecznych

1 Wprowadzenie

W 2004 r. w Drogownictwie [1] opisałem koncepcję nawierzchni drogowej długowiecznej i pierwsze próby jej wdrażania w Polsce. Koncepcja ta zyskuje w świecie coraz większe zainteresowanie inwestorów. Zwiększają się również doświadczenia i wiedza na ten temat.

Wzrastające się natężenie ruchu na autostradach krajów uprzemysłowionych i w miastach oraz wzrastające obciążenie pojazdów sprawiają, że z jednej strony nawierzchnie drogowe poddawane są coraz bardziej agresywnemu oddziaływaniu pojazdów, powodując często ich przedwczesne uszkodzenia, a z drugiej wzrasta oczekiwanie użytkowników na zmniejszanie utrudnień w ruchu, powodowanych niezbędnymi zabiegami utrzymaniowymi dróg. W coraz większym stopniu rośnie presja użytkowników na zarządców dróg, w wskutek tego i zainteresowanie tych ostatnich rozwiązaniami materiałowymi, projektowymi i technologicznymi, które zwiększą trwałość nawierzchni, ograniczając częstotliwość remontów i modernizacji. Poszukuje się **długowiecznych** nawierzchni drogowych.

Podstawową przyczyną poszukiwania nawierzchni długowiecznych jest znaczny wzrost natężenia ruchu i agresywności obciążenia dróg.

2 Koncepcja nawierzchni długowiecznej

Już w 1984 r. poradnik projektowania nawierzchni brytyjskiego TRRL [2] proponował 40 letni okres użytkowania nawierzchni asfaltowej, po jej wzmocnieniu w 20 roku eksploatacji. Przegląd projektów i stanu nawierzchni dróg w końcu lat 1990 w Wielkiej Brytanii (Leech, Nunn [3] oraz Nunn [4]) doprowadził do wniosku, że: *poprawnie zaprojektowana (i wybudowana) nawierzchnia asfaltowa, wykazująca rezerwę nośności (przewymiarowana) wykazuje bardzo długą trwałość, przy spełnieniu warunku, że uszkodzenia w postaci pęknięć i deformacji pojawiające się na powierzchni jezdni są systematycznie naprawiane, uprzedzając ich wpływ na strukturalną integralność nawierzchni*. Taką nawierzchnię określa się mianem *długowiecznej (long life)*.

Podobna koncepcja nawierzchni asfaltowych o przedłużonej trwałości pojawiła się ostatnio w USA. Nawierzchnię taką określono jako *wieczną nawierzchnię asfaltową (perpetual asphalt road pavement)* [5]. Trwałość nawierzchni długowiecznej ma wynosić co najmniej 50 lat.

W ostatnich latach przeprowadzono i prowadzone są nadal liczne prace badawcze dotyczące nawierzchni długowiecznych. W celu przeglądu dokonań w świecie podjęto także kilka ważnych prac studialnych, wśród których szczególną uwagę należy zwrócić na:

- projekt COST 333 "Development of a new bituminous pavement design method"
- projekt FEHRL ELLPAG "Making best use of Long-Life pavements in Europe"
- projekt UE FORMAT "Fully Optimised Road Maintenance"
- raport World Road Association (PIARC/AIPCR), TC C4.3, 2007.

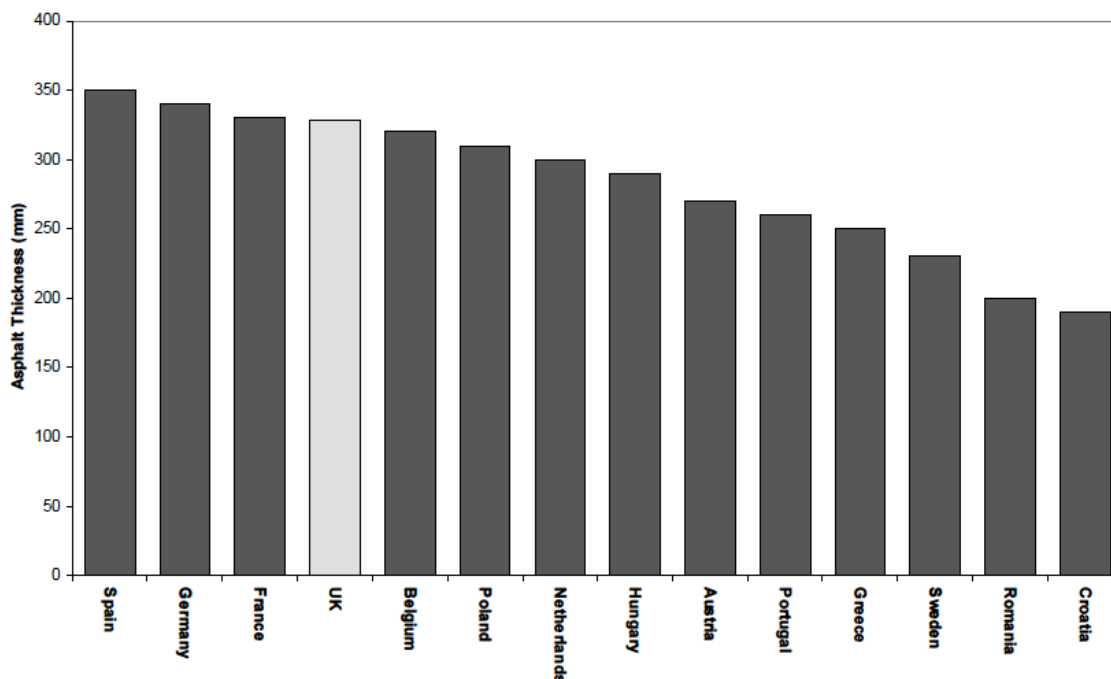
2.1 Projekt COST 333

Projekt COST 333 wykonany w 1999 r. nie dotyczył wprost nawierzchni długowiecznych. Jednak jego rezultaty są pomocne w pracach kolejnych projektów dotyczących tej dziedziny, np. zostały wykorzystane w Projekcie ELLPAG.

Projekt COST 333 zawiera szczegółowy przegląd metod projektowania nawierzchni podatnych i kompozytowych (półsztywnych) stosowanych w 22 krajach europejskich.

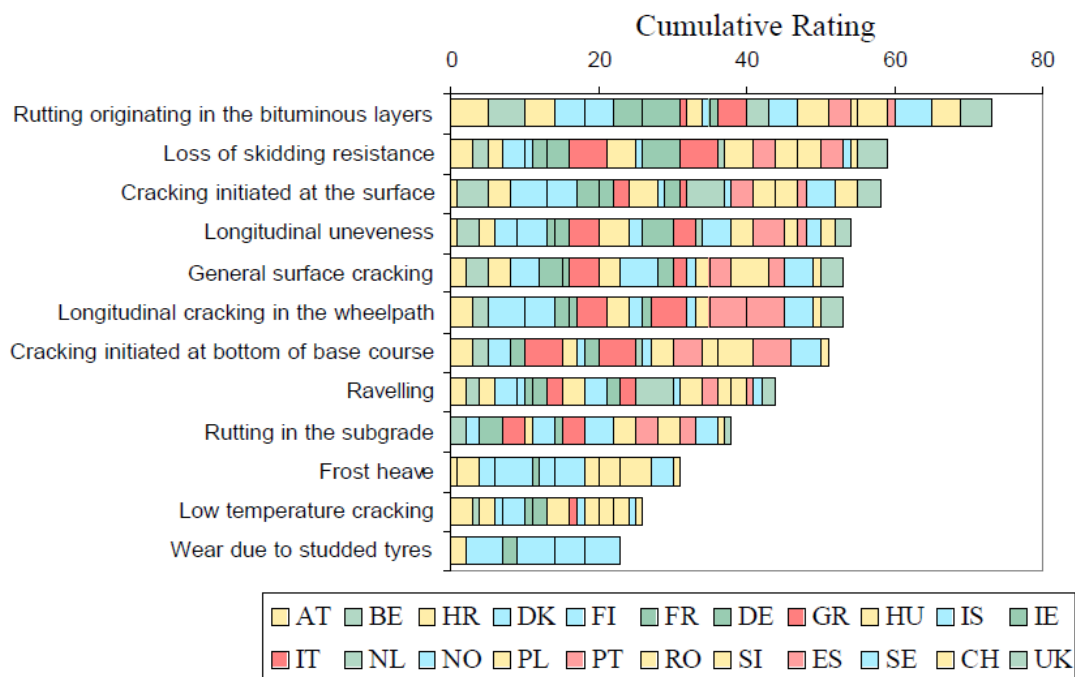
W zdecydowanej większości krajów europejskich nawierzchnie podatne i półsztywne projektuje się na 20 lat. Jedynie Rumunia i Francja stosuje alternatywnie okres obliczeniowy projektowania nawierzchni 15 lub 30 lat, odpowiednio.

Porównanie grubości nawierzchni projektowanej w krajach europejskich na ten sam przewidywany ruch 100 msa (80 kN) przedstawia Rysunek 1. Najbardziej oszczędne konstrukcje projektowane są w Chorwacji, Rumunii, Szwecji, a najbardziej bezpieczne (najgrubsze) w Hiszpanii, Niemczech i Francji. Polska jest w grupie krajów o bezpiecznych założeniach projektowania konstrukcji nawierzchni.



Rysunek 1. Grubość konstrukcji nawierzchni asfaltowej na prognozowany ruch 100 msa (80kN)

Interesujące jest też zestawienie uszkodzeń obserwowanych i dominujących w poszczególnych krajach europejskich w nawierzchniach asfaltowych. Najpowszechniejsze są deformacje trwałe warstw asfaltowych, a następnie utrata szorstkości, spękania inicjowane na powierzchni, nierówności podłużne, spękania powierzchniowe, spękania w śladzie kół. Zestawienie to wskazuje na dość powszechnie obserwowane spękania powierzchniowe, co potwierdza podstawową hipotezę w definicji nawierzchni długowiecznych, że odpowiednio grube konstrukcje nawierzchni nie wykazują spękań zmęczeniowych od dołu, lecz od góry.



Rysunek 2. Zestawienie obserwowanych uszkodzeń nawierzchni w krajach europejskich

2.2 Projekt ELLPAG (FEHRL)

W ramach projektu Europejskiego Forum Drogowych Laboratoriów Badawczych FEHRL Grupa Robocza ELLPAG kierowana przez brytyjskie laboratorium TRL (IBDiM jest reprezentowany był przez D. Sybilskiego i M. Graczyka) opracowano 3 raporty dotyczące nawierzchni długowiecznych prowadzi w ramach, w której. Prace tej grupy mają doprowadzić do powołania projektu europejskiego, którego celem będzie określenie wymagań materiałowych i konstrukcyjnych wobec *nawierzchni długowiecznej*, jak też zdiagnozowanie uszkodzeń i ich przyczyn oraz opracowanie scenariuszy utrzymania.

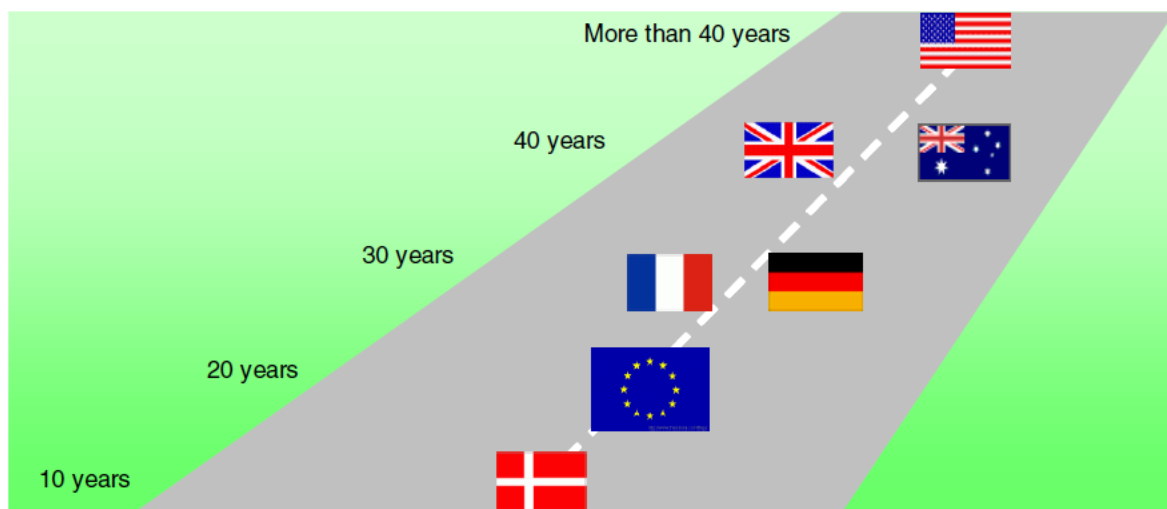
Definicja ELLPAG: Nawierzchnia długowieczna jest to nawierzchnia, która nie ulega istotnej degradacji w podbudowie, jeśli warstwa ścieralna nawierzchni jest właściwie utrzymywana [6].

Według tej definicji deformacje trwałe mogą pojawiać się w warstwie ścieralnej (nieuszkodzone pozostają warstwy asfaltowe wiążąca i podbudowa). Uszkodzenia zmęczeniowe (pęknięcia) są generowane w warstwie ścieralnej i propagują od góry do dołu.

Warunkiem uzyskania nawierzchni długowiecznej, konieczne jest jej poprawne zaprojektowanie i wybudowanie.

W stosunku do przeglądu w ramach COST 333 przegląd w ramach ELLPAG wykazał zmiany w niektórych krajach zwiększające okres projektowania nawierzchni asfaltowych (Rysunek 3). Zauważalna jest zmiana, która wynika z coraz większego zainteresowania nawierzchniami trwalszymi o mniejszej częstotliwości remontów, czyli nawierzchniami długowiecznymi. Kraje, w których przyjmuje się najdłuższy okres obliczeniowy projektowania nawierzchni asfaltowej to USA, Wielka

Brytania i Australia (40 lat), dalej Francja i Niemcy (30 lat)¹, pozostałe kraje europejskie przyjmują okres 20 lat, z wyjątkiem Danii (10 lat).



Rysunek 3. Okres obliczeniowy projektowania nawierzchni podatnych

W niektórych krajach już są stosowane nawierzchnie długowieczne, w których nie przewiduje się uszkodzeń strukturalnych. W innych w podobnych rozwiązaniach projektowych jednak przewiduje się uszkodzenia i wzmocnienia strukturalne nawierzchni. Zwykle wynika to z warunków klimatycznych lub zróżnicowania obciążenia ruchem. Wydaje się jednak, że wpływ na to ma także niepełne rozumienie istoty nawierzchni długowiecznej i obawa o przedwczesne uszkodzenia. Ogólnie potrzebne jest wdrożenie bardziej zaawansowanych metod oceny materiałów i projektowania konstrukcji nawierzchni.

2.3 Projekt FORMAT (FEHRL)

FORMAT poświęcony był zwiększeniu efektywności i bezpieczeństwa sieci drogowej przez ograniczenie liczby, zakresu i czasu trwania robót utrzymaniowych. Projekt był skoncentrowany także na związanych z tym opóźnieniach w ruchu i poniesionych kosztach użytkowników dróg. Aby osiągnąć cele, podstawowe aspekty planowania i wykonania robót utrzymaniowych powinny być zoptymalizowane w zintegrowanych procedurach. Cztery podstawowe problemy utrzymania dróg składają się na to: monitoring stanu nawierzchni, techniki utrzymania nawierzchni, bezpieczeństwo pracy i otoczenia drogi oraz analiza kosztowa.

2.4 Raport WRA (PIARC) 2007

W raporcie [7] przedstawiono przykłady nawierzchni długowiecznych asfaltowych podatnych i półsztywnych oraz betonowych wskazanych w wielu krajach na różnych kontynentach i opartą na nich analizę przyczyn ich długowieczności. Przykłady te określono mianem: *Success Stories*, czyli *Przykłady Sukcesu*. Warunkiem sukcesu jest analiza kosztów w całym okresie użytkowania (Whole Life Costing), która definiowana jest następująco: Proces oceny całkowitej wartości ekonomicznej użytecznego projektu z zastosowaniem analizy kosztów początkowych i zdyskontowanych przyszłych

¹ Uwaga DS.: należałoby dodać tu Polskę, uwzględniając Zeszyt 70 IBDiM „Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowej o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie” z 2007 r., w którym podano typowe konstrukcje nawierzchni projektowane na 20 lub 30 lat.

kosztów, takich jak koszty utrzymania, koszty użytkowników, przebudowy, remontu, wymiany warstwy ścieralnej w całym okresie użytkowania projektu.

2.5 Projekt OECD

Program badawczy OECD Long Life Pavements for Busy Roads [8] miał na celu wybór materiałów do warstwy ścieralnej nawierzchni długowiecznej. Z założenia przyjęto konstrukcję kompozytową złożoną z podbudowy cementowej i cienkiej warstwy ścieralnej.

Wybrano materiały zapewniające wyjątkowo długi okres trwałości nawierzchni:

- Cement o wysokiej wytrzymałości do warstwy podbudowy - *high performance cementitious materials (HPCM)*
- asfalt modyfikowany żywicą epoksydową (*epoxy asphalt*) do cienkiej warstwy ścieralnej.

Celem programu było opracowanie konstrukcji nawierzchni, wybór materiałów i przeprowadzenie badań laboratoryjnych oraz wykonanie odcinków testowych.

Założono, że (podobnie jak w innych koncepcjach długowiecznej nawierzchni) podbudowa ma zapewnić nośność i trwałość zmęczeniową prognozowaną na co najmniej 40 lat. Natomiast warstwa ścieralna ma zapewnić odpowiednie właściwości powierzchniowe – szorstkość, odporność na niską i wysoką temperaturę. W prognozowanym okresie użytkowania nawierzchni założono jedynie naprawy powierzchniowe.

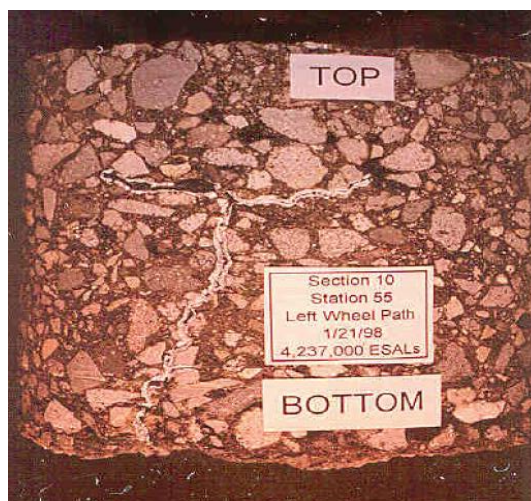
Należy zauważyć, że przyjęta koncepcja jest najdroższą z proponowanych w świecie. Jednak przeprowadzone analizy ekonomiczne wskazały, że nawet tak kosztowna konstrukcja nawierzchni jest opłacalna, jeśli uwzględnić koszty w całym okresie użytkowania, uwzględniając koszty straty czasu użytkowników.

3 Przykłady nawierzchni długowiecznej

3.1 Wielka Brytania

Jedne z pierwszych obserwacji i poszukiwań nawierzchni długowiecznych przeprowadzono w Wielkiej Brytanii. Stwierdzono, że grube nawierzchnie asfaltowe nie wykazują typowych uszkodzeń, które określają kryteria projektowania nawierzchni podatnych: spękania zmęczeniowe dół-góra i deformacje trwałe podłoża.

Zauważono, że w grubych nawierzchniach powstają pęknięcia zmęczeniowe inicjowane na powierzchni warstwy ścieralnej i propagujące w dół. Spękania te nie przenoszą się do warstwy wiążącej. Według Browna i in. [9] cienkie nawierzchnie (o łącznej grubości warstw asfaltowych do 160 mm) narażone są na inicjację pęknięć zmęczeniowych od dołu. W grubych nawierzchniach (o grubości powyżej 160 mm) spękania zmęczeniowe generowane są od góry.



Rysunek 4. Pęknięcie dół-góra w cienkiej nawierzchni



Rysunek 5. Pęknięcie góra-dół w grubej nawierzchni

To spostrzeżenie stało się powodem obszernych badań i opracowania zaleceń projektowania i budowy nawierzchni długowiecznych w Wielkiej Brytanii, co opisano w dalszej części niniejszego sprawozdania.

3.2 Francja

Najbogatsze doświadczenia stosowania konstrukcji nawierzchni, która może być uznana za długowieczną, zgromadzono we Francji. Nawierzchnie takie powstały jako efekt prac badawczych i współpracy administracji drogowej i przedsiębiorstw wykonawczych. Ich wdrożenie przemysłowe nastąpiło w latach 1980tych. Można więc stwierdzić, że rozwiązanie to poddane było wystarczającej

cezurze czasowej, jak też surowemu egzaminowi eksploatacyjnemu, zważywszy na wielkość natężenia ruchu we Francji i dopuszczalnemu obciążeniu osi 130 kN.

We Francji mieszanki o wysokim module występują w dwóch wariantach: do warstwy ścieralnej i wiążącej BBME oraz do warstwy podbudowy EME. Mieszanka BBME jest o uziarnieniu 0/10 lub 0/14 mm, w klasach 1, 2, 3, różniących się wymaganiami wobec odporności na koleinowanie, modułu sztywności i trwałości zmęczeniowej. Klasa 3 spełnia najostrzejsze wymagania. Mieszanka EME jest o uziarnieniu 0/10, 0/14 lub 0/20 mm i w dwóch klasach 1, 2. Mieszanka klasy 1 zawiera około 4,2% m/m, a klasy 2 około 5,6% m/m asfaltu. Mieszanki obu klas są równie odporne na deformacje, ale mieszanki klasy 2 są znacznie bardziej odporne na zmęczenie ze względu na dużą zawartość asfaltu. W ostatnim czasie raczej unika się zmniejszania zawartości asfaltu, aby nie pogarszać trwałości zmęczeniowej nawierzchni.

Jako lepszycze w mieszankach o wysokim module stosowany jest bardzo twardy asfalt o penetracji 10-20x0,1mm, asfalt z dodatkiem asfaltów lub twardy polimeroasfalt. W ostatnim czasie przechodzi się na polimeroasfalty ze względu na niebezpieczeństwo spękań. Stwierdzono pękanie niskotemperaturowe warstw z mieszanek EME, które przypisywane jest właściwościom asfaltu [10].

Wykonane we Francji badania porównawcze podbudów z tym samym twardym asfaltem o penetracji 25°C 14 0,1mm w mieszankach o składzie według norm francuskiej i brytyjskiej wykazały, że mieszanki francuskie o większej zawartości asfaltu mają wyraźnie większą odporność zmęczeniową przy porównywalnej sztywności i odporności na deformacje. Sztywność tych mieszanek była natomiast znacznie większa niż klasycznej podbudowy brytyjskiej z asfaltem o penetracji 100 [11].

Najmniejszy moduł sztywności francuskich mieszanek EME w 15°C, 10Hz, wynosi 14 000 MPa. Uzyskiwane są praktycznie wartości rzędu 20 000 MPa, zwłaszcza gdy stosowana jest modyfikacja asfaltem. Pod względem sztywności materiał taki jest porównywalny z podbudową stabilizowaną cementem lub z żużla stalowniczego [12]. W porównaniu do klasycznego betonu asfaltowego do warstwy wiążącej lub podbudowy moduł sztywności jest około 1,5-3 razy większy.

Wysoki moduł sztywności mieszanek EME może być uzyskany również z kruszywem gorszej jakości, tj. można kruszywo łamane zastąpić kruszywem naturalnym (we Francji do warstwy ścieralnej wymaga się 100% kruszywa łamanego, a do warstwy podbudowy co najmniej 60%) [13]. Nie pogarsza to wartości konstrukcyjnej, ani odporności na koleinowanie warstwy podbudowy lub wiążącej. Stosowanie asfaltów specjalnych, wielorodzajowych i polimeroasfaltów (uzasadnione to jest trwałością zmęczeniową, sztywnością oraz odpornością niskotemperaturową i kohezją²).

Warstwy podbudowy o wysokim module sztywności mają jeszcze i tę zaletę, że pozwalają na zmniejszenie grubości konstrukcji nawierzchni bez zmniejszania jej trwałości zmęczeniowej. Zwiększenie sztywności podbudowy 5 razy zwiększa trwałość zmęczeniową konstrukcji nawierzchni (liczbę obciążeń do zniszczenia) od 5 do 10 razy.

Przykładowo: łączna grubość nawierzchni drogi TC8₃₀ (projektowanej na 30 lat na liczbę osi 130 kN ponad 75 mln) na podłożu PF3 w konstrukcji tradycyjnej z mieszankami GB wynosi 46 cm, a w konstrukcji z warstwami z mieszanek betonu asfaltowego o wysokim module sztywności EME wynosi 31 cm.

² Przestrożą przed stosowaniem twardego, zwykłego asfaltu są problemy, jakie pojawiły się na odcinkach takich nawierzchni w Wielkiej Brytanii – przedwczesne spękania zmęczeniowe. Badania wykazały inny charakter reologiczny użytych asfaltów brytyjskich niż specjalnych asfaltów francuskich

3.3 Dania

Sieć autostrad duńskich ma obecnie łączną długość 1015 km. Obserwacje i badania stanu nawierzchni wykonane w 2001 wykazały ich dobry stan po latach eksploatacji. Nawet nawierzchnie po 30-stu latach eksploatacji wykazują dobry stan konstrukcji. Nie zauważa się klasycznych szkód (spękań) zmęzeniowych. Zauważalne są spękania w warstwie ścieralnej, jak również spękania poprzeczne, odbite w nawierzchniach półsztywnych.

Jako nawierzchnię długowieczną wytypowano nawierzchnię obwodnicy Kopenhagi M3 [14]. Została ona wybudowana w latach 1966 – 1987. Poszczególne odcinki tej autostrady była budowane w różnym czasie i w różnych technologiach i według różnych projektów. Spośród różnych konstrukcji jako długowieczną wskazano odcinek nawierzchni półsztywnej wybudowany w 1977 r. Po niemal 30-stu latach eksploatacji nawierzchnia jest w dobrym stanie, a podstawowym uszkodzeniem są spękania poprzeczne odbite. Konstrukcja nawierzchni jest następująca:

- 40 mm warstwa ścieralna, Hot Rolled Asphalt
- 80 mm warstwa wiążąca, beton asfaltowy
- 200 mm warstwa podbudowy stabilizowanej cementem
- 450 mm podbudowa niezwiązana, żwirowa.

Projektowane obciążenie ruchem 10 mln osi 10 t w 20 lat. Obciążenie rzeczywiste w latach 1978 – 2004 30 mln osi 10 t.



Rysunek 6. Odwierty z nawierzchni półsztywnej M3 obwodnica Kopenhagi, Dania

W Danii jako nawierzchnie długowieczne wskazuje się nawierzchnie podatne i półsztywne. Nieudane są doświadczenia w stosowaniu nawierzchni betonowych.

3.4 USA

W USA Federalna Administracja Drogowa FHWA i Stowarzyszenie Nawierzchni Asfaltowych APA podjęły akcję poszukiwania nawierzchni długowiecznych. Kryteria oceny są następujące:

1. Nawierzchnia eksploatowana co najmniej 35 lat bez przebudowy i remontu (przed 2004 rokiem ten okres wynosił 30 lat).
2. Wskazany odcinek drogi musi być nie krótszy niż 5 mil (8 km). W wypadku lotnisk ocenie podlega droga startowa.
3. Grubość wykonanej nakładki warstwy asfaltowej może wynosić nie więcej niż 4 cale (100 mm), z wyjątkiem wzmocnień przewidzianych projektem.
4. Co najmniej średnio 13 letni okres między kolejnymi nakładkami warstwy ścieralnej (początkowo przed 2004 r. okres ten wynosił 12 lat).

Nagroda wręczana jest agencjom stanowym corocznie. Stany wyróżnione tą nagrodą co najmniej raz pokazuje Rysunek 7 (kolor żółty). Dotychczas wyróżniono 22 stany. Kolorem zielonym oznaczone są stany podejmujące działania w celu projektowania i budowy nawierzchni długowiecznych. Kolorem mieszanym zaznaczono stany spełniające oba warunki.

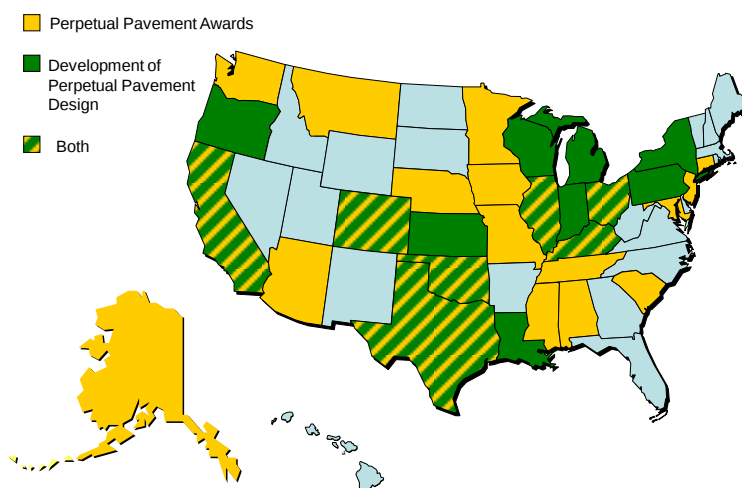


Figure 1. Perpetual Pavement Activities in the U.S.

Rysunek 7. Nawierzchnie długowieczne w USA

Niektóre z nagrodzonych dróg z nawierzchnią długowieczną wyróżniają się szczególnie długimi odcinkami, np. New Jersey Turnpike o długości 118 mil (190 km) lub odcinek I-90 w Stanie Waszyngton o długości 87 mil (140 km).

Tabela 1. Nawierzchnie długowieczne w USA o obciążeniu ruchem co najmniej 20 mln osi 10 t (ESAL)

Klimat	Stan	Droga	Rok otwarcia	Liczba pasów ruchu	Szacowana liczba mln osi	Konstrukcja nawierzchni			Okres między nakładkami, lat
						HMA* cale.	GB** cale.	GSB*** cale.	
Zimny- Wilgotny	CT	I-95	1964	4	40	10.5	6		19.5
	IO	I-80	1963	4	37	21.5	6		19

	KY	Jackson Pkwy	1968	4	23	9.5	13****		22
	MD	I-95	1963	6	45	11	4		21
	NJ	NJ Turnpike	1951	4	27	12.5	6		12
Zimny-Suchy	OK	I-40	1961	4	30	8.5	8	6	13
	WA	I-90	1967	4	31	12	4		15
Ciepły- Wilgotny	CA	Santa Clara Central Expwy #3	1969	4	33	5.5	8****	8	17
	MS	I-59	1966	4	37	16.5	5	6	19.5
	TN	I-181	1969	4	30	15.5	8		17
	TN	I-24	1967	4	22	16	8		17
	TN	I-65	1967	4	25	17	8		17

HMA* - mieszanka mineralno-asfaltowa, GB** - podbudowa mineralna, GSB*** podbudowa pomocnicza niezwiązana, ****Podbudowa stabilizowana cementem

4 Warunki uzyskania nawierzchni długowiecznej

4.1 Wielka Brytania

Warunki projektowania nawierzchni asfaltowych długowiecznych określa w Wielkiej Brytanii Raport TRL 250 [15]. Raport ten przygotowano na podstawie obszernych obserwacji nawierzchni drogowych w Wielkiej Brytanii i badań laboratoryjnych.

Okres obliczeniowy nawierzchni długowiecznej określono na 40 lat. Warunek ten sformułowano w UK już w 1984 r. Stwierdzono, że jest to minimalny optymalny okres trwałości nawierzchni, uwzględniając koszty budowy i utrzymania oraz koszty użytkowników.

4.1.1 Warunki projektowania

Mechaniczne właściwości i reakcja materiałów drogowych pod obciążeniem ruchem pojazdów są zbyt skomplikowane, aby mogły być precyzyjnie i szczegółowo modelowane³. Mechanistyczne metody projektowania konstrukcji powinny być w tym celu opracowane. Powszechnie stosowana analityczna metoda projektowania opiera się na modelu warstw sprężystych, który nie oddaje rzeczywistych właściwości materiałów i nawierzchni.

Posługując się stosowaną metodą analityczną, wyznacza się odkształcenia i naprężenia w wybranych krytycznych punktach konstrukcji w celu jej zaprojektowania do określonych warunków obciążenia. Dopuszczalne wartości są określone na podstawie obliczeń odwrotnych naprężenia i odkształcenia w istniejących nawierzchniach, które według obserwacji uznano za długotrwałe. Takie podejście zapewnia, że opracowana metoda projektowania daje realistyczną prognozę warunków podobnych do tych, w jakich była opracowana, jak również zapewnia racjonalną procedurę adaptacji projektowania do nowych wymagań i do użycia doskonalszych materiałów.

Aby uzyskać oczekiwaną trwałość użytkową, droga musi właściwie zaprojektowana i zbudowana z zastosowaniem materiałów o dobrej jakości zapewniając, że potencjalne problemy nie zostały wbudowane w drogę oraz, że nawierzchnia spełnia kryteria trwałości. Wśród nich najważniejsze to:

- droga musi być zdolna do przeniesienia ruchu bez nadmiernej deformacji
- warstwy asfaltowe nie powinny pękać pod obciążeniem ruchem oraz pod wpływem klimatu

³ Uwaga DS.: Od czasu publikacji Raportu 250 w 1997 r. nastąpił znaczny postęp wiedzy o materiałach drogowych i modelowaniu nawierzchni drogowej. Bez wątpienia sformułowanie podane w TRL 250 obecnie jest znacznie mniej adekwatne do stanu wiedzy.

- c. obciążenie powinno być rozłożone i przejęte przez podbudowę niezwiązaną i warstwę wzmocnionego podłoża gruntowego, które muszą być do tego zdolne
- d. warstwa ścieralna musi zapewnić użytkownikowi równość i dobrą szorstkość.

Po wybudowaniu nawierzchni długowiecznej jej stan powinien być regularnie monitorowany, a każde uszkodzenie powinno być naprawiane, aby zapobiec pogłębianiu uszkodzenia do warstw nośnych i pogarszania nośności nawierzchni.

4.1.2 Mechanizm uszkodzenia

Klasyczny mechanizm uszkodzeń nawierzchni asfaltowej polega na pojawieniu się drobnych spękań zmęczeniowych w spodzie warstw asfaltowych wskutek wielokrotnego obciążenia pojazdami. Rozwój tego uszkodzenia polega na propagacji spękań z dołu w górę do powierzchni nawierzchni. Drugim uszkodzeniem jest odkształcenie trwałe podłoża gruntowego.

Obszerne informacje uzyskane z obserwacji i badań terenowych (w tym długotrwałych badań ugięciomierzem dynamicznym) licznych dróg dużym obciążeniu w UK wskazały, że wiele z dróg nie wykazywało tego typu klasycznych uszkodzeń. Nie stwierdzono konwecjonalnego zmęczenia podbudowy lub deformacji trwałych podłoża gruntowego w wypadku dobrze wybudowanych nawierzchni podatnych. Zaobserwowano natomiast deformacje trwałe i spękania inicjowane w warstwach ścieralnych, które, jeśli są odpowiednio naprawione, nie stanowią zagrożenia warstwie nośnych nawierzchni.

Jednym z kluczowych odkryć prac badawczych było stwierdzenie, że zmiany zachodzące w asfalcie w długim czasie użytkowania nawierzchni są decydujące w zrozumieniu zachowania nawierzchni. Zmiany te, określone tu jako *dojrzewanie*⁴, mogą wyjaśnić, dlaczego nie pojawia się klasyczny mechanizm uszkodzeń oraz dlaczego, jeśli nawierzchnia jest wybudowana ponad pewien minimalny próg nośności (wytrzymałości), powinna mieć ona bardzo długi, choć nieokreślony, okres trwałości. *Dojrzewanie* asfaltu (powszechnie określane starzeniem) powoduje utwardzenie asfaltu, które jest przyczyną utwardzenia warstwy asfaltowej w nawierzchni. Wzrost sztywności podbudowy asfaltowej powoduje zmniejszenie w czasie odkształcenia generowane pod obciążeniem pojazdem w podbudowie asfaltowej nawierzchni, co zmniejsza szkodę zmęczeniową i możliwość deformacji trwałej podłoża.

Z tego powodu nawierzchnia drogowa jest bardziej narażona na strukturalne uszkodzenia w początkowym okresie użytkowania, zanim dojrzewanie zwiększy strukturalną wytrzymałość materiału. Jeśli nawierzchnia jest zaprojektowana i wybudowana z wystarczającą wytrzymałością, aby uniknąć strukturalnego uszkodzenia w początkowym okresie użytkowania, to dojrzewanie asfaltu może zwiększyć sztywność podbudowy asfaltowej dwukrotnie w pierwszych kilku latach użytkowania, co istotnie poprawia ogólną odporność na zmęczenie i deformacje trwałe podłoża. Poprawa nośności nawierzchni określona w badaniach ugięć potwierdziła powyższe stwierdzenie.

4.1.3 Obciążenie ruchem

Dotychczasowy okres obliczeniowy do projektowania konstrukcji nawierzchni w UK wynosił 20 lat. Stwierdzono, że odpowiednio grube nawierzchnie, których prognoza trwałości pozwala na przewidywanie zdolności przeniesienia 80 msa (milionów osi standardowych 80 kN) mogą być uznane za nawierzchnie długotrwałe.

⁴ Uwaga DS.: Należy zwrócić uwagę, że nie użyto tu terminu „starzenie”

4.1.4 Wykonanie

Niezwykle ważnym aspektem jest oczywiście dobór materiałów i jakość wykonania nawierzchni. Zwłaszcza zwrócono uwagę na problemy, jakie pojawiały się wskutek niedostatecznego zagęszczenia warstwy. Niedogęszczenie warstwy powoduje pogorszenie jakości (nośności) całej konstrukcji nawierzchni.

4.1.5 Podsumowanie

1. Dobrze zaprojektowana nawierzchnia asfaltowa wybudowana powyżej progu wytrzymałości będzie miała długi okres użytkowania.
2. Uszkodzenie takich nawierzchni jest ograniczone do warstw powierzchniowych i ujawnia się w postaci spękań i deformacji.
3. Zmęczenie i deformacje strukturalne w podłożu są rzadkie w takich nawierzchniach.
4. Dobre praktyki wykonawcze i materiałowe są wymagane do zapewnienia długowieczności nawierzchni. Ponadto, należy regularnie monitorować i naprawiać powierzchniowe uszkodzenia, aby zapobiec ich wpływowi na integralność konstrukcji nawierzchni.
5. Strukturalne właściwości podbudowy asfaltowej istotnie zmieniają się czasie eksploatacji nawierzchni. *Dojrzewanie* asfaltu przynosi efekt w postaci ogólnej poprawy zdolności podbudowy do przeniesienia obciążenia, które może być wyjaśnieniem, dlaczego grubsze konstrukcje wykazują większą trwałość.

Raport TRL 250 przedstawia szczegółowo nowe rozwiązania doboru materiałów, projektowania konstrukcji nawierzchni długowiecznych w porównaniu do dotychczasowych, klasycznych. Należy też podkreślić, że nowe zasady opisane powyżej wprowadziły istotne zmiany w doborze materiałów do budowy nawierzchni długowiecznych z UK. W końcu lat 1990-tych wdrożono stosowanie betonu asfaltowego o wysokim module sztywności do warstwy podbudowy (High Modulus Base HMB). Zastosowano twarde asfalty o penetracji 15, 25, zamiast dotychczas powszechnie stosowanego pen 50. Wdrożono powszechnie cienkie warstwy ściernalne, których technologie i projektowanie jest własnym rozwiązaniem firm drogowych. Wdrożono także stosowanie SMA.

Nawierzchnia długowieczna najogólniej nie zachowuje się w taki sam sposób, jak nawierzchnia klasyczna, np. ugięcia zmniejszają się zamiast zwiększa się, spękania pojawiają się na powierzchni zamiast w spodzie warstwy podbudowy, a deformacje trwałe pojawiają się na powierzchni, a nie w podłożu gruntowym. Dlatego, jeśli spękania powierzchniowe zostaną naprawione i zapobiegnie się ich propagacji do warstwy podbudowy asfaltowej, nawierzchnia może być długowieczną o trwałości znacznie przekraczającej prognozę według obecnych, klasycznych metod oceny. Te zmiany wymagają skorygowania dotychczasowych metod diagnozowania nawierzchni i prognozowania jej trwałości. Mimo, że ugięcie będzie nadal pełniło istotną rolę w identyfikacji problemów strukturalnych w nawierzchni, to prognoza pozostałej trwałości oraz projektowanie wzmocnienia nawierzchni wymaga rewizji i dostosowania do wymagań oceny nawierzchni długowiecznej.

4.2 USA

W USA zainteresowanie nawierzchniami długowiecznymi trwa od kilku lat. Zaangażowane są administracje drogowe federalna i stanowe, instytucje naukowe oraz stowarzyszenia wykonawców. Powodem jest poszukiwanie trwalszych nawierzchni w celu zmniejszenia uciążliwości napraw dla użytkownika dróg oraz kosztów administracji w długim czasie użytkowania i kosztów straty czasu użytkownika.

D'Angelo i in. [16] podają, że w czasie od 1907 do 1998 natężenie ruchu w USA wzrosło 130%. Średniodobowe obciążenie wzrosło 580%. Wzrost przeciętnego obciążenia pojazdu ciężkiego wzrasta rocznie o 2,7%. Warunki uzyskania nawierzchni długowiecznej autorzy określają następująco:

- trwałość konstrukcji co najmniej 50 lat
- projekt konstrukcji nawierzchni (od dołu): pełna nawierzchnia asfaltowa (Full Depth Asphalt)⁵, warstwy asfaltowe podbudowy są o dużej zawartości asfaltu, zapewnienie odwodnienia
- trwałość zmęczeniowa jest nieskończona, ograniczające kryteria odkształcenia
- odnawialna warstwa ścieralna
- duża odporność na deformacje trwałe warstwy ścieralnej wykonanej z SMA lub asfaltu porowatego
- projekt dostosowany do specyficznych zastosowań
- trwała, równa i bezpieczna powierzchnia
- zmniejszone koszty utrzymania i przebudowy.

Podstawowe warunki projektowania i budowy:

- innowacyjne projektowanie konstrukcji długowiecznej nawierzchni
- nowe materiały i metody ich oceny
- nawierzchnia trwalsza (mniejsze uszkodzenia) i zabiegi utrzymaniowe o zmniejszonej uciążliwości dla użytkowników dróg i o zwiększonym bezpieczeństwie warunków pracy
- innowacyjne warunki kontraktowe
- technika oceny stanu nawierzchni.

Doświadczenia zgromadzone w Wielkiej Brytanii i USA doprowadziły do określenia następujących kryteriów projektowania nawierzchni długowiecznych [17]:

- łączna grubość warstw asfaltowych > 21 cm
- Odkształcenie rozciągające w spodzie warstw asfaltowych < 65µε (Monismith, Von Quintus, Nunn, Thompson)
- Odkształcenie ściskające na powierzchni podłoża gruntowego < 200µε (Monismith, Nunn)
- Stabilne podłoże
- Zminimalizowany wpływ zmian klimatycznych na podłoże gruntowe
- Niższe warstwy asfaltowe odporne na zmęczenie
- Wyższe warstwy asfaltowe odporne na koleinowanie.

Wpływ na trwałość konstrukcji:

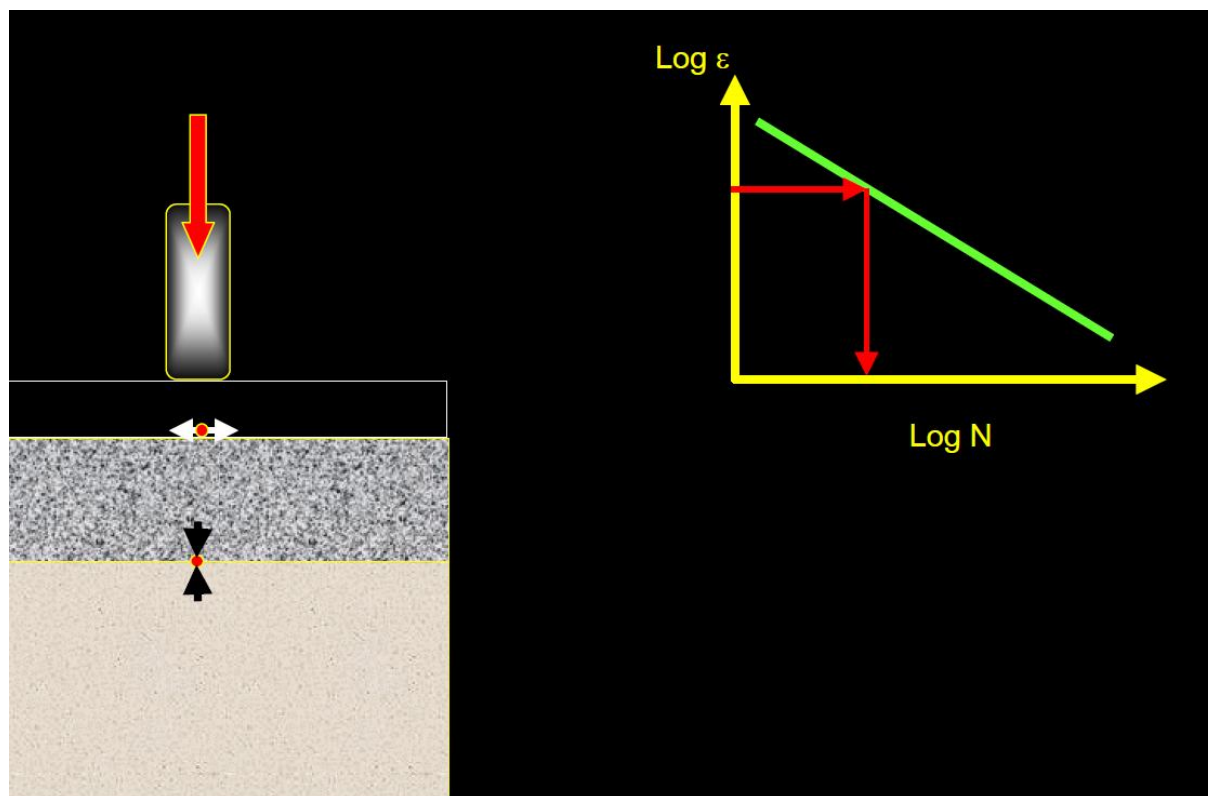
- różnorodność obciążenia osi pojazdu - największy wpływ
- zmienność grubości i modułu sztywności – mały wpływ
- grubość warstw asfaltowych ma logarytmiczny wpływ na przyrost uszkodzenia.

Autorzy wskazują na potrzebę:

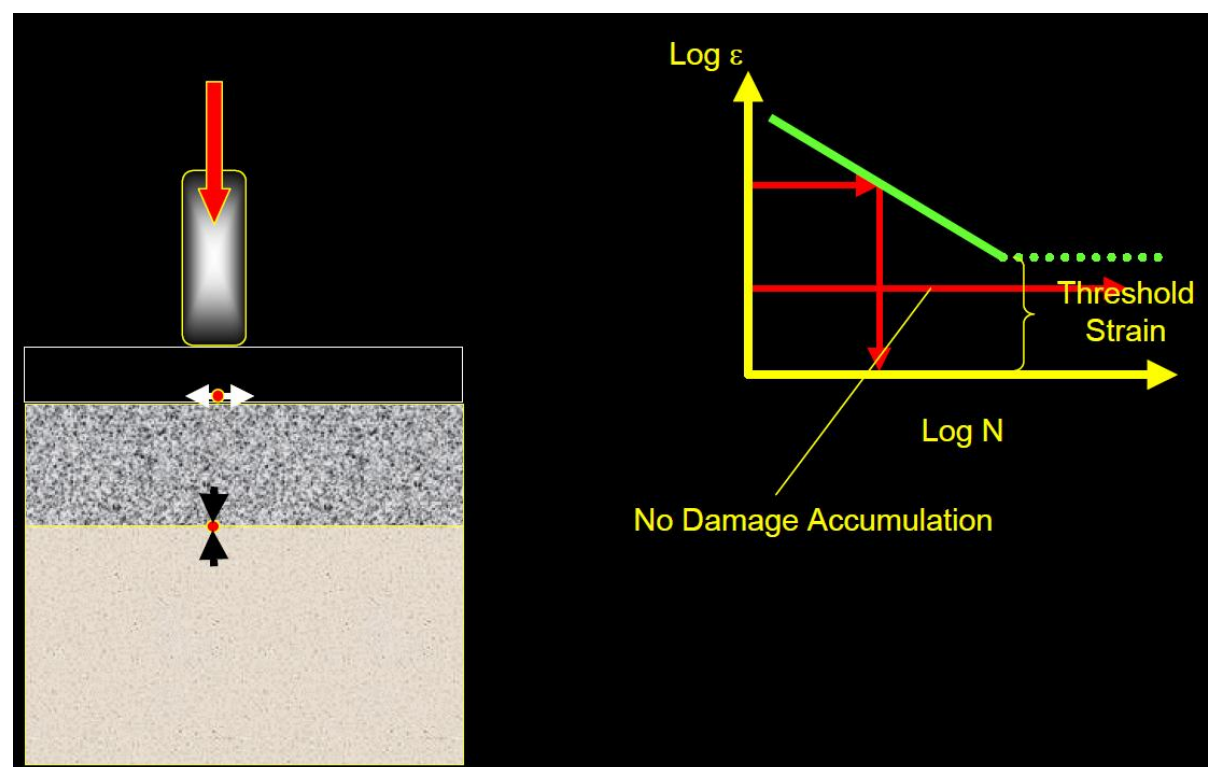
- użycia reprezentatywnego widma obciążenia
- zbadania wpływu zastosowania kryterium zmęczenia według hipotezy Minera przy wskaźniku $D = 0,1$
- określenia kryteriów progowych.

Rysunki poniżej przedstawiają różnicę między zasadami projektowania konstrukcji tradycyjnej i długowiecznej nawierzchni asfaltowej. Według wcześniejszych badań sformułowano hipotezę, że długowieczna nawierzchnia asfaltowa wykazuje przy odpowiedniej grubości całej konstrukcji próg wartości odkształcenia w spodzie warstw asfaltowych (threshold strain), co powoduje brak przyrostu uszkodzenia zmęczeniowego nawierzchni mimo przyrostu liczby obciążeń (Rysunek 9).

⁵ Uwaga DS.: Full Depth Asphalt to nawierzchnia, w której na podłożu gruntowym bezpośrednio położona jest warstwa asfaltowa podbudowy, a wszystkie warstwy nawierzchni są asfaltowe



Rysunek 8. Typowe zasady projektowania konstrukcji nawierzchni asfaltowej



Rysunek 9. Zasady projektowania konstrukcji długowiecznej nawierzchni asfaltowej

Thomas i in. [18] poddali analizie materiały do zastosowania w podbudowie nawierzchni długowiecznej. Określili, że dobór materiałów powinien uwzględniać warunki środowiskowe oraz dostępność materiałów miejscowych⁶. Wśród materiałów możliwych do zastosowania wymieniono:

- podbudowa mineralna z kruszywa recyklowanego lub świeżego
- rozkruszone płyty nawierzchni betonowej (rubblizing)
- przetworzone i zagęszczone podłoże gruntowe
- chemicznie związane podłoże gruntowe.

Uwzględniając warunki miejscowe i klimatyczne, należy odpowiednio zaprojektować odwodnienie podłoża i podbudowy. Tabela 2 ilustruje zmienność warunków gruntowych, która powinna być uwzględniona w projektowaniu konstrukcji nawierzchni.

Tabela 2. Współczynniki sezonowe warstw niezwiązanych nawierzchni do analizy konstrukcji nawierzchni metodą mechanistyczno-empiryczną (warunki stanu Minnesota, USA)

Warstwa	Marzec	Kwiecień, Maj	Czerwiec, Lipiec, Sierpień	Wrzesień, Październik, Listopad (początek)	Listopad (koniec), Grudzień, Styczeń, Luty
Podbudowa mineralna niezwiązana	0,65	0,8	1,0	1,0	28*
Podłoże gruntowe	2,4	0,75	0,75	1,0	22*

*W stanie nawilgoconym zamarzniętym

W podsumowaniu autorzy stwierdzają, że:

- w projektowaniu i budowie nawierzchni asfaltowej długowiecznej należy zadbać o właściwe przygotowanie podłoża gruntowego i podbudowy
- właściwy projekt i wykonanie podbudowy są krytyczne dla nawierzchni długowiecznej
- projektowanie konstrukcji nawierzchni zmierza w kierunku metody mechanistycznej
- moduły poszczególnych warstw są danymi wejściowymi do projektu
- wartości modułów mogą być oznaczone w laboratorium i potwierdzone w badaniach terenowych.

Niektóre agencje określają wymagania wytrzymałościowe podłoża i jego moduł. Potrzebne są dalsze badania w tej dziedzinie w celu ustalenia racjonalnych wymaganych właściwości mechanicznych podłoża. Zmiany sezonowe modułu podłoża są nieuniknione, zwłaszcza w strefach przemarzania, i muszą być uwzględnione w projektowaniu.

Istotne cele projektowania nawierzchni długowiecznej to:

- zmniejszenie całkowitych kosztów budowy i eksploatacji
- zmniejszenie kosztów straty czasu użytkownika
- wyższe koszty początkowe są inwestycją w system drogowy, którego przyszłe koszty użytkowania są minimalizowane

⁶ Uwaga DS.: należy zwrócić uwagę na typowo amerykańskie, racjonalne podejście, że przede wszystkim należy wykorzystać dostępne materiały miejscowe (naturalne i sztuczne)

- łączne koszty w całym okresie budowy i użytkowania są mniejsze niż koszty konwencjonalnej nawierzchni.

Doświadczenia wskazują, że nawierzchnia kompozytowa (półsztywna) jest dobrym kandydatem do uzyskania długowieczności. Obserwacje w wielu krajach wykazały, że wiele z tych nawierzchni wykonanych przed kilkudziesięciu laty były trwalsze niż przewidywano w ich projektowaniu i przewidywaniu okresu eksploatacji. Ponieważ wykonano je przed wdrożeniem technik zapobiegania spękanom w takich nawierzchni, jaki stosowane są obecnie, podstawowym uszkodzeniem nawierzchni półsztywnych są spękania odbite. Spękania te nie są szkodliwe, jeśli nawierzchnia je odpowiednio utrzymywana, w tym wypadku powstałe pęknięcia warstwy ścieralnej są uszczelniane. Wówczas nie ma niebezpieczeństwa przenikania wody do podbudowy cementowej i uszkodzeń powodujących lokalne osłabienie nośności nawierzchni.

Zastosowanie współczesnych technik nacinania z zalecaną częstotliwością od 2 do 3 m skutecznie zmniejsza ryzyko powstania spękań odbitych w warstwie ścieralnej. Wówczas powstałe szczeliny są o małym rozwarciu, co zapewnia współpracę płyty i transfer obciążenia między płytami. Jest to potwierdzane w badaniach ugięć FWD.

Wśród metod zapobiegania spękanom odbitym w konstrukcjach półsztywnych należy wymienić:

- inicjację dylatacji w podbudowie cementowej
- membrany przeciwspekaniowe
- siatki szklane, węglowe i metalowe zbrojące nawierzchnię.

Przegląd lokalizacji nawierzchni długowiecznych w USA wskazuje, że istotnym czynnikiem jest klimat. Najbardziej sprzyjający jest klimat oceaniczny, który zapewnia umiarkowaną temperaturę i gradient temperatury. Gorsze warunki klimatyczne istnieją pod tym względem w klimacie kontynentalnym.

Przyczyny spękań góra – dół podaje się następujące:

- Duże naprężenie ścinające pod krawędzią koła pojazdu
- Ścinanie na powierzchni pod kołem
- Starzenie asfaltu na powierzchni⁷
- Spękania zainicjowane podczas zagęszczania walcem
- Tekstura powierzchni.

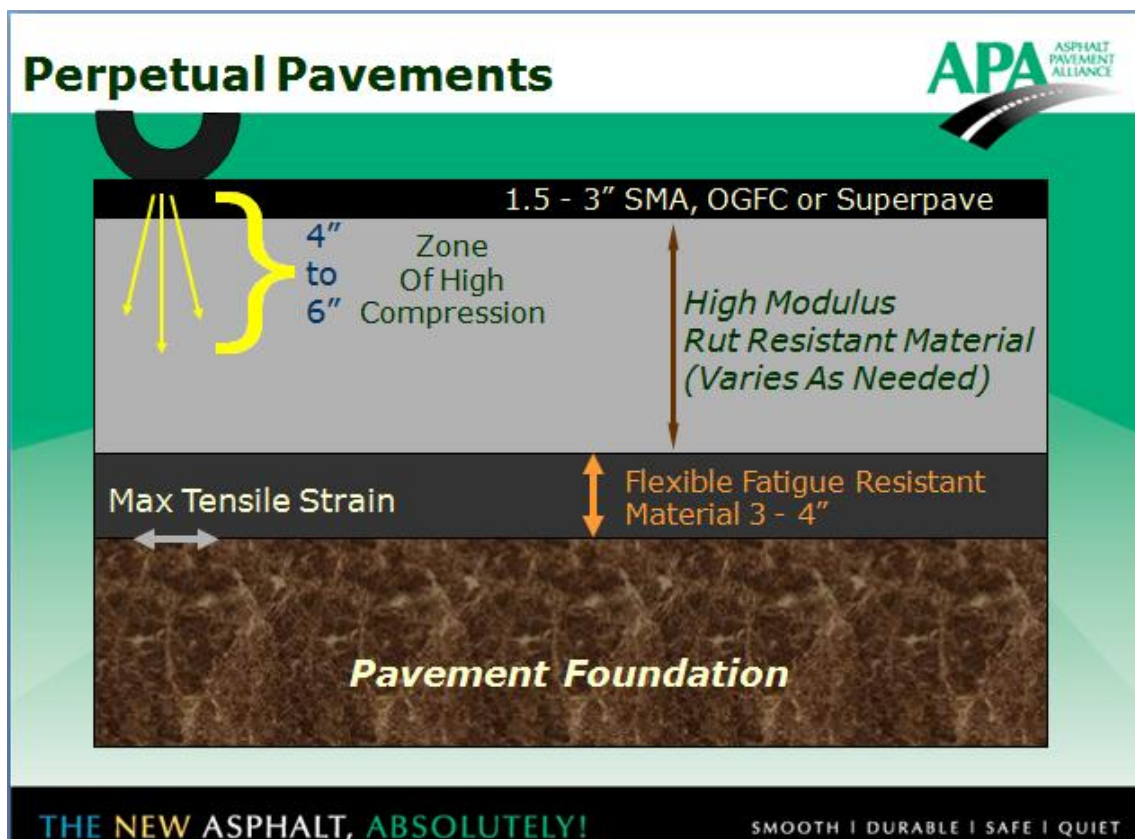
Obecna filozofia projektowania nawierzchni:

- Okres obliczeniowy 40 lat
- Założenie remontów powierzchniowych ograniczonych do warstwy ścieralnej
- Minimum zakłóceń ruchu podczas remontu
- Specyfikacje i projektowanie funkcjonalne warstw poniżej warstwy ścieralnej.

Istotnym aspektem zaawansowani prac w USA nad nawierzchniami długowiecznymi jest opracowanie i wdrażanie nowej metody projektowania konstrukcji nawierzchni MEPDG (Mechanical Empirical Pavement Design Guide *Mechanistyczno-Empiryczna Metoda Projektowania Nawierzchni*). Metoda ta jest pierwszą metodą projektowania nawierzchni asfaltowych (podatnych i półsztywnych) z możliwością prognozowania spękań zmęczeniowych góra-dół oraz dół-góra, spękań termicznych i deformacji trwałych, na które składają się sumarycznie deformacje lepkoplastyczne warstw asfaltowych i deformacje podłoża gruntowego.

⁷ Według badań Verhasselta starzenie asfaltu w nawierzchni najintensywniej następuje na powierzchni, do głębokości 5 mm

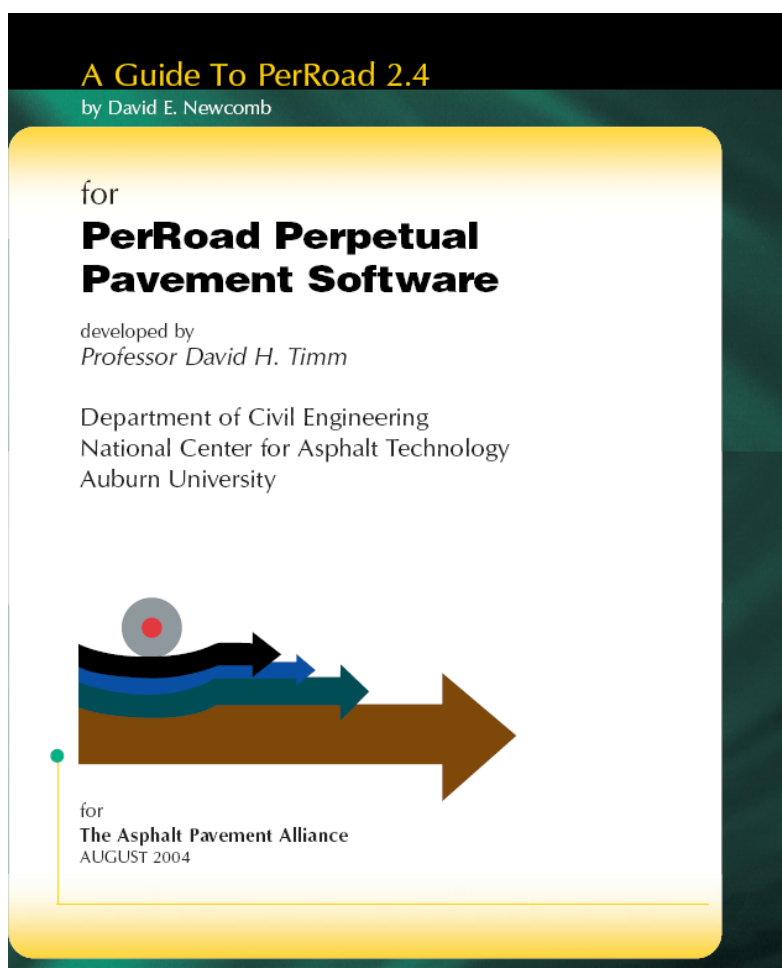
Nowatorską nawierzchnią długowieczną zaproponowaną w USA jest Asphalt Perpetual Pavement, która składa się, od dołu: z warstwy przeciwmęczeniowej, podbudowy asfaltowej i warstwy ścieralnej⁸.



Rysunek 10. Nawierzchnia długowieczna, propozycja w USA

Do projektowania nawierzchni długowiecznej opracowany został program komputerowy PeRoad. Na razie nie można określić, w jakim zakresie stosowane jest to innowacyjne rozwiązanie w USA.

⁸ Uwaga DS.: w rozdziale dotyczącym polskich warunków opisano nasze rozwiązanie



Rysunek 11. Strona tytułowa przewodnika do programu komputerowego projektowania nawierzchni długowiecznej

5 Polskie doświadczenia

5.1 Zmiany technologiczne w Polsce w ostatnich latach

Konieczność zwiększenia odporności na koleinowanie nawierzchni asfaltowych było w ostatnich latach pierwszym i podstawowym zadaniem w naszym drogownictwie. Przyjęto najprostsze, stosowane w świecie rozwiązania:

- zmniejszenie zawartości asfaltu
- zastosowanie twardszego asfaltu
- zwiększenie największego ziarna mieszanki mineralno-asfaltowej.

Postawiony cel zwiększenia odporności na koleinowanie został w znacznej mierze uzyskany, lecz niestety objawiły się wady przyjętych rozwiązań materiałowych:

- pogorszenie wodo- i mrozoodporności warstwy ścieralnej z betonu asfaltowego o zwiększonej odporności na deformacje trwałe wg zeszytu 48
- zmniejszenie trwałości zmęczeniowej betonu asfaltowego w wypadku zbyt małej grubości nawierzchni (co niestety często się spotyka).

W IBDiM opracowano kolejne dwie wersje Zasad wykonywania nawierzchni asfaltowej o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie. Wydanie I, Zeszyt 63 opublikowano w 2002 r. Wydanie II, Zeszyt 70 wydano w 2007.

Konstrukcja nawierzchni z dolnymi warstwami z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności i cienką warstwą ścieralną na gorąco z polimeroasfaltem (w naszych warunkach elastomeroasfaltem) jest realizacją koncepcji funkcjonalnego podziału warstw konstrukcji nawierzchni. W ten sposób wykonuje się nawierzchnie we Francji, ale także można to zobaczyć w Arizonie, USA, a coraz częściej w innych krajach.

Cienka warstwa ścieralna z mieszanki o nieciągłym uziarnieniu (SMA lub MNU) zapewnia:

- dobrą szorstkość (rozwinięta makrotekstura, konieczność użycia kruszywa odpornego na polerowanie – wysokie PSV oraz uszorstnienie drobnym grysem świeżej warstwy)
- dużą trwałość ze względu na grubą błonkę lepiscza na ziarnach kruszywa
- dużą odporność na pękanie niskotemperaturowe i powierzchniowe pękanie zmęczeniowe (nowe zjawisko związane z szerokimi oponami o zwiększonym ciśnieniu)
- *(zbędne jest wymaganie odporności na koleinowanie cienkiej warstwy, bowiem przy grubości rzędu 2 cm i uziarnieniu 0/8 lub 0/12,8 trudno oczekiwać deformacji tej warstwy).*

Gruba dolna warstwa (warstwy) z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności BA WMS zapewnia:

- odporność na deformacje
- przeniesienie obciążenia ruchem
- odporność na zmęczenie.

Trzeba jednak wyraźnie zaznaczyć, że beton asfaltowy WMS jest odmienny od betonu asfaltowego obecnie najczęściej stosowanego w naszych nawierzchniach. Ma on łączyć odporność na deformacje i wypełniać funkcję konstrukcyjną, strukturalną w konstrukcji nawierzchni, a więc jednocześnie charakteryzuje się zwiększoną odpornością na zmęczenie. Poprawione właściwości uzyskuje się odpowiednim doбором składu mieszanki mineralno-asfaltowej:

- niezbyt grube uziarnienie mieszanki: największe ziarno nie większe niż 20 mm
- stosunkowo duża zawartość asfaltu
- asfalt specjalny lub polimeroasfalt.

5.2 Zasady wykonywania nawierzchni o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie w Polsce

Na podstawie doświadczeń francuskich, przyjętych założeń adaptacji technologii do polskich warunków i doświadczeń z wdrożenia opracowano „Zasady wykonywania nawierzchni asfaltowej o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie” (ZW-WMS 2002 i ZW-WMS 2007).

W zaktualizowanej wersji w Zeszycie 70 zakres stosowania nawierzchni z BA (AC)⁹ WMS określono jako:

- a) w projektowaniu konstrukcji wzmacnianej lub nowej nawierzchni asfaltowej, zwłaszcza dróg obciążonych ruchem kategorii od KR3 do KR6, a także na lotniskach i odcinkach dróg o specjalnych warunkach obciążenia, gdy jest wymagana zwiększona odporność na odkształcenia trwałe warstw asfaltowych i zmęczenie nawierzchni, jak np.: podjazd na

⁹ Uwaga DS.: pierwotny stosowany skrót nazwy beton asfaltowy BA zmieniono w WT-2 na AC zgodnie z terminologią norm PN-EN

wzniesienie, pas powolnego ruchu, dojazd i obręb skrzyżowania, pas ruchu skanalizowanego, wydzielony pas autobusowy;

- b) w wykonawstwie nowej nawierzchni, zaprojektowanej zgodnie z niniejszymi Zasadami
- c) drogową nawierzchnię asfaltową według niniejszych Zasad można projektować na okres użytkowania 20 lub 30 lat.

Podano także typowe konstrukcje nawierzchni z BA (AC) WMS. Poniżej zamieszczono rozdział z ZW-WMS 2007.

5.3 Nawierzchnia o zwiększonej trwałości według ZW-WMS 70

4. TYPOWA KONSTRUKCJA NAWIERZCHNI (ZW-WMS 70)

Warstwa ścierna – o grubości mniejszej niż 3,5 cm (zalecane 2,5 cm) z mieszanki SMA lub MNU. Zaleca się stosowanie mieszanek MNU lub SMA z elastomeroasfaltem i stabilizatorem lepiszcza (włókno celulozowe, mineralne lub polimerowe). Mieszanka MNU zapewnia możliwość ułożenia cieńszej warstwy niż mieszanka SMA o tym samym uziarnieniu.

Warstwa wiążąca – o grubości od 6 do 10 cm według projektu z mieszanki BAWMS.

Nie należy projektować warstwy wiążącej ze zwykłego betonu asfaltowego na warstwie z BAWMS. Taki układ warstw, w którym warstwa wiążąca o strukturze częściowo otwartej jest położona na szczelnej warstwie podbudowy może utrudnić odpływ wody przenikającej do nawierzchni. Może to wywołać zjawisko powstawania pęcherzy wskutek parowania wody zatrzymanej w wolnych przestrzeniach warstwy wiążącej.

Podbudowa asfaltowa – o grubości według projektu z mieszanki BAWSM.

Podbudowa pomocnicza - według Katalogu KTKNPP 1997. Wymagane jest szczególnie dobre wykonanie podbudowy pomocniczej.

W wykonaniu nawierzchni z warstwami z BAWMS szczególnie należy zwrócić uwagę na poprawność zagęszczenia podbudowy niezwiązanej. Niepoprawne zagęszczenie podbudowy niezwiązanej może grozić przedwczesnym spękaniami nawierzchni.

Nawierzchnie z warstwami BAWMS zaleca się projektować i budować z podbudową pomocniczą związaną spoiwem hydraulicznym. Wówczas zaleca się stosować rozwiązania technologiczne zabezpieczające przed spękaniem odbitymi. Jednym z takich rozwiązań są techniki wywoływania spękań poprzecznych podbudowy. Częstotliwość celowo wywołanych (inicjowanych) spękań poprzecznych powinna wynosić od 2,0 do 3,0 m.

Podłoże gruntowe - według Katalogu KTKNPP 1997.

Podłoże gruntowe powinno być dobrze zagęszczone, gwarantując uzyskanie:

- wskaźnika zagęszczenia $I_s \geq 1,03$
- wtórnego modułu odkształcenia $E_2 \geq 120$ MPa.

Górna warstwa podłoża gruntowego powinna spełniać dodatkowe warunki według KTKNPP, p. 5.3. Warstwa wierzchnia o grubości co najmniej 10 cm powinna być wykonana z:

- gruntu (lub kruszywa) stabilizowanego cementem o $R_m = 2,5$ MPa lub
- kruszywa stabilizowanego mechanicznie o wskaźniku nośności CBR ≥ 40 %.

Połączenia technologiczne i międzywarstwowe - według niniejszych Zasad.

Przyjęto obliczeniowy okres eksploatacji nawierzchni 20 lub 30 lat. Zaleca się przyjmowanie dłuższego 30-letniego okresu eksploatacji, zwłaszcza w projektowaniu nawierzchni dróg o wyższej kategorii ruchu KR5-6, w celu wydłużenia trwałości nawierzchni i zmniejszenia częstotliwości i zakresu robót utrzymaniowych i modernizacyjnych, a tym samym zmniejszenia ich uciążliwości dla użytkowników i ich kosztów społecznych.

W tablicach 7 i 8 przedstawiono przewidywane obciążenie ruchem w poszczególnych kategoriach ruchu w 20-letnim lub 30-letnim obliczeniowym okresie eksploatacji nawierzchni.

Tablica 7. Trwałość zmęczenia nawierzchni w 20-letnim okresie obliczeniowym

Kategoria ruchu	Trwałość zmęczenia: liczba osi obliczeniowych (10,0 ton) w założonym okresie obliczeniowym (20 lat)	Trwałość zmęczenia: liczba osi obliczeniowych (11,5 tony) w założonym okresie obliczeniowym (20 lat)
KR3 ₂₀	510 001 ÷ 2 500 000	291 601 ÷ 1 429 400
KR4 ₂₀	2 500 001 ÷ 7 300 000	1 429 401 ÷ 4 173 800
KR5 ₂₀	7 300 001 ÷ 14 600 000	4 173 801 ÷ 8 347 600
KR6 ₂₀	14 600 001 i więcej	8 347 601 i więcej

Tablica 8. Trwałość obliczeniowa nawierzchni w 30-letnim okresie obliczeniowym

Kategoria ruchu	Trwałość zmęczenia: liczba osi obliczeniowych (10,0 ton) w założonym okresie obliczeniowym (30 lat)	Trwałość zmęczenia: liczba osi obliczeniowych (11,5 tony) w założonym okresie obliczeniowym (30 lat)
KR3 ₃₀	756 001 ÷ 3 750 000	437 401 ÷ 2 144 100
KR4 ₃₀	3 750 001 ÷ 10 950 000	2 144 101 ÷ 6 260 700
KR5 ₃₀	10 950 001 ÷ 21 900 000	6 260 701 ÷ 12 521 400
KR6 ₃₀	21 900 001 i więcej	12 521 401 i więcej

W tablicach 9 – 16 przedstawiono typowe konstrukcje nawierzchni o zwiększonej odporności na koleinowanie i zmęczenie.



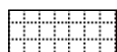
Warstwa ścieralna – SMA lub MNU



Warstwa wiążąca – BAWMS



Podbudowa asfaltowa – BAWMS



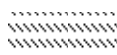
Podbudowa – kruszywo stabilizowane mechanicznie



Podbudowa – kruszywo stabilizowane spoiwem hydraulicznym



Podbudowa – chudy beton



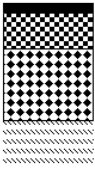
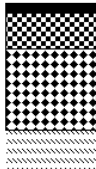
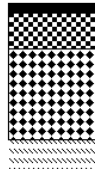
Ulepszone podłoże G1

Rysunek 12. Legenda do tablic typowych konstrukcji nawierzchni asfaltowych WMS

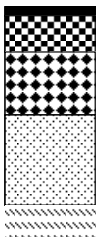
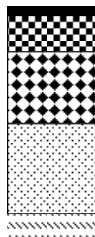
Tablica 9. Typowe konstrukcje nawierzchni asfaltowych WMS o trwałości 20 lat. Typ A

Typ	Kategoria ruchu Liczba osi obliczeniowych 10,0 t/pas/20 lat (11,5 t/pas/20 lat)			
	KR3 ₂₀	KR4 ₂₀	KR5 ₂₀	KR6 ₂₀
	510 001÷2 500 000 (291 601÷1 429 400)	2 500 001÷7 300 000 (1 429 401÷4 173 800)	7 300 001÷14 600 000 (4 173 801÷8 347 600)	14 600 001 i więcej (8 347 601 i więcej)
A				

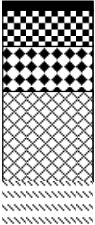
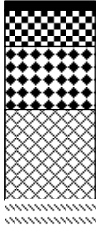
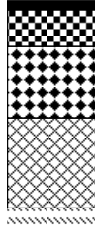
Tablica 10. Typowe konstrukcje nawierzchni asfaltowych WMS o trwałości 20 lat. Typ C

Typ	Kategoria ruchu Liczba osi obliczeniowych 10,0 t/pas/20 lat (11,5 t/pas/20 lat)			
	KR3 ₂₀	KR4 ₂₀	KR5 ₂₀	KR6 ₂₀
	510 001÷2 500 000 (291 601÷1 429 400)	2 500 001÷7 300 000 (1 429 401÷4 173 800)	7 300 001÷14 600 000 (4 173 801÷8 347 600)	14 600 001 i więcej (8 347 601 i więcej)
C				

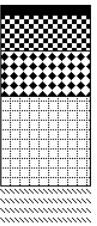
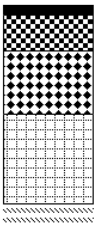
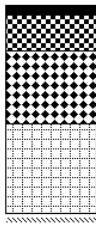
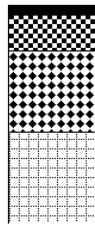
Tablica 11. Typowe konstrukcje nawierzchni asfaltowych WMS o trwałości 20 lat. Typ E

Typ	Kategoria ruchu Liczba osi obliczeniowych 10,0 t/pas/20 lat (11,5 t/pas/20 lat)			
	KR3 ₂₀	KR4 ₂₀	KR5 ₂₀	KR6 ₂₀
	510 001÷2 500 000 (291 601÷1 429 400)	2 500 001÷7 300 000 (1 429 401÷4 173 800)	7 300 001÷14 600 000 (4 173 801÷8 347 600)	14 600 001 i więcej (8 347 601 i więcej)
E				

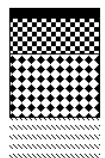
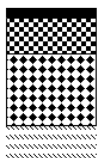
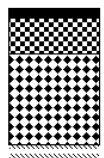
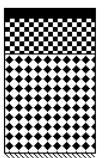
Tablica 12. Typowe konstrukcje nawierzchni asfaltowych WMS o trwałości 20 lat. Typ F

Typ	Kategoria ruchu Liczba osi obliczeniowych 10,0 t/pas/20 lat (11,5 t/pas/20 lat)			
	KR3 ₂₀	KR4 ₂₀	KR5 ₂₀	KR6 ₂₀
	510 001÷2 500 000 (291 601÷1 429 400)	2 500 001÷7 300 000 (1 429 401÷4 173 800)	7 300 001÷14 600 000 (4 173 801÷8 347 600)	14 600 001 i więcej (8 347 601 i więcej)
F				

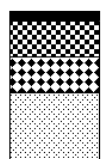
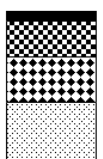
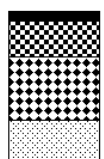
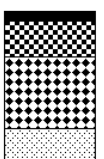
Tablica 13. Typowe konstrukcje nawierzchni asfaltowych WMS o trwałości 30 lat. Typ A

Typ	Kategoria ruchu Liczba osi obliczeniowych 10,0 t/pas/30 lat (11,5 t/pas/30 lat)			
	KR3 ₃₀	KR4 ₃₀	KR5 ₃₀	KR6 ₃₀
	756 001÷3 750 000 (437 401÷2 144 100)	3 750 001÷10 950 000 (2 144 101÷6 260 700)	10 950 001÷21 900 000 (6 260 701÷12 521 400)	21 900 001 i więcej (12 521 401 i więcej)
A				

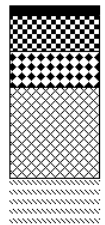
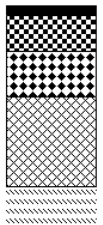
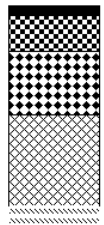
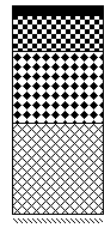
Tablica 14. Typowe konstrukcje nawierzchni asfaltowych WMS o trwałości 30 lat. Typ C

Typ	Kategoria ruchu Liczba osi obliczeniowych 10,0 t/pas/30 lat (11,5 t/pas/30 lat)			
	KR3 ₃₀	KR4 ₃₀	KR5 ₃₀	KR6 ₃₀
	756 001+3 750 000 (437 401+2 144 100)	3 750 001+10 950 000 (2 144 101+ 6 260 700)	10 950 001+21 900 000 (6 260 701+12 521 400)	21 900 001 i więcej (12 521 401 i więcej)
C				

Tablica 15. Typowe konstrukcje nawierzchni asfaltowych WMS o trwałości 30 lat. Typ E

Typ	Kategoria ruchu Liczba osi obliczeniowych 10,0 t/pas/30 lat (11,5 t/pas/30 lat)			
	KR3 ₃₀	KR4 ₃₀	KR5 ₃₀	KR6 ₃₀
	756 001+3 750 000 (437 401+2 144 100)	3 750 001+10 950 000 (2 144 101+ 6 260 700)	10 950 001+21 900 000 (6 260 701+12 521 400)	21 900 001 i więcej (12 521 401 i więcej)
E				

Tablica 16. Typowe konstrukcje nawierzchni asfaltowych WMS o trwałości 30 lat. Typ F

Typ	Kategoria ruchu Liczba osi obliczeniowych 10,0 t/pas/30 lat (11,5 t/pas/30 lat)			
	KR3 ₃₀	KR4 ₃₀	KR5 ₃₀	KR6 ₃₀
	756 001+3 750 000 (437 401+2 144 100)	3 750 001+10 950 000 (2 144 101+ 6 260 700)	10 950 001+21 900 000 (6 260 701+12 521 400)	21 900 001 i więcej (12 521 401 i więcej)
F				

5.4 Zastosowanie AC WMS w WT-2

Projektowanie nawierzchni długowiecznej uwzględniono w Wymaganiach Technicznych WT-2 Nawierzchnie Asfaltowe na drogach publicznych, 2009. W określonych zaleceniach stosowania mieszanek mineralno-asfaltowych do warstw nawierzchni podano możliwości zastosowania betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS.

WT-2 wraz z Zeszytem 70, w którym podano zasady projektowania konstrukcji nawierzchni z warstwami nośnymi (wiąząca i podbudowa) z AC WMS i cienką warstwą ścieralną z SAM lub BBTM oraz typowe konstrukcje nawierzchni projektowane na 20 lub 30 lat wskazano możliwość projektowania nawierzchni o zwiększonej trwałości.

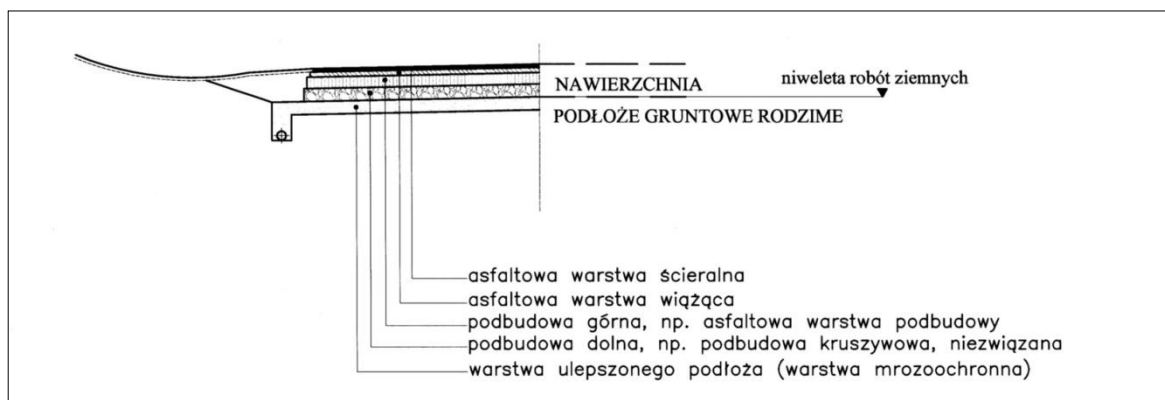
Dalej zamieszczono wyciąg z WT-2 dotyczący stosowania AC WMS.

Podstawowe uwagi o asfaltowej nawierzchni drogowej i zalecenia doboru materiałów (WT-2)

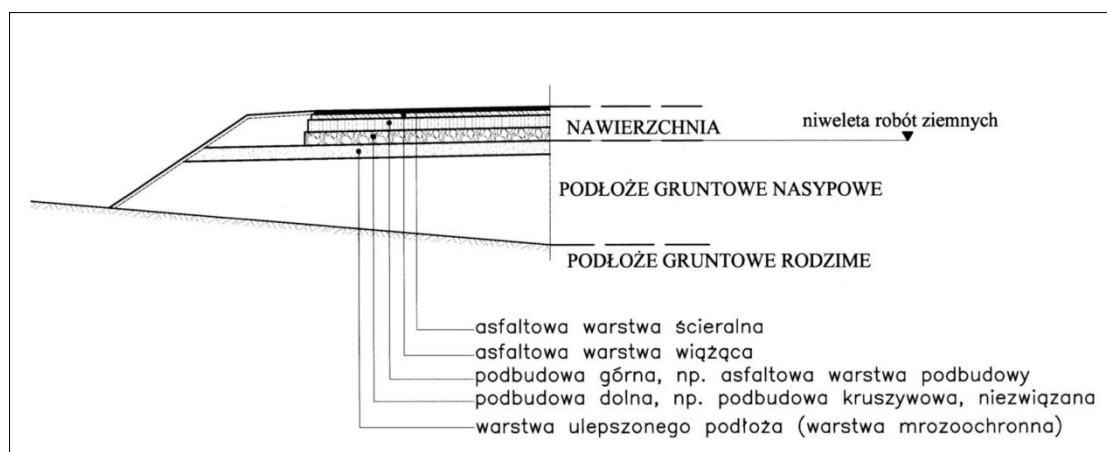
Konstrukcja drogi składa się z:

- nawierzchni,
- podłoża gruntowego nasypowego lub rodzimego.

Usytuowanie poszczególnych warstw konstrukcji drogi przedstawiono na rys. 1 i 2.



Rys. 13. Konstrukcja drogi o asfaltowej nawierzchni drogowej w wykopie



Rys. 14. Konstrukcja drogi o asfaltowej nawierzchni drogowej na nasypie

Podłoże gruntowe rodzime lub nasypowe powinno być tak przygotowane, aby zapewnić przeniesienie obciążenia przekazywanego przez nawierzchnię oraz odpowiednie warunki odwodnienia i mrozoodporność konstrukcji nawierzchni.

Najwyższa warstwa podłoża gruntowego w razie potrzeby powinna być wzmocniona do grupy nośności G1. Warstwę tę określa się mianem warstwy wzmacniającej lub ulepszonego podłoża. Ma ona zapewnić przeniesienie przez podłoże gruntowe obciążenia ruchem technologicznym pojazdów podczas budowy nawierzchni drogi. Jeżeli warstwa wzmacniająca nie ulegnie nadmiernemu uszkodzeniu podczas budowy drogi, to może stanowić dodatkową warstwę konstrukcyjną.

Należy zapewnić mrozoodporność podłoża gruntowego nawierzchni (szczególnie w wypadku występowania w podłożu gruntów wysadzinowych lub wątpliwych). Jeżeli warunek ten nie jest spełniony, to należy najniżej położoną warstwę ulepszonego podłoża odpowiednio pogrubzić. Warstwę tę nazywa się mrozochronną. Warstwa mrozochronna jest jedną z warstw ulepszonego podłoża gruntowego nawierzchni, położoną poniżej warstwy wzmacniającej.

Podbudowa nawierzchni może być jedno lub wielowarstwowa. Podbudowa wielowarstwowa składa się najczęściej z dwóch warstw:

- podbudowy dolnej,
- podbudowy górnej.

Podbudowa dolna może być wykonana z wielu materiałów, w szczególności z takich, jak:

- mieszanka kruszyw mineralnych,
- kruszywo mineralne związane spoiwem hydraulicznym,
- kruszywo mineralne związane lepiszczem asfaltowym.

Podbudowa górna nawierzchni asfaltowej jest zazwyczaj wykonana z mieszanki mineralno-asfaltowej.

Nawierzchnia asfaltowa składa się zazwyczaj z trzech warstw:

- podbudowy,
- warstwy wiążącej,
- warstwy ścieralnej.

Każda z warstw jest rozkładana zazwyczaj w pojedynczej operacji.

Jeżeli warstwa nawierzchni według dokumentacji projektowej jest zbyt gruba, aby można było ją rozłożyć i zagęścić w pojedynczej operacji, to warstwa ta może się składać z dwóch warstw technologicznych, z których każda jest rozłożona i zagęszczona w odrębnej operacji. Należy zapewnić pełne połączenie między tymi warstwami.

Dwie warstwy nawierzchni, np. wiążąca i ścieralna mogą być rozłożone i zagęszczone w pojedynczej operacji.

Asfaltowa warstwa podbudowy może być położona na warstwie podbudowy z kruszywa niezwiązanego lub związanego spoiwem hydraulicznym. Jeżeli jest to warstwa niezwiązana, to nawierzchnia nazywana jest „podatną”, a jeżeli jest związana hydraulicznie, to nazywana jest „półsztywną”.

Podbudowa asfaltowa jest wykonywana z betonu asfaltowego AC P lub z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS P.

Warstwa wiążąca jest układana na warstwie podbudowy asfaltowej (w nawierzchniach dróg o małym obciążeniu warstwa wiążąca może być położona na podbudowie niezwiązanej lub związanej spoiwem hydraulicznym). Warstwa ta może być wykonana z betonu asfaltowego AC W lub z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS W.

Podbudowa i warstwa wiążąca spełniają rolę warstw nośnych nawierzchni drogowej. Powinny zapewnić nawierzchni nośność i odporność na zmęczenie warstw związanych asfaltem lub spoiwem hydraulicznym oraz odporność na deformacje trwałe podłoża gruntowego.

Asfaltowa warstwa ścieralna jest wierzchnią warstwą nawierzchni, która jest w kontakcie z kołami pojazdów oraz jest bezpośrednio narażona na czynniki środowiskowe i klimatyczne. Warstwa ścieralna powinna zapewnić: właściwości przeciwpoślizgowe, równość, małą hałaśliwość ruchu, odporność na pękanie zmęczeniowe, odporność na pękanie niskotemperaturowe, odporność na działanie wody i środków odladzających oraz w razie potrzeby paliwa i ognia.

Warstwa ścieralna może być wykonana z betonu asfaltowego AC S, z mieszanki SMA, z betonu asfaltowego do bardzo cienkich warstw BBTM, z asfaltu lanego MA lub asfaltu porowatego PA.

W warstwie ścieralnej może być stosowany asfalt lany pod warunkiem rozkładania mechanicznego, natomiast rozkładanie ręczne asfaltu lanego jest dopuszczalne wyłącznie w ściekach przykrawężnikowych.

W warstwie ścieralnej może być stosowany asfalt porowaty. Można też stosować dwuwarstwowy układ złożony z warstw asfaltu porowatego: ścieralnej i wiążącej. Wówczas warstwa ścieralna ma drobniejsze uziarnienie, niż warstwa wiążąca.

Głównym celem stosowania asfaltu porowatego jest zmniejszenie hałaśliwości ruchu pojazdów. Efekt ten jest zauważalny zwłaszcza w nawierzchni z dwiema warstwami asfaltu porowatego (obniżenie poziomu hałasu nawet o 10 dB(A)).

Zastosowanie asfaltu porowatego powinno uwzględniać wpływ warunków klimatycznych na: trwałość nawierzchni, bezpieczeństwo ruchu drogowego w wyniku pogorszenia właściwości przeciwpoślizgowych oraz zwiększenie częstości zabiegów zimowego utrzymania.

W polskich warunkach klimatycznych nie należy stosować asfaltu porowatego w nawierzchniach mostowych ze względu na ryzyko zamarzania wody i śliskości nawierzchni.

Beton asfaltowy, mieszanki SMA i BBTM oraz asfalt porowaty są mieszankami wałowanymi, tj. zagęszczanymi walcami.

Asfalt lany jest mieszanką samozagęszczalną, tj. nie wymagającą zagęszczania walcami.

Warstwy asfaltowe nawierzchni drogowej powinny być dobrze połączone ze sobą podczas budowy. Połączenie międzywarstwowe zapewnia współpracę warstw w przenoszeniu obciążenia kołami pojazdów na wszystkie warstwy asfaltowe oraz niższe warstwy podbudowy i podłoża gruntowego.

Połączeniami technologicznymi są połączenia różnych warstw ze sobą lub tych samych warstw wykonywanych w różnym czasie.

Mieszanki mineralno-asfaltowe i materiały do nich powinny być dobierane do nawierzchni drogi w zależności od jej funkcji, kategorii ruchu, szczególnych warunków obciążenia ruchem, warunków klimatycznych, właściwości przeciwpoślizgowych, hałasu toczenia kół i ewentualnych wymagań specjalnych zamawiającego.

Zalecane mieszanki, lepiszcza i kruszywa do poszczególnych warstw nawierzchni drogowych przedstawiono w tablicy 1, natomiast zalecane mieszanki do nawierzchni mostowych - w tablicy 2.

Tablica 1. Zestawienie materiałów do warstw nawierzchni drogowych z uwzględnieniem obciążenia ruchem i warunków klimatycznych

Warstwa	Materiał	Kategoria ruchu		
		KR1÷KR2	KR3÷KR4	KR5÷KR6
Podbudowa	Mieszanki mineralno-asfaltowe	AC 16 P, AC 22 P	AC 16 P, AC 22 P AC WMS 11, AC WMS 16	AC 16 P, AC 22 P AC WMS 11, AC WMS 16
	Lepiszczka asfaltowe ⁷	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⁾
	Kruszywa mineralne	Tablice 1.1, 1.2, 1.3, 3.1, 3.2, 3.3 WT-1 Kruszywa 2008, Część 2		
Wiążąca	Mieszanki mineralno-asfaltowe	AC 11 W, AC 16 W, PA 16 W ⁸	AC 16 W, AC 22 W, AC WMS 11, AC WMS 16, PA 16 W⁸	AC 16 W, AC 22 W, AC WMS 11, AC WMS 16, PA 16 W⁸
	Lepiszczka asfaltowe ⁷	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 , 20/30 ² , 15/25 ² , 10/20 ² PMB 10/40-65 ² , PMB 25/55-60 ³
	Kruszywa mineralne	Tablice 2.1, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2, 3.3 WT-1 Kruszywa 2008, Część 2		
Ścieralna	Mieszanki mineralno-asfaltowe	MA 8, MA 11 AC 5 S, AC 8 S, AC 11 S SMA 5 ⁴ , SMA 8 ⁴ BBTM 8 ⁴ , BBTM 11, PA 8 S, PA 11 S	MA 8, MA 11 AC 8 S, AC 11 S SMA 5 ⁴ , SMA 8 ⁴ , SMA 11 BBTM 8 ⁴ , BBTM 11, PA 8 S, PA 11 S	MA 8, MA 11 SMA 8 ⁴ , SMA 11 BBTM 8 ⁴ , BBTM 11, PA 8 S, PA 11 S
	Lepiszczka asfaltowe ⁷	20/30, 35/50, 50/70 ⁵ , 70/100, PMB 25/55-65, PMB 45/80-55, PMB 45/80-60, PMB 65/105-60 ⁶	20/30, 35/50, 50/70 ⁵ , PMB 25/55-65, PMB 45/80-55, PMB 45/80-60, PMB 65/105-60 ⁶	PMB 25/55-65, PMB 45/80-55, PMB 45/80-60, PMB 65/105-60 ⁶
	Kruszywa mineralne	Tablice 4.1, 4.2, 4.3, 5.1, 5.2, 5.3, 6.1, 6.2, 6.3, 7.1, 7.2, 7.3 WT-1 Kruszywa 2008, Część 2		

¹ do betonu asfaltowego;
² do betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS;
³ do betonu asfaltowego do warstwy podbudowy lub wiążącej;
⁴ zalecane, jeżeli wymagane jest zmniejszenie hałasu drogowego;
⁵ nie zaleca się do stosowania w regionach, gdzie spodziewana minimalna temperatura nawierzchni wynosi poniżej -28°C - region północno-wschodni i tereny podgórskie (załącznik A);
⁶ do cienkiej warstwy na gorąco z SMA o grubości nie większej niż 3,5 cm;
⁷ na podstawie aprobat technicznych mogą być stosowane także inne lepiszcza nienormowe;
⁸ do warstwy wiążącej układu dwuwarstwowego z asfaltu porowatego.

Beton asfaltowy o wysokim module sztywności

Beton asfaltowy o wysokim module sztywności (AC WMS) pozwala na zwiększenie trwałości nawierzchni lub zmniejszenie grubości konstrukcji nawierzchni. AC WMS może być stosowany do warstwy podbudowy i do warstwy wiążącej.

Należy stosować AC WMS w dwóch warstwach: podbudowy i wiążącej (lub tylko w warstwie wiążącej). Na warstwy AC WMS zaleca się stosować cienką warstwę ścieralną o grubości nie większej niż 3 cm z mieszanki SMA lub mieszanki BBTM.

Wyjątkiem może być konstrukcja nawierzchni, w której na szczelnej podbudowie z AC WMS ułożone będą wyłącznie warstwy asfaltu porowatego.

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÷KR6, w mniejszym stopniu KR3÷KR4, ze względu na zaawansowane metody badawcze niezbędne w projektowaniu mieszanki mineralno-asfaltowej.

Materiały

Do betonu asfaltowego o wysokim module sztywności należy stosować kruszywa i lepiszcza podane w tablicy 27.

Tablica 27. Materiały do betonu asfaltowego o wysokim module sztywności do warstwy podbudowy i wiążącej (projektowanie funkcjonalne)

Materiał	Kategoria ruchu	
	KR3÷KR6	
Mieszanka mineralno-asfaltowa o wymiarze D, mm	11	16
Lepiszczka asfaltowe ¹	20/30, 15/25, 10/20 PMB 10/40-65	
Kruszywa mineralne	Tablice 1.1, 1.2, 1.3 WT-1 Kruszywa 2008, Część 2	
¹⁾ na podstawie aprobat technicznych mogą być stosowane także inne lepiszcza nienormowe		

Uziarnienie mieszanki mineralnej i zawartość lepiszcza

Zalecane uziarnienie mieszanki mineralnej oraz zawartość lepiszcza w betonie asfaltowym o wysokim module sztywności do warstwy podbudowy lub wiążącej podano w tablicy 28.

Tablica 28. Uziarnienie mieszanki mineralnej oraz zawartość lepiszcza do betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS do warstwy podbudowy lub wiążącej, KR3÷KR6

Właściwość	Przesiew, [% (m/m)]			
	AC WMS 11		AC WMS 16	
Wymiar sita #, mm	od	do	od	do
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	5,0	9,0	5,0	9,0
Zawartość lepiszcza (wzór 2Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.)	B _{min4,8}		B _{min4,8}	

Wymagane właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej

Beton asfaltowy o wysokim module sztywności do warstwy podbudowy lub do warstwy wiążącej powinien spełniać wymagania podane w tablicy 29.

Tablica 29. Wymagane właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej betonu asfaltowego o wysokim module sztywności do warstwy podbudowy lub wiążącej, KR3÷KR6

Właściwość	Warunki zagęszczania wg PN-EN 13108-20	Metoda i warunki badania	Wymiar mieszanki	
			AC WMS 11	AC WMS 16
Zawartość wolnych przestrzeni	C.1.3, ubijanie, 2 × 75 uderzeń	PN-EN 12697-8, p. 4	$V_{min2,0}$ V_{max4}	$V_{min2,0}$ V_{max4}
Odporność na działanie wody	C.1.1, ubijanie, 2 × 25 uderzeń	PN-EN 12697-12, przechowywanie w 40°C z jednym cyklem zamrażania, badanie w 15°C	ITSR ₈₀	ITSR ₈₀
Odporność na deformacje trwałe	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, częstota 10Hz	S _{min14000}	S _{min14000}
Odporność na zmęczenie, kategoria nie niższa niż	C.1.20, wałowanie, P ₉₈ -P ₁₀₀	PN-EN 12697-24, 4PB-PR, temperatura 10°C, częstota 10Hz	ε ₆₋₁₃₀	ε ₆₋₁₃₀

5.5 Obecne możliwości projektowania nawierzchni o zwiększonej trwałości

Przygotowane w IBDiM zasady wykonywania nawierzchni odpornej na koleinowanie i zmęczenie powinny stanowić ważny etap w rozwoju technologii nawierzchni asfaltowych w Polsce. Stanowią one podstawę do powszechnego przemysłowego wdrożenia technologii. Dostępne są niezbędne materiały: kruszywa i lepiszcza. Zwłaszcza specjalne lepiszcza asfaltowe odgrywają tu ważną, kluczową rolę. Obecnie dostępne są asfalty wielorodzajowe i elastomeroasfalty kilku producentów krajowych, a w razie potrzeby możliwy jest też import. Można też oczekiwać poszerzenia dostępności lepiszczy, jeśliby zwiększyło się zapotrzebowanie. Dotychczasowe wdrożenia potwierdziły praktycznie poprawność przyjętych rozwiązań.

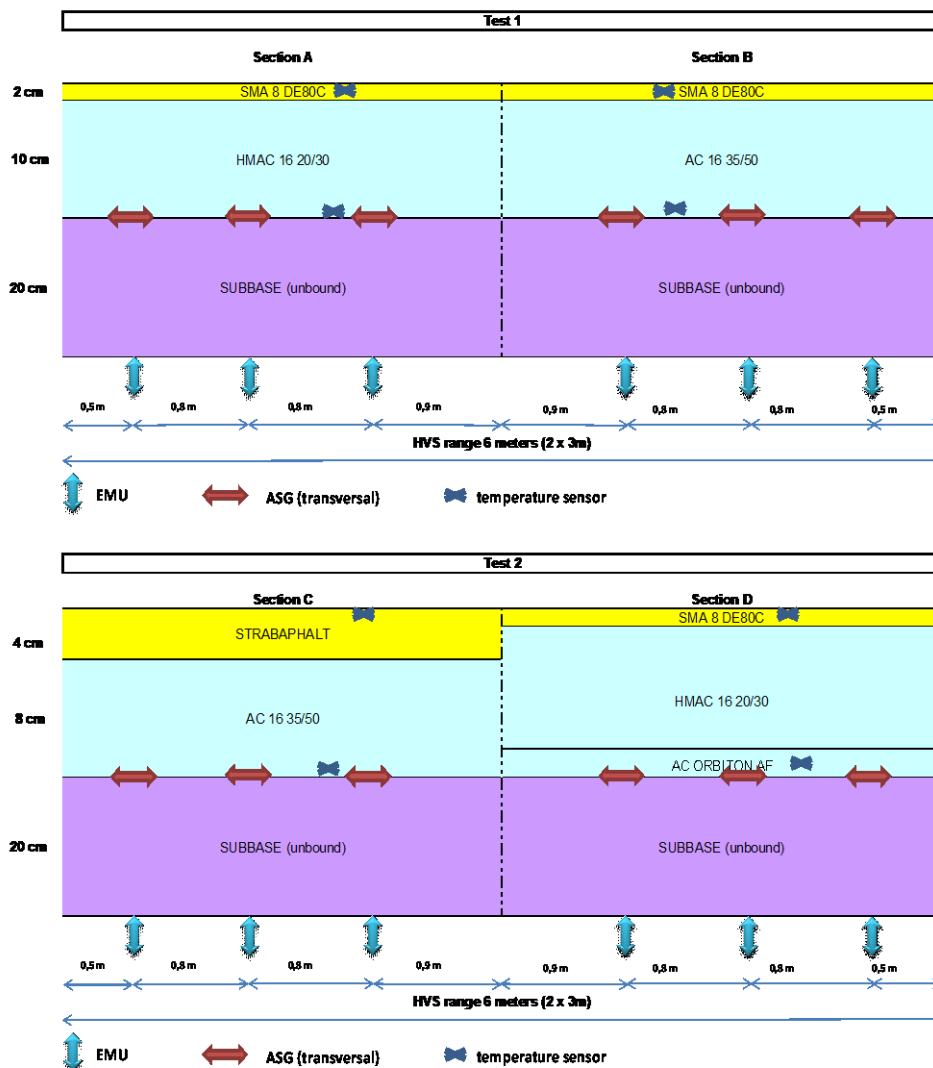
5.6 Idea warstwy antyzmęczeniowej i badania w pełnej skali w Polsce

Pomysł warstwy antyzmęczeniowej w nawierzchni podatnej został opisany w artykule na konferencji Eurobitume&Eurasphalt Barcelona 2000 (Sybilski i in. [19]). W artykule tym wskazano, że "Podbudowa powinna składać się z dwóch warstw. Dolna warstwa, poddawana naprężeniom rozciągającym inicjującym spękania zmęczeniowe, powinna odznaczać się szczególną odpornością na zmęczenie i wobec tego powinna być wykonana z mieszanki mineralno-asfaltowej o szczelnej strukturze. W celu poprawy jej właściwości powinna zawierać wysokomodyfikowany polimeroasfalt. Położona na niej warstwa podbudowy powinna odznaczać się odpowiednią grubością i dużą sztywnością, aby zapewnić właściwą nośność nawierzchni".

Podobny koncept został w późniejszym czasie (2001) opublikowany w USA i nazwany Perpetual Pavement (nawierzchnia wieczna) w artykule Newcomba i in. [20].

W 2008 r. w ramach projektu badawczego SPENS (finansowanego przez UE) zostały przeprowadzone badania w pełnej skali odcinków testowych nawierzchni. Celem projektu SPENS było opracowanie i sprawdzenie w skali rzeczywistej innowacyjnych rozwiązań technologicznych i adaptowanie ich do warunków nowych krajów członkowskich UE.

Badania były prowadzone przez pracowników IBDiM we współpracy z pracownikami szwedzkiego instytutu VTI, którzy stanowili obsługę symulatora ruchu HVS (Heavy Vehicle Simulator). Zespołem kierował dr inż. Wojciech Bańkowski, IBDiM.

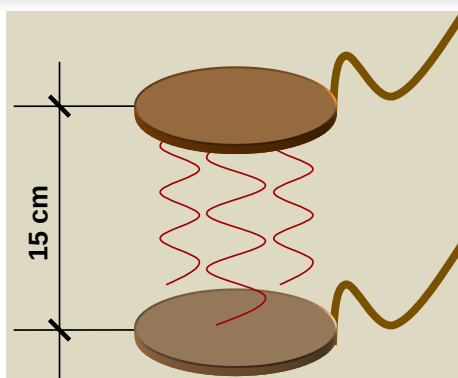


Rysunek 15. Konstrukcja odcinków testowych do badania HVS

Wybudowano cztery odcinki testowe o różnej konstrukcji i w różnych technologiach:

- Odcinek A z podbudową z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS
- Odcinek B z podbudową z betonu asfaltowego AC (odcinek porównawczy)
- Odcinek C z warstwą ścierną kompozytową – asfalt porowaty wypełniony szybkowiążącą zaprawą cementową
- Odcinek D z dwuwarstwową podbudową złożoną z warstwy antyzmęczeniowej i warstwy z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS.

Odcinki testowe zostały wyposażone w sensory odkształceń poziomych i pionowych oraz mierniki temperatury.



Fotografia 1 Instalowanie czujników (EMU) we wzmocnionej warstwie podłoża



Fotografia 2 Podłączenie czujników (EMU) w warstwie podłoża



Fotografia 3 Wykonanie warstwy podbudowy z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie (kruszywo dolomitowe o uziarnieniu 0/31,5 mm)



Fotografia 4 Instalowanie czujników (ACG) na warstwie podbudowy z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie



Fotografia 5 Instalowanie czujników (ACG) na warstwie podbudowy z kruszywa łamanego stabilizowanego mechanicznie



Fotografia 6 Pokrycie zainstalowanych czujników (ACG) warstwą z AP AF



Fotografia 7 Widok wykonanej warstwy antyzmęgniowej



**Fotografia 8 Prace przy wykonaniu oraz widok wykonanej warstwy wiążącej z
AC WMS 16 20/30**

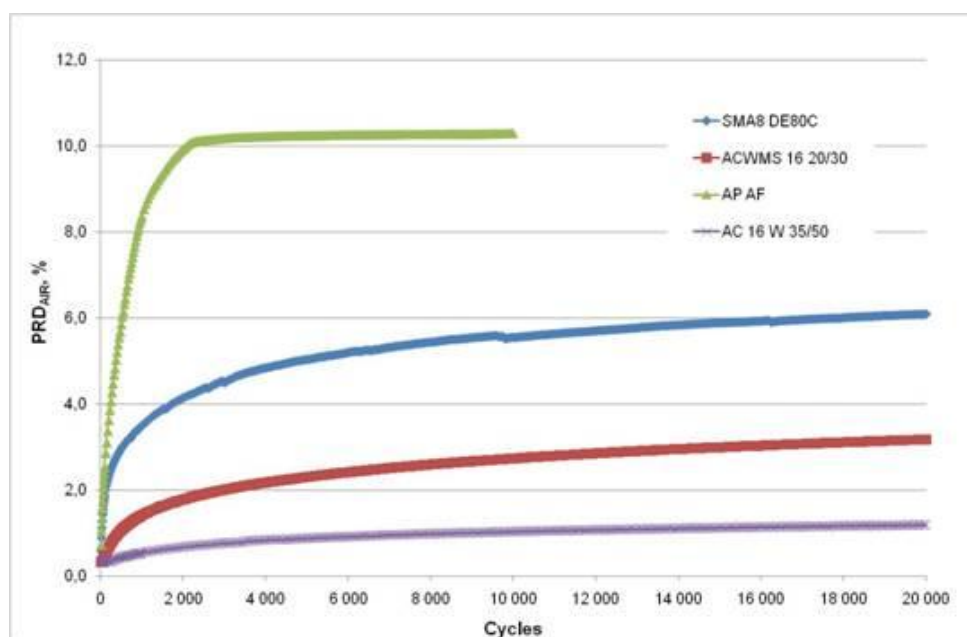


Fotografia 9 Prace przy wykonaniu oraz widok warstwy ścieralnej z mieszanki SMA8 DE80C

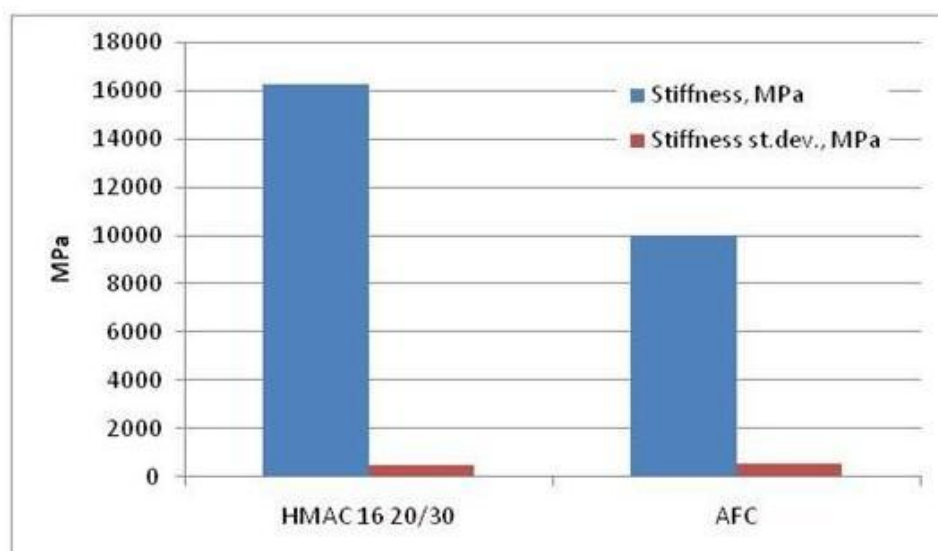
Program badań obejmował:

- Badania laboratoryjne materiałów i mieszanek
- Badania terenowe ugięć FWD przed i po obciążeniu HVS
- Badania materiałów nawierzchni po obciążeniu HVS w celu określenia różnic między odcinkami obciążonymi i nieobciążonymi.

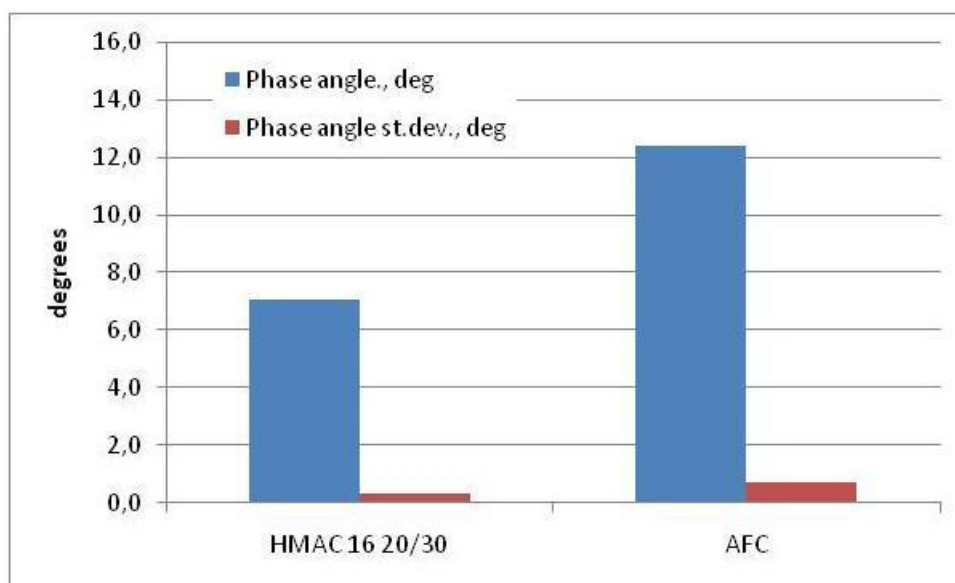
Przeprowadzono także analizę trwałości konstrukcji nawierzchni i prognozę uszkodzeń przed i po obciążeniu HVS.



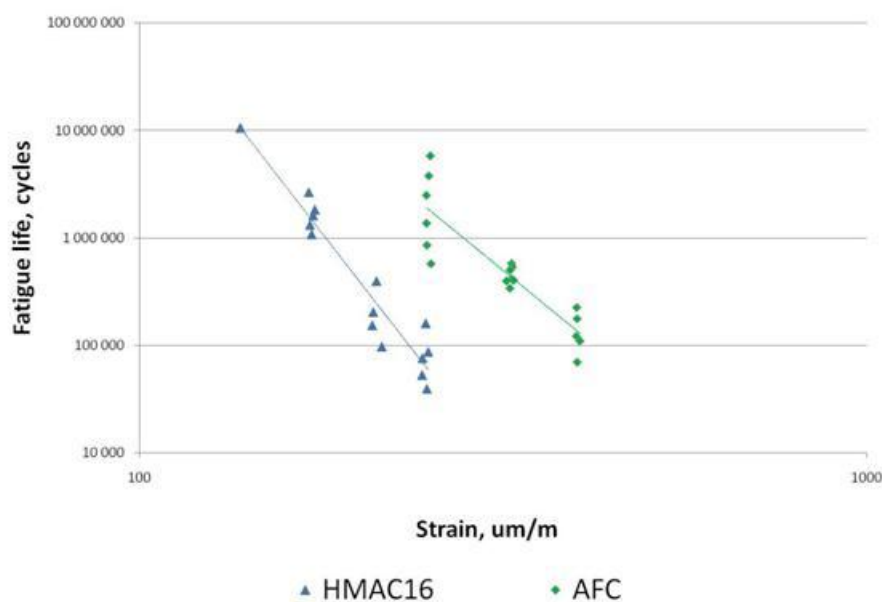
Rysunek 16. Odporność na koleinowanie mma



Rysunek 17. Moduł sztywności AC WMS i mieszanki mma antyzmęczeniowej

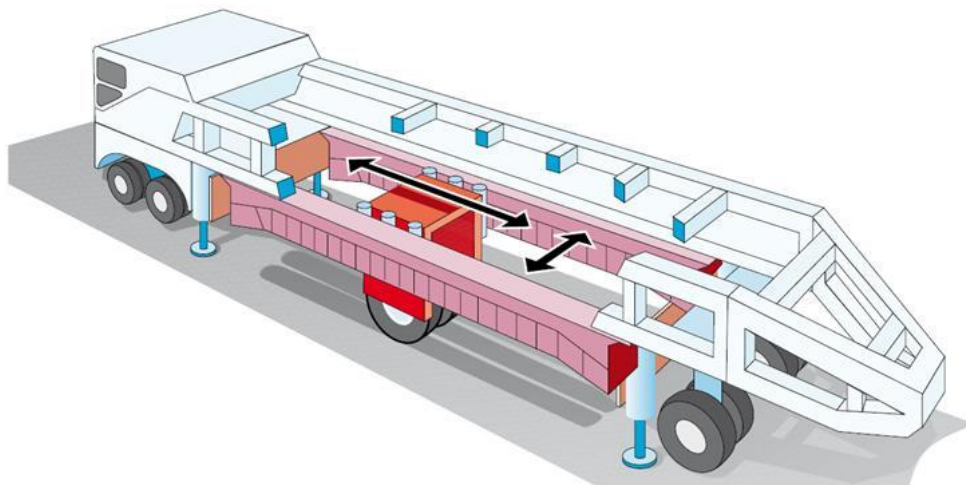


Rysunek 18. Kąt przesunięcia fazowego AC WMS i mma antyzmęczeniowej



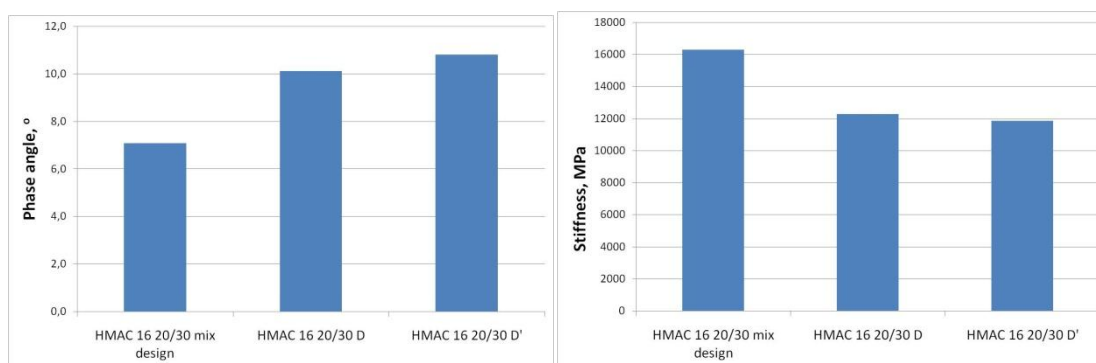
Rysunek 19. Charakterystyka zmęczeniowa AC WMS i mma antyzmęczeniowej

Badania pod obciążeniem HVS trwały dwa tygodnie.

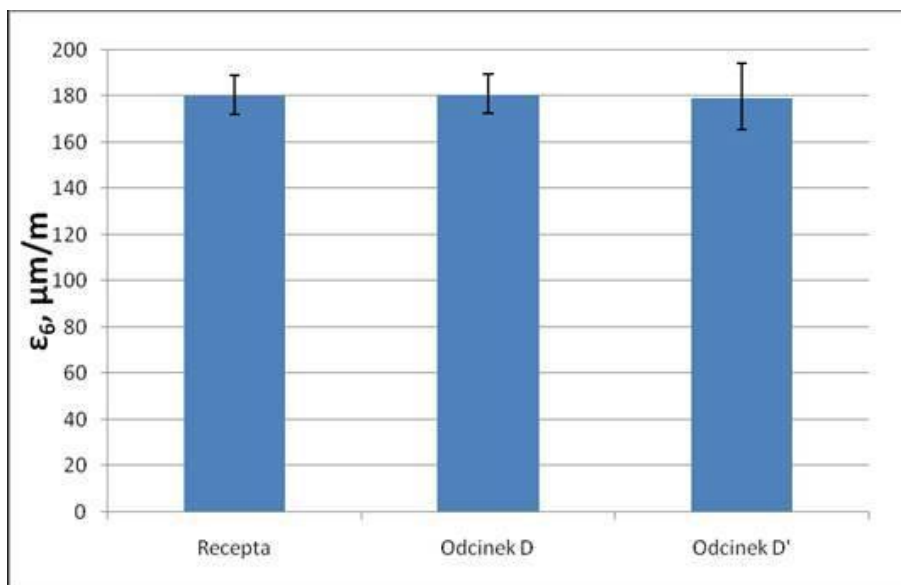


Rysunek 20. Symulator ruchu HVS (Heavy Vehicle Simulator)

Fig. 8 illustrates the stiffness modulus and phase angle of main layer of the pavement structure – base course of HMAC. If the pavement exhibited fatigue distress it should be detected in base course. The results show deviation of properties of samples taken from the pavement and the recipe (the most possible reason was binder content above the recipe). More important observation is that properties of loaded (D) and unloaded (D') strips of section do not differ significantly. Similarly, ε_6 values calculated, being the estimation of fatigue life, do not differ (Fig. 9). Further, the pavement layers moduli back-calculated from FWD measurements demonstrated very close values (Table 5). All those results prove that anti-fatigue pavement structure fulfilled its role improving pavement durability.



Rysunek 21 Moduł sztywności i kąt przesunięcia fazowego AC WMS po HVS: recepta, odcinek obciążony HVS (D), odcinek nieobciążony (D')

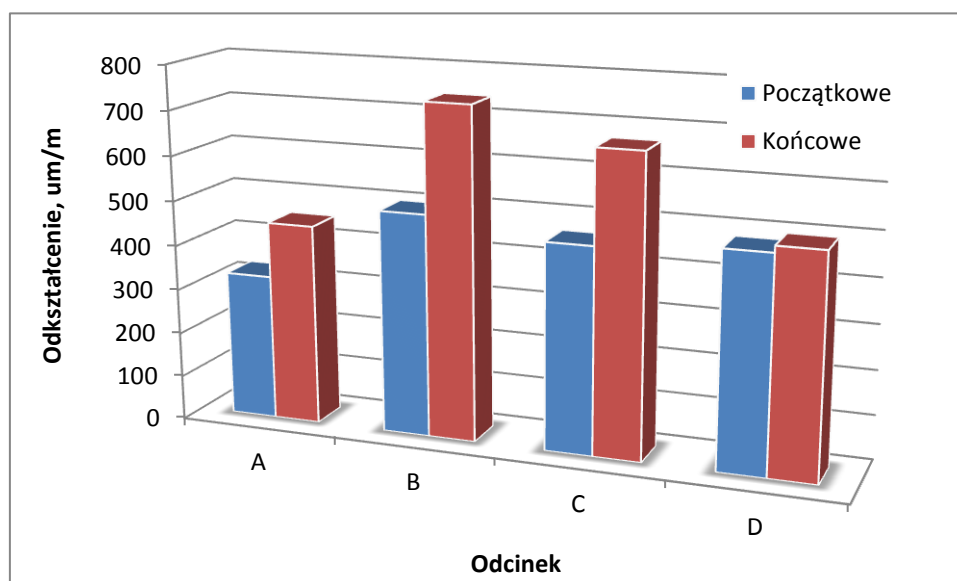


Rysunek 22. Trawłość zmęczeniowa parametr ϵ_6 AC WMS: recepta, odcinek obciążony HVS (D), odcinek nieobciążony HVS (D')

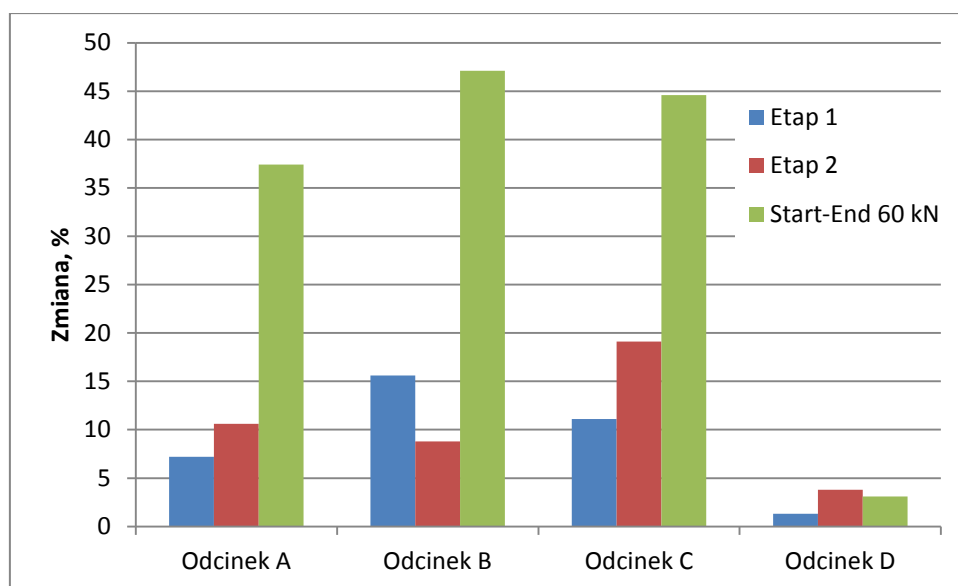
Tabela 3 Wyniki obliczeń odwrotnych FWD: odcinek obciążony HVS (D), odcinek nieobciążony (D')

Odcinek nieobciążony HVS (D')			Odcinek obciążony HVS (D)		
E1, MPa	E2, MPa	E3, MPa	E1, MPa	E2, MPa	E3, MPa
5254	374	177	5348	357	119

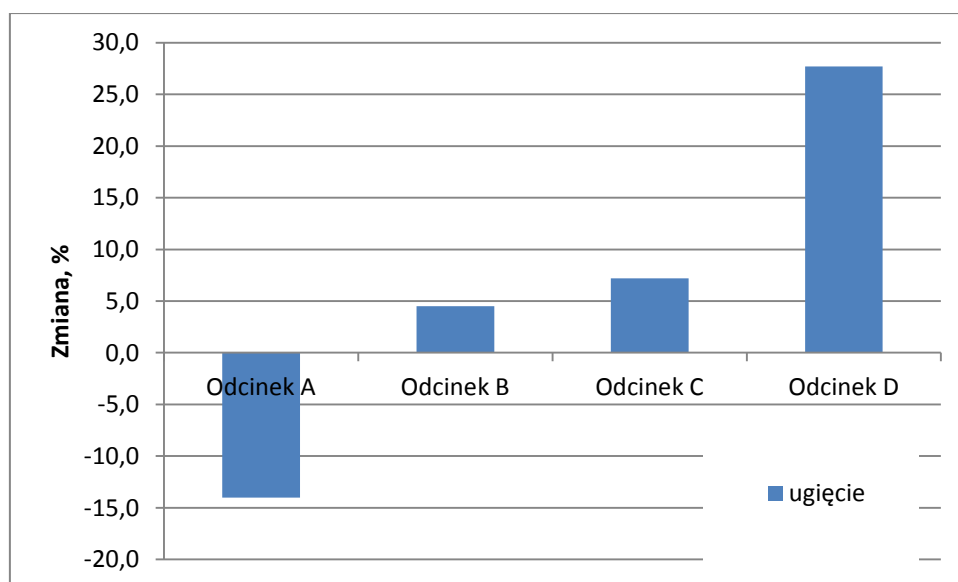
E1 – moduł nawierzchni, E2 – moduł podbudowy niezwiązanej, E3 – moduł podłoża gruntowego



Rysunek 23 Porównanie odsztatceń w spodzie warstw asfaltowych pod obciążeniem 60 kN uzyskanych na początku oraz na końcu badania HVS

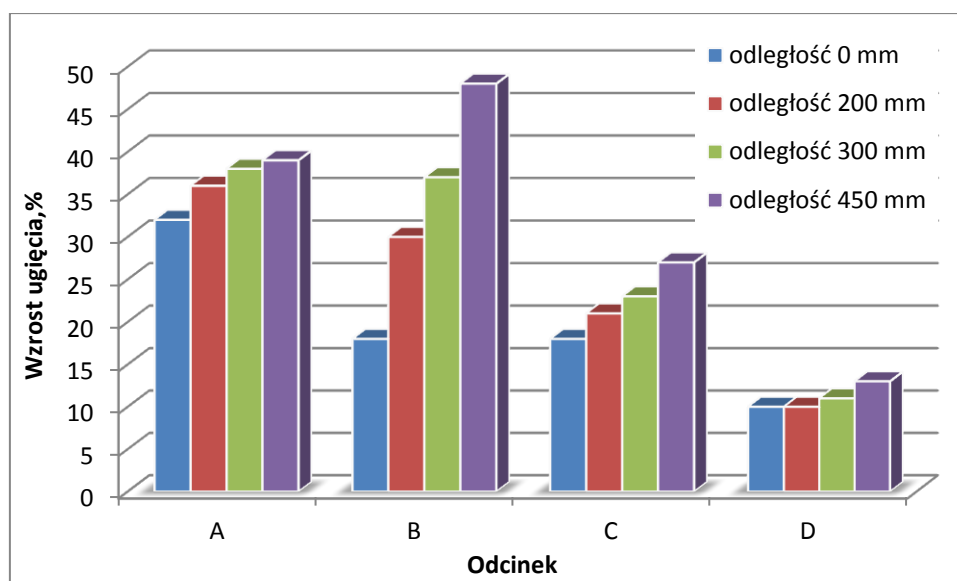


Rysunek 24 Przyrost odkształceń poziomych poprzecznych w spodzie warstw asfaltowych



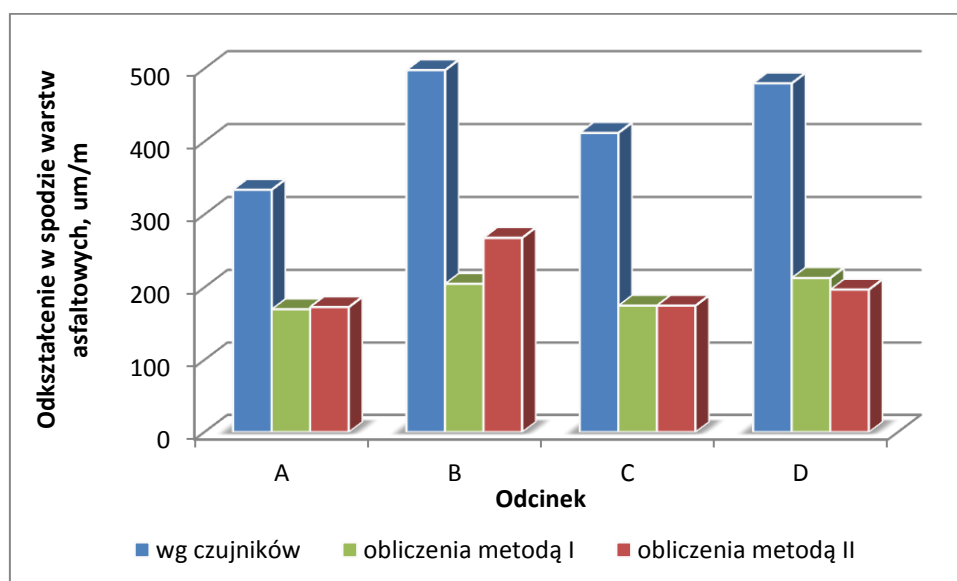
Rysunek 25 Zmiana odkształceń pionowych w podłożu gruntowym

Konstrukcje A i D miały zbliżone grubości warstw asfaltowych. W konstrukcji A występowały około 30 % mniejsze odkształcenia niż w konstrukcji D. Powodem tego jest umiejscowienie podatnej warstwy antyzmęczeniowej w spodzie warstw asfaltowych w konstrukcji D. Zaletą tego rozwiązania jest bardzo mały (około 10 razy mniejszy) przyrost odkształceń w spodzie warstw asfaltowych mierzony na początku i na końcu testu HVS pod obciążeniem 60 kN. Jeżeli uznać, że przyrost odkształceń w warstwie asfaltowej jest miarą postępowania procesu zmęczenia, to świadczy to tym, że uzyskano zamierzony efekt warstwy przeciwmęczeniowej.

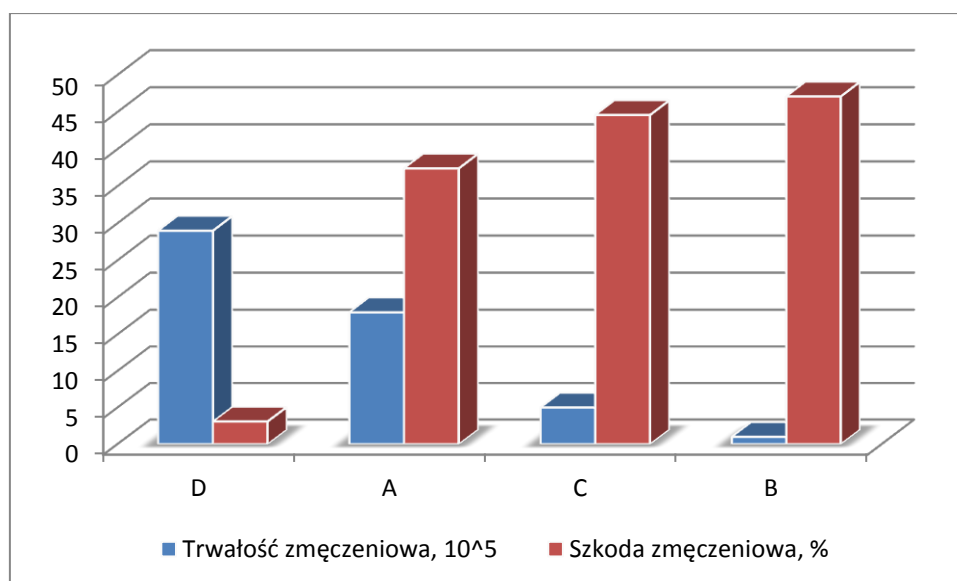


Rysunek 26 Zmiana ugięcia w badaniu FWD – odcinek obciążony i nieobciążony

Zaprojektowane i wybudowane odcinki testowe miały grubość warstw asfaltowych odpowiadającą grubości konstrukcji typowej jak dla kategorii ruchu KR2 wg katalogu [21], co odpowiada trwałości w przedziale od 90 tys. do 510 tys. osi 100 kN. Odcinki testowe były obciążane przez pierwsze 200 tysięcy przejazdów kołem o nacisku 60 kN, a przez ostatnie 100 tys. kołem o nacisku 80 kN. W przeliczeniu na oś 100 kN (koło 50 kN) konstrukcje podczas całego badania przeniosły obciążenie równoważne co najmniej 700 tys. osi 100 kN. Można więc stwierdzić, że konstrukcja z zapasem spełniła wymagania jak dla kategorii KR2.



Rysunek 27 Porównanie odształceń w spodzie warstw asfaltowych odczytanych z czujników i obliczonych metodą mechaniczną



Rysunek 28 Porównanie trwałości zmęczeniowej poszczególnych odcinków wg IA i szkody zmęczeniowej oszacowanej na podstawie analizy odkształceń pod obciążeniem 60 kN na początku i na zakończenie badania HVS

Nie stwierdzono uszkodzeń zmęczeniowych i deformacji strukturalnej, która przekraczałaby założone kryteria. Należy tutaj zauważyć, że dla konstrukcji przeznaczonych na niższe kategorie ruchu zazwyczaj decydującym kryterium jest trwałość ze względu na odkształcenia trwałe podłoża gruntowego (deformacja strukturalna konstrukcji). Wyniki obliczeń trwałości ze względu na zmęczenie warstw asfaltowych wskazywały, że konstrukcja nie powinna ulec znaczącym zniszczeniom zmęczeniowym w trakcie badania HVS. Znalazło to potwierdzenie zarówno w wynikach pomiarów HVS, jak i w obliczeniach metodą mechanistyczną. W obydwu przypadkach najlepsze wyniki (największą trwałość obliczeniową i najmniejszą szkodę zmęczeniową) uzyskała nawierzchnia odcinka D z warstwą antyzmęczeniową.

6 Zakończenie

Zwiększające się wymagania w stosunku do nawierzchni drogowych będące skutkiem rosnącego natężenia ruchu i większej agresywności pojazdów poruszających się po drogach dotyczą przede wszystkim:

- oczekiwania użytkowników zapewnienia płynności i bezpieczeństwa ruchu
- zmniejszenia częstotliwości napraw uszkodzeń nawierzchni
- poprawy warunków pracy ekip roboczych podczas zabiegów utrzymaniowych na drogach przy zwiększonym natężeniu ruchu – praca w drogownictwie staje się jednym z najbardziej niebezpiecznych zajęć
- potrzeby zwiększenia trwałości nawierzchni, co pozwoli na spełnienie określonych wcześniej wymagań.

Coraz większym zainteresowaniem administratorów dróg i współpracujących z nimi ośrodków badawczych jest nawierzchnia asfaltowa długowieczna. Przedstawione w niniejszym opracowaniu rezultaty dotychczasowych prac świadczą, że w wielu krajach prowadzi się intensywne prace obejmujące:

- obserwacje istniejących dróg w poszukiwaniu dobrych rozwiązań „przypadkowo” zaistniałych na tradycyjnie budowanych drogach, a spełniających kryteria długowieczności pod dużym obciążeniem ruchem
- intensywne i długotrwałe prace diagnostyczne oceny stanu istniejących nawierzchni z wykorzystaniem nowoczesnego dostępnego sprzętu pomiarowego (radar, ugięciomierz FWD itd.)
- prace badawcze zmierzające do:
 - określenia wymagań wobec materiałów
 - modelowania materiałów i nawierzchni
 - opracowania metod projektowania nawierzchni długowiecznych
 - opracowania nowych metod mechanistycznych oceny materiałów i trwałości projektowanej nawierzchni.

Obecnie istniejące w Polsce zalecenia i wymagania techniczne dają inwestorom, projektantom i wykonawcom możliwość projektowania i budowy nawierzchni o zwiększonej trwałości 30 lat. Nie spełnia to jeszcze warunków przyjmowanej już w wielu krajach trwałości nawierzchni długowiecznych 40 lub nawet 50 lat. Prace badawcze w poszukiwaniu rozwiązań materiałowych, technologicznych i projektowych umożliwiających powszechne wzmocnienie istniejących oraz budowę nowych nawierzchni spełniających zwiększone wymagania i zwiększające ich trwałość są niezwykle potrzebne z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia. Pomocne będą już stosowane rozwiązania materiałowe i technologiczne: beton asfaltowy o wysokim module sztywności, nawierzchnia asfaltowa z warstwą przeciwmęczeniową, wzmocnienie nawierzchni siatkami (stalowymi, węglowymi, polimerowymi). Pomocny będzie też przegląd dotychczasowych zastosowań nawierzchni z AC WMS.

1 Sybilski D.: Długowieczne nawierzchnie asfaltowe w świecie i w Polsce. *Drogownictwo* 3, 59, 2004, s. 79-86

2 Powell W.D., Potter J.F., Mayhew H.C., Nunn M.E.: *The structural design of bituminous roads*. TRRL LR 1132, 1984. HMSO, London

3 Leech D., Nunn M.E.: *Deterioration mechanisms in flexible pavements*. Second European Conference on the durability and performance of bituminous materials, University of Leeds, Leeds, UK, 1997

4 Nunn M.E.: *Long-life flexible roads*. Proceedings of the Eighth International Conference on Asphalt Pavements, 3-16, 1997

5 Huddleston P.E., Buncher M., Newcomb D.: *Perpetual Pavements*. *Asphalt Pavement Alliance*, <http://www.asphalalliance.com>

6 Ferne B., Nunn M.: The European Approach to Long Lasting Asphalt Pavements: A state-of-the-art review by ELLPAG. ISAP International Symposium on Construction and Maintenance of Long Lasting Asphalt Pavements, NCAT, Auburn, Alabama, 2004

7 Dumont A.-G., Beuving E., Christory J.-P., Jasiński A., Ortiz Garcia J., Piau J.-M., Sybilski D.: Long Life Pavements and success stories. World Road Association (PIARC/AIPCR), Technical Committee C4.3 report, 2007

8 Christensen J i in.: Long Life Pavements for Busy Roads. Summary Document. OECD, 2007

9 Brown S.F., Thom N.H., Hakim B.A.: Performance and Rehabilitation of Heavy-Duty Pavements in the UK: some Case Studies. ISAP International Symposium on Construction and Maintenance of Long Lasting Asphalt Pavements, NCAT, Auburn, Alabama, 2004

- 10 V  r  e F., Delorme J.-L.: *Enrob  s classiques et    module   lev  . Bilan de comportement des enrob  s    module   lev  *. Bull. de liaison des LCPC, 172, 1991
- 11 Nunn M., Smith T.: *Evaluation of enrobe    module   lev   (EME: A French high modulus roadbase material*. Transport Research Laboratory, Project Report 66, 1994
- 12 Serfass J.P., Bauduin A., Garnier J.F.: *High modulus asphalt mixes - laboratory evaluation, practical aspects and structural design*. 7th International Conference on Asphalt Pavements, ISAP, Nottingham 1992
- 13 Goacolou H., Dimitri A., Prudhomme F., Geroge L.A.: *Use of Subnormal Local Aggregates in High Modulus Asphalt Mixes*. 7th International Conference on Asphalt Pavements, ISAP, Nottingham 1992
- 14 Andersen P. J., Ertman-Larsen H. J., Thau M.: Long Life Pavements (LLP) – The Danish experience.
- 15 M E Nunn, A Brown, D Weston and J C Nicholls: Design of long-life flexible pavements for heavy traffic. TRL Report 250. Prepared for Highways Agency, British Aggregate Construction Materials Industries and the Refined Bitumen Association, 1997
- 16 D’Angelo J., Bukowski J., Harman T., Lord B.: FHWA’s Long Life Pavements Program. ISAP International Symposium on Construction and Maintenance of Long Lasting Asphalt Pavements, NCAT, Auburn, Alabama, 2004
- 17 Timm D., Young J.: The Effects of Load Spectra and Variability on Perpetual Pavement Design. ISAP International Symposium on Construction and Maintenance of Long Lasting Asphalt Pavements, NCAT, Auburn, Alabama, 2004
- 18 Thomas J. M., Newcomb D. E., Siekmeier J.: Foundation Requirements for HMA Perpetual Pavements. ISAP International Symposium on Construction and Maintenance of Long Lasting Asphalt Pavements, NCAT, Auburn, Alabama, 2004
- 19 Sybilski D., Luminari M., Hopman P.: Functional aspects of bituminous mixture design. 2nd Eurasphalt&Eurobitume Congress, Barcelona, Sept. 2000
- 20 Newcomb, D. E., Buncher, M., Huddleston, I. J. “Concepts of perpetual pavements.” Transportation Research Circular, No 503, Perpetual Bituminous Pavements, Washington, USA, 2001
- ²¹ Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i p  lsztynowych, IBDiM, Warszawa 1997