

2021

**PORADNIK
ASFALTOWY**

Poradnik Asfaltowy 2021
ORLEN Asfalt sp. z o.o., Polska

Autorzy:

dr inż. Krzysztof Błażejowski
mgr inż. Marta Wójcik-Wiśniewska
mgr inż. Wiktoria Baranowska
mgr inż. Przemysław Ostrowski

Copyright by ORLEN Asfalt sp. z o.o. Płock 2021

ORLEN Asfalt sp. z o.o.
ul. Łukasiewicza 39, 09-400 Płock
tel.: (+48) 24 25 69874
fax: (+48) 24 367 91 09
e-mail: asfalt@orlen-asfalt.pl

W Poradniku Asfaltowym 2021 wykorzystano fragmenty tekstów i rysunki, które były treścią wcześniejszych wydań w latach 2009-2018.

Zarówno ORLEN Asfalt sp. z o.o., jak i Autorzy dołożyli wszelkiej staranności, aby podane informacje były wiarygodne i dokładne. Jednak ani Spółka, ani autorzy nie ponoszą jakiegokolwiek odpowiedzialności za skutki zastosowania informacji zawartych w niniejszej publikacji, a w szczególności za straty w jakiegokolwiek postaci i formie. Wykorzystując dane zawarte w publikacji Czytelnik czyni to na własną odpowiedzialność.

LIST OD ZARZĄDU

SZANOWNI PAŃSTWO, DRODZY CZYTELNICY!

Z satysfakcją przekazujemy na Państwa ręce siódme już wydanie Poradnika Asfaltowego – jedynej takiej publikacji w Polsce, stanowiącej usystematyzowany zbiór wiedzy na temat lepszycy asfaltowych oraz informacji na temat ich efektywnego wykorzystania w praktyce.

Publikacja w sposób kompleksowy opisuje właściwości asfaltów, ich funkcjonalność oraz wiele zagadnień związanych z ich produkcją, logistyką, czy wykorzystaniem do produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych. Wiedza zawarta w Poradniku może być zatem przydatna na każdym etapie budowy dróg: od fazy projektowania, poprzez badania i rozwój, na wykonawstwie kończąc.

Autorzy w Poradniku Asfaltowym tłumaczą podstawowe kwestie związane ze stosowaniem asfaltów oraz bardziej skomplikowane zagadnienia, dotyczące badania ich właściwości. Z tego względu Poradnik może być wartościowym źródłem wiedzy zarówno dla osób, które znajdują się dopiero na początku swojej drogi pracy z asfaltami, jak i specjalistów w tej dziedzinie.



Marek Pietrzak
Prezes Zarządu

Zarząd Spółki ORLEN Asphalt



Alan Steinbarth
Członek Zarządu

SPIS TREŚCI

INFORMACJA O FIRMIE	8
PRODUKTY	8
 1. LEPISZCZA ASFALTOWE – WYMAGANIA I PRZEZNACZENIE	 9
1.1. HISTORIA ASFALTU	9
1.2. DOKUMENTY ODNIESIENIA I WYMAGANIA	10
1.3. ASFALTY DROGOWE	11
1.3.1. SYSTEMATYKA OZNACZANIA ASFALTÓW DROGOWYCH	12
1.3.2. WYMAGANIA WOBEC ASFALTÓW DROGOWYCH	12
1.3.3. CHARAKTERYSTYKA ASFALTÓW DROGOWYCH	13
1.3.4. PRZEZNACZENIE ASFALTÓW DROGOWYCH	14
1.4. ASFALTY MODYFIKOWANE POLIMERAMI	16
1.4.1. SYSTEMATYKA OZNACZANIA ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH POLIMERAMI	17
1.4.2. WYMAGANIA WOBEC ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH POLIMERAMI	18
1.4.3. CHARAKTERYSTYKA ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH POLIMERAMI	20
1.4.4. PRZEZNACZENIE ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH POLIMERAMI	20
1.5. ASFALTY WYSOKOMODYFIKOWANE POLIMERAMI	24
1.5.1. SYSTEMATYKA OZNACZANIA ASFALTÓW WYSOKOMODYFIKOWANYCH POLIMERAMI	24
1.5.2. WYMAGANIA WOBEC ASFALTÓW WYSOKOMODYFIKOWANYCH POLIMERAMI	25
1.5.3. CHARAKTERYSTYKA ASFALTÓW WYSOKOMODYFIKOWANYCH POLIMERAMI	26
1.5.4. PRZEZNACZENIE ASFALTÓW WYSOKOMODYFIKOWANYCH POLIMERAMI	26
1.6. ASFALTY UTLENIONE (PRZEMYSŁOWE) WG PN-EN 13304	29
1.6.1. SYSTEMATYKA OZNACZANIA ASFALTÓW UTLENIONYCH	29
1.6.2. WYMAGANIA WOBEC ASFALTÓW UTLENIONYCH	30

2. PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI LEPISZCZY ASFALTOWYCH 32

2.1. WPROWADZENIE DO STATYSTYKI 32

2.1.1. PARAMETRY STATYSTYCZNE, DEFINICJE	33
2.1.2. SPOSOBY PRZEDSTAWIANIA DANYCH STATYSTYCZNYCH	35
2.1.3. INTERPRETACJA WYNIKÓW KONTROLNYCH (ODBIORCZYCH)	36
2.1.3.1. DEFINICJE ZWIĄZANE Z PRAWIDŁOWĄ INTERPRETACJĄ WYNIKÓW KONTROLNYCH	37
2.1.3.2. INTERPRETACJA WYNIKÓW BADAŃ ZGODNIE Z PN-EN ISO 4259	39

2.2. WYNIKI WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI LEPISZCZY ASFALTOWYCH 41

2.2.1. PENETRACJA W 25°C.....	41
2.2.2. TEMPERATURA MIĘKNIENIA	45
2.2.3. TEMPERATURA ŁAMLIWOŚCI	49
2.2.4. LEPKOŚĆ	53
2.2.5. ODPORNOŚĆ NA STARZENIE.....	61
2.2.5.1. POZOSTAŁA PENETRACJA PO STARZENIU	62
2.2.5.2. WZROST I SPADEK TEMPERATURY MIĘKNIENIA PO STARZENIU	63
2.2.5.3. ZMIANA MASY PO STARZENIU	64
2.2.6. GĘSTOŚĆ ASFALTÓW.....	65

2.3. WŁAŚCIWOŚCI DODATKOWE DLA ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH POLIMERAMI..... 66

2.3.1. NAWRÓT SPRĘŻYSTY W 25°C PRZED I PO STARZENIU RTFOT.....	66
2.3.2. ZAKRES PLASTYCZNOŚCI	69
2.3.3. MIKROSTRUKTURA	70
2.3.4. SIŁA ROZCIĄGANIA (KOHEZJA)	72

3. WŁAŚCIWOŚCI FUNKCYJONALNE ASFALTÓW 74

3.1. WPROWADZENIE..... 74

3.2. PODSTAWY REOLOGII..... 75

3.3. PROGRAM BADAŃ..... 77

3.4. WYNIKI BADAŃ 77

3.4.1. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI NISKOTEMPERATUROWYCH.....	77
3.4.2. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI W REOMETRZE DYNAMICZNEGO ŚCINANIA	83
3.4.2.1. ZALEŻNOŚĆ ZESPOŁONEGO MODUŁU SZTYWNOŚCI $ G^* $ I KĄTA PRZESUNIĘCIA FAZOWEGO OD TEMPERATURY I CZASU OBCIĄŻENIA.....	83
3.4.2.2. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI WYSOKOTEMPERATUROWYCH.....	87
3.4.2.3. TEST MSCR.....	88
3.4.2.4. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI W POŚREDNICH WARTOŚCIACH TEMPERATURY	92
3.4.3. KLASYFIKACJA LEPISZCZY ASFALTOWYCH WG SYSTEMU <i>PERFORMANCE GRADE</i>	94

4. WŁAŚCIWOŚCI ZMĘCZENIOWE LEPISZCZY ASFALTOWYCH..... 96

4.1. ZJAWISKO ZMĘCZENIA NAWIERZCHNI ASFALTOWEJ..... 96

4.2. BADANIA ZMĘCZENIOWE LEPISZCZY ASFALTOWYCH 97

4.2.1. ZMĘCZENIOWA TEMPERATURA KRYTYCZNA FCCT 97

4.2.2. TEST *TIME SWEEP* 98

4.2.3. TEST LINIOWEGO PRZEMIATANIA AMPLITUDĄ (LINEAR AMPLITUDE SWEEP TEST)..... 98

4.3. PROGRAM BADAŃ..... 99

4.4. WYNIKI BADAŃ 99

4.5. WNIOSKI..... 101

5. TECHNOLOGIA STOSOWANIA ASFALTÓW.....102

5.1. TEMPERATURY TECHNOLOGICZNE 102

5.1.1. TEMPERATURY TECHNOLOGICZNE ASFALTÓW DROGOWYCH 103

5.1.2. TEMPERATURY TECHNOLOGICZNE ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH 104

5.1.3. STARZENIE ASFALTU A TEMPERATURY TECHNOLOGICZNE..... 105

5.1.4. ADEKWATNOŚĆ TEMPERATURY PRZYGOTOWANIA PRÓBEK W LABORATORIUM 105

5.2. PRÓBKI ASFALTÓW W LABORATORIUM 106

5.3. PRZYZEPNOŚĆ ASFALTU DO KRUSZYW MINERALNYCH 107

5.4. MAGAZYNOWANIE LEPISZCZY ASFALTOWYCH..... 108

5.4.1. UWAGI OGÓLNE 108

5.4.2. MAGAZYNOWANIE ASFALTÓW DROGOWYCH 110

5.4.3. MAGAZYNOWANIE ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH POLIMERAMI..... 111

5.4.4. MAGAZYNOWANIE ASFALTÓW WYSOKOMODYFIKOWANYCH POLIMERAMI..... 112

5.4.5. INNE ZALECENIA 112

5.5. PRODUKCJA MIESZANKI MINERALNO-ASFALTOWEJ..... 113

5.6. TRANSPORT MIESZANKI MINERALNO-ASFALTOWEJ 114

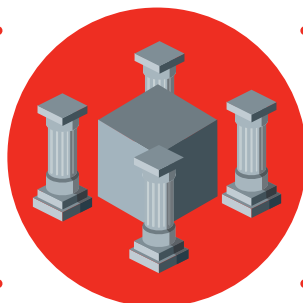
5.7. WBUDOWYWANIE..... 115

5.8. SORBENTY DO ZBIERANIA ROZLANEGO OLEJU NA PODŁOŻU 116

5.9. TEMPERATURY TECHNOLOGICZNE – PODSUMOWANIE 116

6. ZALECENIA PROJEKTOWANIA MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH Z ORBITON HIMA	119
6.1. WPROWADZENIE.....	119
6.2. PROGRAM BADAŃ.....	120
6.3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI Z PRZEPROWADZONYCH BADAŃ.....	121
7. OMÓWIENIE PROJEKTU NORMY prEN 14023	124
7.1. NOWY ZAŁĄCZNIK KRAJOWY DO NORMY PN-EN 14023.....	124
7.2. PROJEKT NOWELIZACJI NORMY EN 14023	124
7.2.1. WŁAŚCIWOŚCI LEPKOSPĘŻYSTE: $ G^* $ ORAZ δ	126
7.2.2. BADANIE MSCR.....	128
7.2.3. BADANIE W BBR.....	129
7.3. PODSUMOWANIE.....	130
8. BEZPIECZEŃSTWO PRACY Z ASFALTAMI I OCHRONA ŚRODOWISKA	131
8.1. ASFALTY – INFORMACJE OGÓLNE.....	131
8.2. KLASYFIKACJA ASFALTÓW ZGODNIE Z ROZPORZĄDZENIEM REACH	132
8.3. KLASYFIKACJA ASFALTÓW ZGODNIE Z ROZPORZĄDZENIEM CLP	133
8.4. TRANSPORT ASFALTU ZGODNIE Z RID ORAZ ADR	133
8.5. POTENCJALNE ZAGROŻENIA DLA ZDROWIA PODCZAS STOSOWANIA LEPISZCZY ASFALTOWYCH ..	134
8.5.1. POŻAR ASFALTU	134
8.5.2. OPARZENIA GORĄCYM ASFALTEM	135
8.5.3. NARAŻENIE NA OPARY ASFALTÓW	136
8.5.4. WIELOPIERŚCIENIOWE WĘGLOWODORY AROMATYCZNE (WWA)	139
8.5.5. SIARKOWODÓR	141
8.5.6. PIENIENIE ASFALTU W OBECNOŚCI WODY.....	142
8.5.7. ODDZIAŁYWANIE ASFALTU NA ŚRODOWISKO	142
8.5.8. INNE ZAGROŻENIA.....	142
ZARZĄD ORLEN ASFALT SP. Z O.O.	144
BIURO BADAŃ, ROZWOJU I INNOWACJI.	144
AUTORZY	145
BIBLIOGRAFIA	146

INFORMACJA O FIRMIE



ORLEN Asphalt – podstawowe informacje

Spółka należy do Grupy ORLEN i jest jednym z największych w Polsce i Europie Środkowo-Wschodniej dostawców lepiszcza asfaltowego wykorzystywanego do produkcji nawierzchni drogowych. Od października 2012 roku ORLEN Asphalt jest właścicielem czeskiej spółki ORLEN Asphalt Česká republika, zajmującej się sprzedażą asfaltów produkowanych w Litvinovie i Pardubicach. W 2019 roku Grupa ORLEN sprzedała 1,56 mln ton asfaltów, co jest najlepszym wynikiem w historii aktywności firmy na rynku. Prawie połowę tej sprzedaży zrealizowała spółka ORLEN Asphalt.

Jesteśmy liderem we wdrażaniu innowacyjnych technologii asfaltowych. W roku 2014 spółka ORLEN Asphalt jako pierwsza wprowadziła na polski rynek grupę produktów wysokomodyfikowanych polimerami pod nazwą handlową ORBITON HiMA. Dzisiaj jest to jeden z najszybciej rozwijających się kierunków technologii budowy nawierzchni drogowych. Prowadzone przez nas badania potwierdzają, że pod względem właściwości funkcjonalnych są to najlepsze produkty, przeznaczone do zastosowań na drogach obciążonych ciężkim ruchem.

ORLEN Asphalt sp. z o.o.

Spółka należy do Grupy ORLEN i jest jednym z największych w Polsce i Europie Środkowo-Wschodniej dostawców lepiszcza asfaltowego wykorzystywanego do produkcji nawierzchni drogowych. Od października 2012 roku ORLEN Asphalt jest właścicielem czeskiej spółki ORLEN Asphalt Česká republika, zajmującej się sprzedażą asfaltów produkowanych w Litvinovie i Pardubicach. W 2019 roku Grupa ORLEN sprzedała 1,56 mln ton asfaltów, co jest najlepszym wynikiem w historii aktywności firmy na rynku. Prawie połowę tej sprzedaży zrealizowała spółka ORLEN Asphalt.



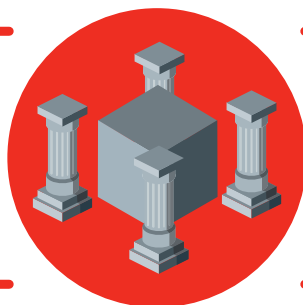
PRODUKTY

W ramach segmentu asfaltowego Grupy ORLEN dostarczamy produkty z pięciu ośrodków produkcyjnych zlokalizowanych w Polsce (Płock, Trzebinia), Czechach (Pardubice, Litvinov) oraz na Litwie (Możejki).

PRODUKTY		
PŁOCK, TRZEBINIA (POLSKA)	PARDUBICE, LITVÍNŮV (CZECHY)	MOŻEJKI (LITWA)
ASFALTY DROGOWE	ASFALTY DROGOWE	ASFALTY DROGOWE
ASFALTY MODYFIKOWANE POLIMERAMI	ASFALTY DROGOWE TWARDE	ASFALTY V6000
ASFALTY WYSOKOMODYFIKOWANE	ASFALTY WIELORODZAJOWE	ASFALTY V12000
ASFALTY PRZEMYSŁOWE	ASFALTY MODYFIKOWANE POLIMERAMI	
	ASFALTY WYSOKOMODYFIKOWANE	
	ASFALTY PRZEMYSŁOWE	
	ASFALTY UTLENIONE	
	ASFALTY DO RECYKLINGU	

1. LEPSZCZA ASFALTOWE – WYMAGANIA I PRZEZNACZENIE

1.1. HISTORIA ASFALTU



Asfalt jako materiał znany jest od starożytności [1]. Na początku pozyskiwany był z depozytów skalnych, z których wydobywano go w postaci gęstej, ciemnej cieczy. Asfalt naturalny może występować zarówno w postaci skał nasyconych asfaltem, a także jezior asfaltowych, asfaltytów, piasków bitumicznych czy pirobitumów [2]. Pierwsze zastosowanie asfaltu naturalnego datuje się na lata około 3800 p.n.e. Był on wówczas wykorzystywany przez Sumerów do uszczelniania łodzi wykonanych z trzciny. Jako lepiszcze spajające bloki kamienne posadzek i ścian został użyty po raz pierwszy w okolicach Bagdadu ok. XXX w. p.n.e. [2]. Pierwsze udokumentowane użycie asfaltu w drogownictwie przypisuje się konstruktorom Drogi Procesyjnej w Babilonie za panowania króla Nabopolassara ok. 615 r. p.n.e. Według odnalezionych inskrypcji droga była wykonana z wypalanych cegieł spojonych asfaltem [3]. Z kolei starożytni Egipcjanie wykorzystywali konserwujące właściwości asfaltu do mumifikacji zwłok. W Imperium Rzymskim był on z kolei wykorzystywany do uszczelniania basenów, zbiorników wodnych oraz akweduktów. Wiele wieków później, w 1595 r., Sir Walther Raleigh płynąc do Nowego Świata odkrył naturalne jezioro asfaltowe na wyspie Trynidad u wybrzeży Wenezueli. Korzystając z jego zasobów był w stanie uszczelnić uszkodzone podczas żeglugi statki.

Pomimo długiej historii stosowania, lepiszcze asfaltowe jako materiał wykorzystywany w drogownictwie, zostało upowszechnione dopiero w XIX w. W Paryżu na Placu de la Concorde w roku 1837 wykonano pierwszą nawierzchnię z płyt asfaltowych, a 21 lat później również w Paryżu ułożono nawierzchnię z przekruszonych, zagęszczonych skał asfaltowych [2]. W USA pierwsza nawierzchnia bitumiczna

została zbudowana w 1870 r. przez belgijskiego chemika Edmunda J. DeSmedt'a. Wzorując się na nawierzchni wykonanej w Paryżu, wbudował on mieszankę mineralno-asfaltową w Newark, w New Jersey.

Koniec XIX wieku okazał się kluczowy dla rozwoju nawierzchni asfaltowych. Po pierwsze opracowana została technologia przerobu ropy naftowej. Po drugie, opony pneumatyczne – wynalazek Johna Dunlopa z 1888 roku, coraz szybciej się upowszechniały, co zmusiło zarządców sieci drogowych do budowania lepszych nawierzchni, o odpowiedniej równości oraz ograniczających pylenie za coraz szybciej poruszającymi się pojazdami. Dzięki temu, nastąpił prawdziwy przełom w rozwoju nawierzchni wykonywanych z udziałem asfaltów łożyskowych. W Polsce i w Europie za pioniera w dziedzinie destylacji ropy naftowej uważa się Ignacego Łukasiewicza. Po raz pierwszy zaprezentował otrzymane przetwory naftowe – w tym asfalt – na wystawie w Jaśle w 1858 r. [2]. W USA produkcję przemysłową asfaltów otrzymywanych z utlenienia pozostałości po destylacji ropy naftowej rozpoczęto w 1894 r. [2]. Już w 1902 r. produkcja lepiszczy asfaltowych w USA osiągnęła pułap ok. 20 tys. ton. W Polsce nawierzchnie asfaltowe wykonywane przy użyciu asfaltów łożyskowych zaczęto stosować dopiero po I wojnie światowej. Jednakże nawierzchnie bitumiczne były znane w Polsce już w pierwszej połowie XIX w. Stanisław Wysocki próby wykorzystania mieszanek smołowych (żwiru otoczone smołowcem) prowadził od 1837 r., a już w 1838 r. z powodzeniem udało mu się zastosować ten materiał do wykonania nawierzchni chodników i pokryć dachowych w Warszawie (m.in. chodnik przy Placu Bankowym, chodnik

wokół Zamku Królewskiego, pokrycie kruchty Katedry św. Jana). Pierwsza w Polsce fabryka smołowca, w której produkowano lepiszcze przy użyciu smoły roślinnej, margli i wapna została uruchomiona przez niego w Augustowie w 1838 r. [12].

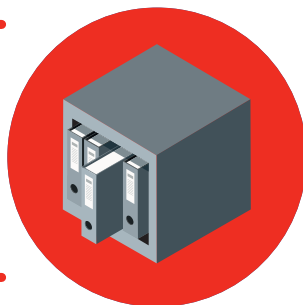
Asfalty ponaftowe do budowy dróg na początku XX w. pochodziły w znacznej większości z rafinerii Polmin w Drohobyczu [2]. W okresie międzywojennym produkowano w naszym kraju kilkanaście tysięcy ton lepiszczy rocznie, co odpowiada obecnie przeciętnemu rocznemu zapotrzebowaniu trzech wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych, z których każda produkuje po około 100 000 ton mma.

Od czasu wynalezienia, sama technologia przerobu ropy naftowej oraz technologia produkcji asfaltów została znacznie udoskonalona. Znaczącym krokiem w rozwoju technologii

nawierzchni drogowych było rozpoczęcie modyfikacji asfaltu naturalnymi i syntetycznymi polimerami. W latach osiemdziesiątych XX w. po raz pierwszy wyprodukowano polimer typu SBS [13]. W Europie i w USA stosowanie lepiszczy modyfikowanych polimerami na większą skalę nastąpiło w latach osiemdziesiątych [14]. W Polsce pierwsze stosowanie lepiszczy modyfikowanych w rafinerii miało miejsce w pierwszej połowie lat dziewięćdziesiątych XX w.

Obecnie rynek asfaltowy w Polsce przekracza 1 mln ton lepiszczy rocznie, osiągając w latach szczytowego popytu nawet 1,5 mln. Oznacza to jednocześnie, że w Polsce rocznie produkuje się ponad 20 mln ton mieszanek mineralno-asfaltowych, a w latach największego natężenia robót drogowych nawet do 30 mln ton mieszanek mineralno-asfaltowych. Około 20-25% wszystkich sprzedawanych lepiszczy w kraju to asfalty modyfikowane polimerami.

1.2. DOKUMENTY ODNIESIENIA I WYMAGANIA



Lepiszczta asfaltowe stosowane do budowy dróg są wyrobami budowlanymi, którymi obrót i zasady produkcji reguluje Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r., w Polsce dodatkowo Ustawa o wyrobach budowlanych i szereg rozporządzeń wykonawczych.

System wymagań związanych z wyrobami budowlanymi nie obowiązuje w przypadku asfaltów utlenionych, które zwykle są surowcem do produkcji innych materiałów (mas uszczelniających, pap itd.).

W przypadku lepiszczy do zastosowań drogowych, dla każdego rodzaju asfaltu zostały wprowadzone wymagania, które muszą zostać spełnione, aby dany produkt mógł zostać wprowadzony do obrotu.

Zgodność właściwości lepiszczy drogowych z wymaganiami odpowiedniej normy i z podanymi w niej wartościami (łącznie z klasami) powinna być wykazana poprzez:

- wstępne badanie typu;
- zakładową kontrolę produkcji (ZKP).

Normy asfaltowe wymagają, aby producent wdrożył, udokumentował i utrzymywał zakładową kontrolę produkcji. System ZKP powinien składać się z procedur, regularnych inspekcji i badań, a wyniki powinny być wykorzystane do oceny jakości gotowego wyrobu. W każdej normie, w rozdziale ZA, zawarte są wymagania odnośnie sprawdzania i konserwacji wyposażenia i urządzeń produkcyjnych. Podane zostały także sposoby kontroli właściwości, a mianowicie:

- wszystkie właściwości, zgodnie z postanowieniem dotyczącym badań typu, powinny zostać poddane badaniom co najmniej raz w roku;
- bieżąca kontrola jakości wyrobu powinna obejmować sprawdzenie rodzaju, częstość kontroli powinna być udokumentowana i powinna zapewniać, że właściwości nie zmieniły się znacząco od określonych we wstępnych badaniach typu.

Lepszcza przeznaczone do budowy dróg, lotnisk i innych powierzchni przenoszących ruch kołowy są objęte systemem oceny zgodności „2+”, w którym wymagane jest, aby producent posiadał wdrożony system Zakładowej Kontroli Produkcji potwierdzony Certyfikatem ZKP, wystawionym przez jednostkę notyfikowaną. Załącznik ZA zawiera ponadto procedurę oceny zgodności wyrobu, podział zadań pomiędzy producenta i jednostkę notyfikowaną, rozdział dotyczący certyfikatu i deklaracji

właściwości użytkowych oraz oznakowania CE i etykietowania.

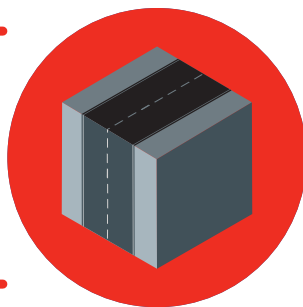
W tabeli 1.1. przedstawiono produkowane obecnie lepszczasfaltowe wraz z obowiązującymi dokumentami odniesienia. Pogrubioną czcionką zaznaczono grupy produktów znajdujące się w ofercie ORLEN Asfalt, które w kolejnych punktach rozdziału opisano pod kątem właściwości, wymagań oraz rekomendowanego zastosowania.

Tabela 1.1.

Przyporządkowanie norm europejskich do różnych rodzajów lepszczasfaltowych oraz numery Certyfikatów ZKP dla miejsc produkcji w ramach Grupy ORLEN

RODZAJ LEPSZCZASFALTOWEGO	DOKUMENT ODNIESIENIA	NUMER CERTYFIKATU ZKP
Asfalty drogowe	PN-EN 12591	1434-CPR-0183 w Płocku 1434-CPR-0185 w Trzebini 1020-CPR-090030197 w Pardubicach 1020-CPR-090031819 w Litwinowie 1567-CPD-0064 w Możejkach
Twarde asfalty drogowe Asfalty wielorodrajowe	PN-EN 13924-1 PN-EN 13924-2	1020-CPR-090033991 14 0300SV/ITC/a w Pardubicach
Asfalty modyfikowane polimerami Asfalty wysokomodyfikowane polimerami	PN-EN 14023	1434-CPR-0184 w Płocku 1434-CPR-0186 w Trzebini 1023-CPR-1055F w Pardubicach
Asfalty fluksowane i upłynnione	PN-EN 15322	—
Kationowe emulsje asfaltowe	PN-EN 13808	1023-CPR-0629F w Pardubicach
Asfalty utlenione	PN-EN 13304	nie dotyczy
Twarde asfalty przemysłowe	PN-EN 13305	nie dotyczy

1.3. ASFALTY DROGOWE



Asfalty drogowe oferowane przez ORLEN Asfalt produkowane są zgodnie z wymaganiami normy: PN-EN 12591:2010

Norma PN-EN 12591:2010 *Asfalty i lepszczasfaltowe. Wymagania dla asfaltów drogowych* jest normą częściowo klasyfikacyjną, tzn. większość wymagań jest stała, a tylko dla kilku pozostawiono swobodę wyboru krajom członkowskim CEN. Norma przedstawia zasady określenia właściwości i odpowiednich metod badań asfaltów przeznaczonych do budowy i utrzymania dróg, lotnisk i innych nawierzchni przenoszących ruch kołowy oraz zawiera pełne wymagania odnośnie oceny zgodności.

1.3.1. SYSTEMATYKA OZNACZANIA ASFALTÓW DROGOWYCH

Asfalty drogowe, produkowane w oparciu o wymagania normy PN-EN 12591:2010, oznacza się zgodnie z systematyką podaną w tabeli 1.2.

Tabela 1.2.

Systematyka oznaczania asfaltów drogowych produkowanych zgodnie z normą PN-EN 12591

RODZAJ LEPISZCZA ASFALTOWEGO	ASFALT DROGOWY
Dokument odniesienia	PN-EN 12591:2010
Oznaczenie normowe lepiszcza asfaltowego	XX/YY
Rodzaj lepiszcza asfaltowego produkowanego przez Grupę ORLEN	20/30, 35/50, 50/70, 70/100, 100/150, 160/220

Objaśnienia do oznaczeń:

XX – dolna granica penetracji w 25°C danego rodzaju asfaltu [0,1 mm]

YY – górna granica penetracji w 25°C danego rodzaju asfaltu [0,1 mm]

1.3.2. WYMAGANIA WOBEC ASFALTÓW DROGOWYCH

W tabeli 1.3. przedstawiono wymagania dotyczące asfaltów drogowych przeznaczonych do stosowania w Polsce, wg informacji zamieszczonych w Załączniku Krajowym do normy PN-EN 12591:2010.

Tabela 1.3.

Wymagania dotyczące asfaltów drogowych w Polsce o penetracji od 20 × 0,1 mm do 220 × 0,1 mm wg Załącznika krajowego NA do normy PN-EN 12591:2010

WŁAŚCIWOŚĆ	METODA BADANIA	JEDNOSTKA	RODZAJ ASFALTU DROGOWEGO						
			20/30	35/50	50/70	70/100	100/150	160/220	
Właściwości stosowane do wszystkich asfaltów drogowych wymienionych w tej tablicy	Penetracja w 25°C	PN-EN 1426	0,1 mm	20-30	35-50	50-70	70-100	100-150	160-220
	Temperatura mięknienia	PN-EN 1427	°C	55-63	50-58	46-54	43-51	39-47	35-43
	Odporność na starzenie w 163°C	PN-EN 12607-1 (metoda RTFOT)	—	—	—	—	—	—	
	Pozostała penetracja		%	≥ 55	≥ 53	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
	Wzrost temperatury mięknienia		°C	≤ 8	≤ 8	≤ 9	≤ 9	≤ 10	≤ 11
	Zmiana masy* (wartość bezwzględna)		%	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
	Temperatura zapłonu		PN-EN ISO 2592	°C	≥ 240	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 230
	Rozpuszczalność	PN-EN 12592	% (m/m)	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0

* zmiana masy może być wartością dodatnią lub ujemną

Tabela 1.3. cd.Wymagania dotyczące asfaltów drogowych w Polsce o penetracji od $20 \times 0,1$ mm do $220 \times 0,1$ mm wg Załącznika krajowego NA do normy PN-EN 12591:2010

WŁAŚCIWOŚĆ	METODA BADANIA	JEDNOSTKA	RODZAJ ASFALTU DROGOWEGO					
			20/30	35/50	50/70	70/100	100/150	160/220
Właściwości uwzględniające szczególne warunki krajowe	Indeks penetracji	PN-EN 12591 Załącznik A	—	NR	NR	NR	NR	NR
	Lepkość dynamiczna w 60°C	PN-EN 12596	Pa · s	NR	NR	NR	NR	NR
	Temperatura łamliwości Fraassa	PN-EN 12593	°C	NR	≤ -5	≤ -8	≤ -10	≤ -12
	Lepkość kinematyczna w 135°C	PN-EN 12595	mm ² /s	NR	NR	NR	NR	NR

NR – (No Requirement) – oznacza brak wymagań dla danej właściwości

Obecnie trwają prace nad aktualizacją normy EN 12591. Projekt normy prEN 12591 przygotowanej przez CEN ukazał się w 2017 roku. Tak jak obowiązująca wersja normy, zawiera on zasady określenia właściwości i odpowiednich metod badań asfaltów drogowych. Przedstawia dodatkowo informacje odnośnie systemu oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych (AVCP – *System of Assessment and Verification of Constancy of Performance*). W projekcie uwzględniono również zmiany konieczne do zapewnienia zgodności z Rozporządzeniem w sprawie wyrobów budowlanych CPR.

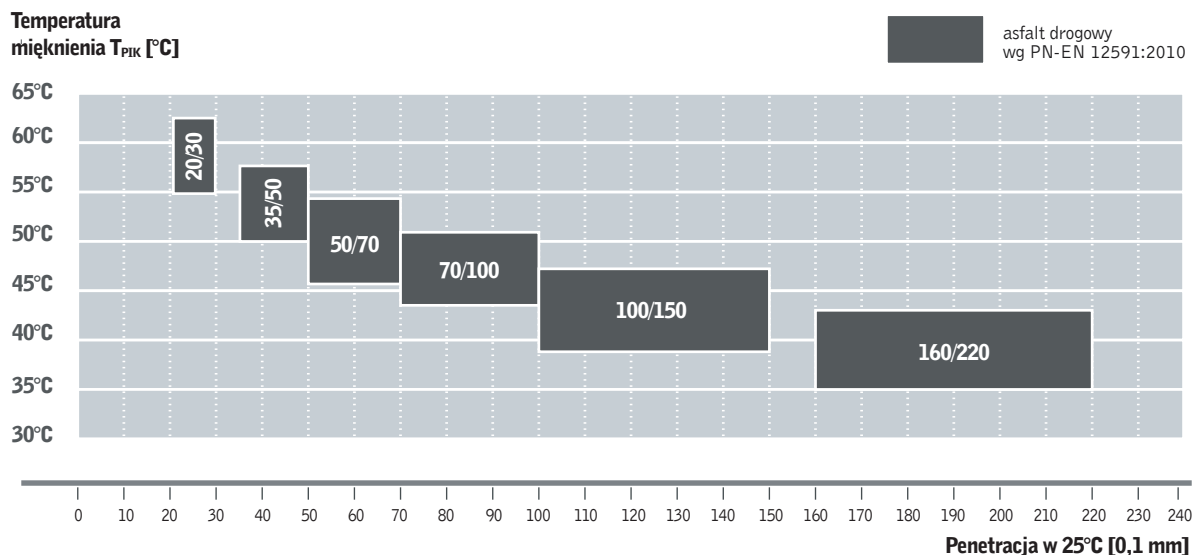
Najbardziej istotne zmiany w stosunku do obecnie obowiązującej wersji normy wprowadza załącznik B, w którym wskazane zostały nowe metody badań asfaltów drogowych tj. badania w reometrze zginanej belki (BBR) oraz badania w reometrze dynamicznego ścinania (DSR). Badania będą wykorzystywane w przyszłości do oceny właściwości użytkowych asfaltów drogowych. Są to, na dzień dzisiejszy „Właściwości informacyjne”, które dostawca lepszczu powinien udostępnić jako pojedynczą wartość RV (*Reported Value – Odnotowana Wartość*). Obecnie nie wiadomo, kiedy ukaże się nowe wydanie tej normy.

1.3.3. CHARAKTERYSTYKA ASFALTÓW DROGOWYCH

Asfalty drogowe to najpopularniejsze lepszczu drogowe do mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco stosowanych do budowy nawierzchni drogowych.

Wszystkie asfalty drogowe znajdujące się w ofercie ORLEN Asphalt kwalifikują się do grupy asfaltów drogowych o przedziale penetracji $20 \div 220$ [0,1 mm] badanej w temperaturze 25°C.

Na rysunku 1.1. przedstawiono graficzne porównanie podstawowych właściwości asfaltów dla dwóch najbardziej popularnych parametrów charakteryzujących lepszczu asfaltowe – penetracji w 25°C i temperatury mięknięcia T_{PIK} .



Rys. 1.1.

Graficzne porównanie asfaltów drogowych wg PN-EN 12591:2010 w zakresie penetracji w 25°C i temperatury mięknięcia T_{PIK}

1.3.4. PRZEZNACZENIE ASFALTÓW DROGOWYCH

Poniżej przedstawiono typowe zastosowania poszczególnych rodzajów asfaltów drogowych.

Asfalt drogowy 20/30 jest najtwardszym asfaltem drogowym spośród obecnie produkowanych w Grupie ORLEN. Ze względu na wysoką temperaturę mięknięcia i dużą wrażliwość na spękania niskotemperaturowe, zalecany jest do stosowania wyłącznie w warstwach wiążących i podbudowach z betonu asfaltowego o wysokim module sztywności (AC WMS) w regionach Polski o sprzyjającym klimacie. Nie należy pozostawiać na zimę warstw z asfaltem 20/30 bez przykrycia kolejną warstwą. Dodatkowo, dla dróg krajowych podano w WT-2 cz. I z 2014 r. [6] specjalne wymagania oraz strefy klimatyczne, w których stosuje się w AC WMS określone rodzaje lepiszczy (drogowe 20/30 lub modyfikowane polimerami) rys. 1.2.

Asfalt drogowy 35/50 może być stosowany do betonów asfaltowych AC w warstwach podbudowy i wiążącej do kategorii ruchu KR3-KR7, lub w warstwie ścieralnej w mieszankach asfaltu lanego MA na drogach obciążonych ruchem kategorii KR1-KR4. Nie należy stosować asfaltu 35/50 w warstwach ścieralnych do betonu asfaltowego AC i mieszanki SMA.



Rys. 1.2.

Strefy klimatyczne stosowania asfaltu 20/30 do mieszanek o wysokim module sztywności AC WMS – tylko strefy I i II [6]

Asfalt drogowy 50/70 może być stosowany przede wszystkim do betonów asfaltowych i SMA w warstwach ścieralnych kategorii ruchu KR1-KR4 pod warunkiem spełnienia postawionych wymagań odporności mieszanki na koleinowanie. Stosowanie asfaltu 50/70 w warstwach podbudowy i wiążącej do kategorii ruchu KR3-KR4 także wymaga sprawdzenia odporności mieszanki na koleinowanie. Nie zaleca się stosowania asfaltu 50/70 w jakiegokolwiek warstwie nawierzchni obciążonej ruchem powolnym (pasy powolnego ruchu, dojazdy do skrzyżowań itd.).

Asfalt drogowy 70/100 w ograniczonym zakresie może być stosowany do betonów asfaltowych i SMA w warstwach ścieralnych kategorii ruchu KR1-KR2, przy założeniu, że potwierdzona zostanie odporność mieszanki na koleinowanie.

Asfalty drogowe 70/100, 100/150 i 160/220 to grupa lepiszczy przeznaczona głównie do produkcji emulsji asfaltowych o różnym przeznaczeniu.

W tabeli 1.4. zestawiono zalecenia stosowania asfaltów drogowych do budowy nawierzchni drogowych w Polsce.

Tabela 1.4.

Rekomendowane zastosowanie asfaltów drogowych z oferty ORLEN Asfalt w zależności od warstwy w nawierzchni drogowej i kategorii obciążenia ruchem drogowym

WARSTWA	KATEGORIA RUCHU		
	KR 1-2	KR 3-4	KR 5-7
Podbudowa	50/70	20/30*, 35/50, 50/70	20/30*, 35/50
Wiążąca	50/70	20/30*, 35/50, 50/70	20/30*, 35/50
Ścieralna	35/50**, 50/70, 70/100	35/50**, 50/70	—

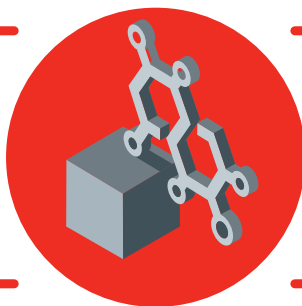
* tylko do AC WMS

** tylko do asfaltu lanego MA

Ze względu na ryzyko powstawania kolein, stosowanie asfaltów drogowych powinno być zawsze poprzedzone badaniem odporności mieszanki na koleinowanie wg PN-EN 12697-22 (metoda B, mały aparat, w powietrzu, temperatura +60°C,

10000 cykli). Dotyczy to w szczególności odcinków dróg zlokalizowanych w strefach skrzyżowań, ruchu powolnego, stanowisk postojowych itp.

1.4. ASFALTY MODYFIKOWANE POLIMERAMI



W celu poprawy właściwości asfaltów można wprowadzać do nich różne dodatki. ORLEN Asphalt oferuje lepiszcza modyfikowane elastomerem SBS (styren – butadien – styren), który poszerza przedział temperaturowy, w którym lepiszcze zachowuje cechy lepkosprężyste. Produkcja tego typu lepiszczy odbywa się w oparciu o metodę fizyczną, polegającą na mechanicznym wymieszaniu asfaltu z polimerem, z ewentualnym stosowaniem różnych dodatków. Głównym surowcem do produkcji asfaltów modyfikowanych są specjalnie przygotowane asfalty, tzw. asfalty bazowe, o właściwościach odpowiednich do modyfikacji. Produkcja asfaltów modyfikowanych polimerami polega na wprowadzeniu polimeru do gorącego asfaltu, zmieleniu mieszaniny w młynie o dużej mocy ścinania oraz jej finalnym rozpuszczeniu i ujednoludnieniu.

Lepiszczta modyfikowane polimerami oferowane przez ORLEN Asphalt produkowane są zgodnie z normą PN-EN 14023:2011 na jednej z trzech instalacji produkcyjnej – w Płocku, Trzebini i Pardubicach (Czechy).

Norma PN-EN 14023:2011 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Zasady klasyfikacji asfaltów modyfikowanych polimerami* jest normą klasyfikacyjną. Klasyfikacyjną, tzn. zawierającą zestaw właściwości i przypisanych do nich szereg różnych poziomów wymagań. Zakłada ona, że każdy kraj członkowski CEN dokona wyboru właściwości i przypisanych do nich poziomów wymagań. Pozwala to każdemu z krajów wybrać odpowiednie parametry do określenia cech, jakimi powinny charakteryzować się lepiszcza modyfikowane stosowane na jego terenie. Podyktowane jest to

zróżnicowanymi warunkami klimatycznymi panującymi w różnych częściach Europy, zróżnicowanymi dopuszczalnymi naciskami osi pojazdów oraz wieloma innymi czynnikami technologicznymi.

Norma PN-EN 14023:2011 zawiera zestaw właściwości podstawowych oraz zestaw właściwości dodatkowych, które zawarte są w trzech oddzielnych tablicach:

TABLICA 1

właściwości wymagane dla asfaltów modyfikowanych polimerami (w załączniku krajowym Tablica 1 została podzielona na dwie tablice: NA.1 – Wymagania dotyczące asfaltów modyfikowanych polimerami, NA.2 – Wymagania dotyczące asfaltów wysokomodyfikowanych polimerami)

TABLICA 2

właściwości powiązane z przepisami prawnymi lub innymi warunkami krajowymi

TABLICA 3

dodatkowe właściwości

Norma zawiera także pełne wymagania odnośnie oceny zgodności. Obecnie w CEN trwają prace nad nowelizacją normy EN 14023 – szczegóły tego zagadnienia omówiono w rozdziale 7.

1.4.1. SYSTEMATYKA OZNACZANIA ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH POLIMERAMI

Asfalty modyfikowane, produkowane w oparciu o wymagania normy PN-EN 14023:2011 oznaczają się zgodnie z systematyką podaną w tabeli 1.5.

Tabela 1.5.

Systematyka oznaczania asfaltów modyfikowanych polimerami produkowanych zgodnie z normą PN-EN 14023

RODZAJ LEPSZCZA ASFALTOWEGO	ASFALT MODYFIKOWANY
Dokument odniesienia	PN-EN 14023:2011/Ap2:2020
Oznaczenie normowe lepszca asfaltowego	PMB X/Y-Z
Rodzaj lepszca asfaltowego produkowanego przez Grupę ORLEN	ORBITON 10/40-65 ORBITON 25/55-60 ORBITON 45/80-55 ORBITON 45/80-65 ORBITON 65/105-60

Objaśnienia do oznaczeń:

X – dolna granica penetracji w 25°C [0,1 mm] wg EN 1426,

Y – górna granica penetracji w 25°C [0,1 mm] wg EN 1426,

Z – dolna granica temperatury mięknięcia (Pik) [°C] wg EN 1427.

PMB – skrót pochodzi od „polymer modified bitumen” (zazwyczaj zastępowany nazwą handlową producenta asfaltu)

W niniejszym Poradniku omówione zostały asfalty modyfikowane ORBITON przeznaczone do stosowania w budownictwie drogowym w Polsce. Spółka ORLEN Asphalt oferuje także asfalty modyfikowane ORBITON wg lokalnych wymagań krajów, do których asfalty są eksportowane (np. dla Rumunii, Litwy, Łotwy, Czech, Słowacji, Niemiec, Węgier), w tabeli 1.6 zostały one oznaczone jako EXP.

Rodzaje produkowanych asfaltów przedstawiono w tabeli 1.6.

Tabela 1.6.

Rodzaje asfaltów modyfikowanych produkowanych przez Grupę ORLEN

RODZAJE ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH ORBITON WG ZAŁĄCZNIKA NA DLA POLSKI	RODZAJE ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH ORBITON DLA INNYCH KRAJÓW UE
10/40-65 25/55-60 45/80-55 45/80-65 65/105-60	25/55-55 EXP 25/55-60 EXP 25/55-65 EXP 45/80-75 SK

1.4.2. WYMAGANIA WOBEC ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH POLIMERAMI

Załącznik krajowy NA do normy PN-EN 14023:2011, opublikowany poprawką do normy Ap2:2020-02 z 2020 r., to zbiór uzgodnionych właściwości i poziomów wymagań tych właściwości dla sześciu asfaltów modyfikowanych polimerami stosowanych w Polsce. Wymagania podane w załączniku

krajowym zostały ustalone przez Podkomitet ds. Asfaltów KT 222 PKN.

Podział na rodzaje i wymagania wobec asfaltów modyfikowanych polimerami przedstawiono w tabeli 1.7.

Tabela 1.7.

Podział na rodzaje i wymagania wobec asfaltów modyfikowanych polimerami w Polsce wg załącznika krajowego NA do normy PN-EN 14023:2011/Ap2:2020-02

WŁAŚCIWOŚĆ		METODA BADANIA	JEDNOSTKA	RODZAJ ASFALTU MODYFIKOWANEGO POLIMERAMI						
				PMB 10/40-65		PMB 25/55-60		PMB 45/80-55		
				ZAKRES	KLASA	ZAKRES	KLASA	ZAKRES	KLASA	
Właściwości podstawowe	Penetracja w 25°C	PN-EN 1426	0,1 mm	10-40	2	25-55	3	45-80	4	
	Temperatura mięknienia	PN-EN 1427	°C	≥65	5	≥60	6	≥55	7	
	Kohezja**	Siła rozciągania metoda z duktylo-metrem (rozciąganie 50 mm/min)	PN-EN 13589 PN-EN 13703	J/cm²	≥2 w 10°C	6	≥2 w 10°C	6	≥3 w 5°C	2
		Rozciąganie bezpośrednie w 5°C (rozciąganie 100 mm/min)	PN-EN 13587	J/cm²	NR	0	NR	0	NR	0
		Wahadło Vialit (metoda uderzenia)	PN-EN 13588	J/cm²	NR	0	NR	0	NR	0
	Zmiana masy po starzeniu*	PN-EN 12607-1	% m/m	≤0,5	3	≤0,5	3	≤0,5	3	
	Pozostała penetracja w 25°C po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 1426	%	≥60	7	≥60	7	≥60	7	
	Wzrost temperatury mięknienia po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 1427	°C	≤8	2	≤8	2	≤8	2	
	Temperatura zapłonu	EN ISO 2592	°C	≥235	3	≥235	3	≥235	3	
Właściwości dodatkowe	Temperatura łamliwości wg Fraassa	PN-EN 12593	°C	≤-5	3	≤-10	5	≤-15	7	
	Nawrót sprężysty w 25°C	PN-EN 13398	%	≥60	4	≥60	4	≥70	3	
	Nawrót sprężysty w 10°C	PN-EN 13398	%	NR	0	NR	0	NR	0	
	Zakres plastyczności	PN-EN 14023	°C	NR	0	NR	0	NR	0	
	Spadek temperatury mięknienia po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 1427	°C	TBR	1	TBR	1	TBR	1	
	Nawrót sprężysty w 25°C po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 13398	%	≥50	4	≥50	4	≥50	4	
	Nawrót sprężysty w 10°C po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 13398	%	NR	0	NR	0	NR	0	
	Stabilność magazynowania – różnica temperatury mięknienia	PN-EN 13399 PN-EN 1427	°C	≤5	2	≤5	2	≤5	2	
	Stabilność magazynowania – różnica penetracji	EN 13399 EN 1426	0,1 mm	NR	0	NR	0	NR	0	

* – zmiana masy może być wartością dodatnią lub ujemną

** – w zależności od końcowego zastosowania powinna zostać wybrana tylko jedna metoda oznaczania kohezji. Oznaczanie kohezji metodą Vialit (EN 13588) należy wybrać tylko w przypadku asfaltów przeznaczonych do powierzchniowego utrwalania

NR – No Requirement (brak wymagań)

TBR – To Be Reported (do zadeklarowania)

Tabela 1.7. cd.

Podział na rodzaje i wymagania wobec asfaltów modyfikowanych polimerami w Polsce wg załącznika krajowego NA do normy PN-EN 14023:2011/Ap2:2020-02

WŁAŚCIWOŚĆ		METODA BADANIA	JEDNOSTKA	RODZAJ ASFALTU MODYFIKOWANEGO POLIMERAMI						
				PMB 45/80-65		PMB 65/105-60		PMB 90/150-45		
				ZAKRES	KLASA	ZAKRES	KLASA	ZAKRES	KLASA	
Właściwości podstawowe	Penetracja w 25°C	PN-EN 1426	0,1 mm	45-80	4	65-105	6	90-150	8	
	Temperatura mięknienia	PN-EN 1427	°C	≥65	5	≥60	6	≥45	9	
	Kohezja**	Siła rozciągania metoda z duktylo- metrem (rozciąganie 50 mm/min)	PN-EN 13589 PN-EN 13703	J/cm²	≥2 w 10°C	6	≥3 w 5°C	2	NR	0
		Rozciąganie bezpośrednie w 5°C (rozciąganie 100 mm/min)	PN-EN 13587	J/cm²	NR	0	NR	0	NR	0
		Wahadło Vialit (metoda uderzenia)	PN-EN 13588	J/cm²	NR	0	NR	0	≥0,7	2
	Zmiana masy po starzeniu*	PN-EN 12607-1	% m/m	≤0,5	3	≤0,5	3	≤0,5	3	
	Pozostała penetracja w 25°C po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 1426	%	≥60	7	≥60	7	≥50	5	
	Wzrost temperatury mięknienia po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 1427	°C	≤8	2	≤10	3	≤10	3	
	Temperatura zapłonu	EN ISO 2592	°C	≥235	3	≥235	3	≥235	3	
Właściwości dodatkowe	Temperatura łamliwości wg Fraassa	PN-EN 12593	°C	≤-15	7	≤-15	7	≤-18	8	
	Nawrót sprężysty w 25°C	PN-EN 13398	%	≥80	2	≥70	3	≥50	5	
	Nawrót sprężysty w 10°C	PN-EN 13398	%	NR	0	NR	0	NR	0	
	Zakres plastyczności	PN-EN 14023	°C	NR	0	NR	0	NR	0	
	Spadek temperatury mięknienia po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 1427	°C	TBR	1	TBR	1	TBR	1	
	Nawrót sprężysty w 25°C po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 13398	%	≥60	3	≥60	3	≥50	4	
	Nawrót sprężysty w 10°C po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 13398	%	NR	0	NR	0	NR	0	
	Stabilność magazynowania – różnica temperatury mięknienia	PN-EN 13399 PN-EN 1427	°C	≤5	2	≤5	2	≤5	2	
	Stabilność magazynowania – różnica penetracji	EN 13399 EN 1426	0,1 mm	NR	0	NR	0	NR	0	

* – zmiana masy może być wartością dodatnią lub ujemną

** – w zależności od końcowego zastosowania powinna zostać wybrana tylko jedna metoda oznaczania kohezji. Oznaczanie kohezji metodą Vialit (EN 13588) należy wybrać tylko w przypadku asfaltów przeznaczonych do powierzchniowego utrwalania

NR – No Requirement (brak wymagań)

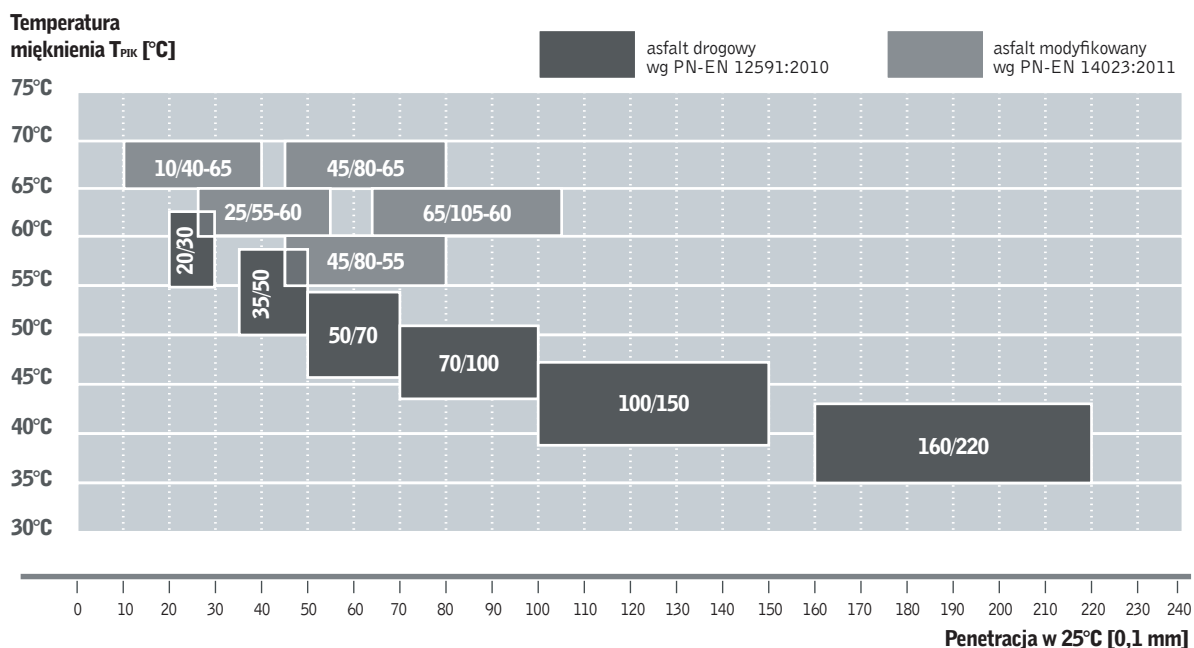
TBR – To Be Reported (do zadeklarowania)

1.4.3. CHARAKTERYSTYKA ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH POLIMERAMI

Asfalty modyfikowane polimerami to grupa lepiszczy drogowych opracowana specjalnie z myślą o zwiększeniu trwałości nawierzchni asfaltowych i przeciwdziałaniu najczęstszemu przyczynom zniszczenia – deformacjom lepkoplastycznym pojawiającym się na drogach obciążonych ciężkim ruchem, spękanom niskotemperaturowym warstw ścieralnych w okresie zimowym oraz spękanom zmęczeniowym nawierzchni. Dzięki zastosowaniu w procesie produkcji asfaltu elastomeru SBS (kopolimer styren-butadien-styren) osiąga się znaczącą poprawę

właściwości lepiszcza zarówno w wysokiej, jak i w niskiej temperaturze. Nawierzchnie asfaltowe, w których zastosowano asfalt modyfikowany, są trwalsze w porównaniu z nawierzchniami wykonanymi z użyciem asfaltów drogowych.

Podstawowe różnice pomiędzy asfaltami drogowymi i asfaltami modyfikowanymi w dwóch podstawowych parametrach lepiszcza: penetracji i temperatury mięknięcia wg PiK przedstawiono w sposób graficzny na rys. 1.3.



Rys. 1.3.

Graficzne porównanie asfaltów drogowych zwykłych i modyfikowanych w zakresie penetracji w 25°C i temperatury mięknięcia T_{PIK}

1.4.4. PRZEZNACZENIE ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH POLIMERAMI

Asfalty modyfikowane polimerami **ORBITON** to grupa lepiszczy przeznaczonych do stosowania w nawierzchniach przenoszących ruch ciężki lub w nawierzchniach specjalnych (mosty, cienkie warstwy ścieralne itd.). Prawidłowo zaprojektowane mieszanki mineralno-asfaltowe z użyciem tych asfaltów wykazują znacznie lepsze właściwości w porównaniu z asfaltami drogowymi o podobnej twardości.

Paleta zastosowań asfaltów modyfikowanych jest bardzo szeroka w odniesieniu zarówno do rodzaju mieszanki mineralno-asfaltowej, jak i kategorii ruchu. Poniżej przedstawiono typowe zastosowania poszczególnych rodzajów asfaltów modyfikowanych.

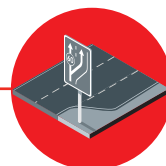
Asfalt modyfikowany ORBITON 10/40-65 jest najtwardszym asfaltem modyfikowanym z obecnie produkowanych w Grupie ORLEN. Ze względu na wysoką temperaturę mięknięcia przeznaczony jest do warstwy podbudowy oraz warstwy wiążącej zaprojektowanej z mieszanki o wysokim module sztywności AC WMS. Może być także stosowany do mieszanek standardowego betonu asfaltowego AC. Wyniki badań odporności na koleinowanie mieszanek mineralnych z tym asfaltem wskazują, że jest on odpowiedni do nawierzchni obciążonych powolnym i ciężkim ruchem, takich jak place postojowe, pasy powolnego ruchu oraz strefy skrzyżowań. Nie zaleca się stosowania tego asfaltu w warstwach ścieralnych.

odpowiedni do

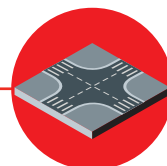
nawierzchni obciążonych powolnym i ciężkim ruchem



place postojowe



pasy powolnego ruchu

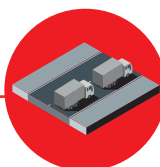


strefy skrzyżowań

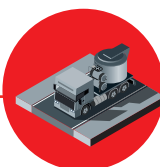
Asfalt modyfikowany ORBITON 25/55-60 należy do najpopularniejszych rodzajów asfaltów modyfikowanych wykorzystywanych w Polsce. Stosowany jest do warstw podbudowy i wiążących z betonu asfaltowego AC oraz betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS (przy wymaganym module sztywności 14 000 MPa). Może być także stosowany w warstwach ścieralnych, wiążących i podbudowy z SMA na odcinkach obciążonych ciężkim, powolnym ruchem oraz do mieszanek asfaltu lanego MA.

odpowiedni do

warstw podbudowy i wiążących z betonu asfaltowego



odcinki obciążone ciężkim, powolnym ruchem

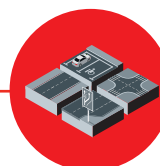


do mieszanek asfaltu lanego MA

Asfalt modyfikowany ORBITON 45/80-55 jest jednym z najczęściej stosowanych w Polsce asfaltów modyfikowanych. Przeznaczony jest do stosowania we wszystkich rodzajach mieszanek mineralno-asfaltowych przeznaczonych do warstw ścieralnych: AC, SMA, PA, BBTM, AUTL.

odpowiedni do

wszystkich rodzajów mieszanek mineralno-asfaltowych



do warstw ścieralnych: AC, SMA, PA, BBTM, AUTL

Asfalt modyfikowany ORBITON 45/80-65 przeznaczony jest do zastosowań w warstwach ścieralnych oraz do zastosowań specjalnych. Charakteryzuje się bardzo dużą sprężystością, wysoką temperaturą mięknięcia oraz korzystnymi właściwościami niskotemperaturowymi. Duża zawartość polimeru oraz wysoka lepkość czynią go lepszczem dość trudnym we wbudowywaniu podczas niekorzystnych warunków pogodowych (szybkie stwardnienie warstwy, problemy z zagęszczaniem). Wysoka temperatura mięknięcia i stopień modyfikacji sprawia, że może być stosowany w miejscach, gdzie wymagana jest duża wytrzymałość na rozciąganie i odporność na zmęczenie w połączeniu z bardzo dobrymi właściwościami niskotemperaturowymi. Asfalt modyfikowany ORBITON 45/80-65 stosowany jest głównie w warstwach ścieralnych, także do mieszanek asfaltu porowatego PA.

odpowiedni do

miejsc, gdzie wymagana jest duża wytrzymałość na rozciąganie i odporność na zmęczenie



do warstw ścieralnych, w tym z asfaltu porowatego PA

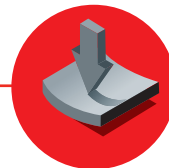
Asfalt modyfikowany ORBITON 65/105-60 jest lepiszczem zaprojektowanym do stosowania w warstwach ścieralnych na gorąco, w mieszankach o dobrym szkieletie mineralnym. Produkowany jest z miękkiego asfaltu bazowego z dużą zawartością polimeru, co w konsekwencji pozwala uzyskać produkt o bardzo dobrych właściwościach niskotemperaturowych i świetnej elastyczności. ORBITON 65/105-60 charakteryzuje się wyższą wartością penetracji w 25°C niż asfalt modyfikowany 45/80-65, a jednocześnie wyróżnia się dużą kohezją i sprężystością. Całość sprawia, że produkt bardzo dobrze spełnia rolę lepiszcza w mieszankach o nieciągotym uziarnieniu wbudowywanych w cienkich warstwach. Do takich zastosowań możemy zaliczyć asfalt porowaty PA, mieszanki do cienkich warstw ścieralnych BBTM i AUTL oraz mieszanki SMA. Są to więc przede wszystkim specjalne warstwy ścieralne oraz warstwy ścieralne w rejonach występowania niskiej temperatury. Innym przeznaczeniem tego lepiszcza są mieszanki na obiektach mostowych, jeśli wymagana jest bardzo duża elastyczność i kohezja lepiszcza.

odpowiedni do

specjalnych warstw ścieralnych oraz warstw w rejonach występowania niskiej temperatury

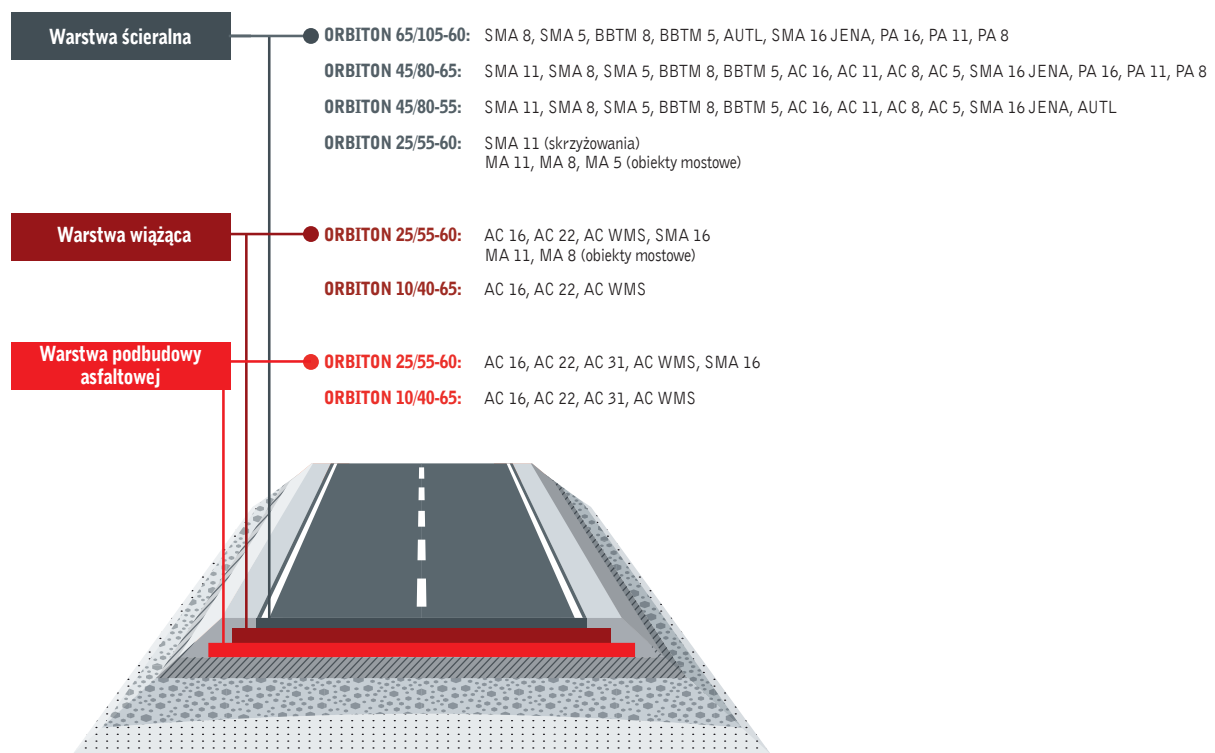


do obiektów mostowych



duża elastyczność i kohezja lepiszcza

Na rysunku 1.4. przedstawiono przykładowe możliwości zastosowania asfaltów modyfikowanych polimerami ORBITON w odniesieniu do poszczególnych warstw nawierzchni.



Rys. 1.4.

Proponowane zastosowanie asfaltów modyfikowanych ORBITON w klasycznej konstrukcji nawierzchni podatnej [opracowanie własne]

Dodatkowo, na podstawie dotychczasowych doświadczeń, w tabelach 1.8. oraz 1.9. zestawiono zalecenia stosowania asfaltów modyfikowanych do budowy odpowiednio nawierzchni drogowych oraz nawierzchni mostowych w Polsce.

Tabela 1.8.

Rekomendowane zastosowanie asfaltów modyfikowanych z oferty ORLEN Asphalt w zależności od warstwy w **nawierzchni drogowej** i kategorii obciążenia ruchem drogowym

WARSTWA	KATEGORIA RUCHU		
	KR 1-2	KR 3-4	KR 5-7
Podbudowa	—	ORBITON 10/40-65 ORBITON 25/55-60	ORBITON 10/40-65 ORBITON 25/55-60
Wiążąca	ORBITON 45/80-55	ORBITON 10/40-65 ORBITON 25/55-60	ORBITON 10/40-65 ORBITON 25/55-60
Ścieralna	ORBITON 45/80-55 ORBITON 45/80-65 ORBITON 65/105-60	ORBITON 25/55-60 ORBITON 45/80-55 ORBITON 45/80-65 ORBITON 65/105-60	ORBITON 45/80-55 ORBITON 45/80-65 ORBITON 65/105-60

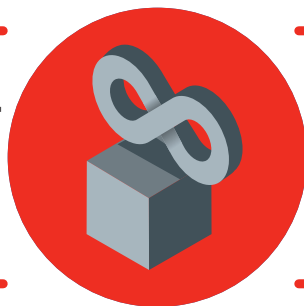
Tabela 1.9.

Rekomendowane zastosowanie asfaltów modyfikowanych z oferty ORLEN Asphalt w zależności od warstwy w **nawierzchni mostowej**

WARSTWA	LEPISZCZA
Wiążąca	ORBITON 25/55-60
Ścieralna	ORBITON 25/55-60* ORBITON 45/80-55 ORBITON 45/80-65 ORBITON 65/105-60

* do asfaltu lanego MA

1.5. ASFALTY WYSOKO-MODYFIKOWANE POLIMERAMI



Główną ideą asfaltów wysokomodyfikowanych polimerami, typu HiMA (ang. *Highly Modified Asphalt*), jest przeciwdziałanie spękanom nawierzchni, deformacjom trwałym (koleinom) oraz zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej warstw asfaltowych. Dzięki zastosowaniu w procesie produkcji asfaltu znacznie większych ilości specjalnego elastomeru SBS, osiąga się ponadstandardowe właściwości lepiszcza zarówno w wysokiej, jak i niskiej temperaturze. W sensie strukturalnym warstwy z HiMA zachowują bardzo dużą tolerancję na zwiększenie odkształceń rozciągających (tzw. zmęczeniowych).

Asfalty wysokomodyfikowane są szczególnie przydatne do zastosowań w nawierzchniach długowiecznych typu *perpetual pavements*. Wykorzystanie ORBITON HiMA w specjalnej, dolnej warstwie przeciwmęczeniowej pozwala osiągnąć niezwykle długi cykl życia nawierzchni.

Asfalty wysokomodyfikowane polimerami, analogicznie jak asfalty modyfikowane, są produkowane i klasyfikowane zgodnie z Normą Europejską PN-EN 14023:2011 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Zasady klasyfikacji asfaltów modyfikowanych polimerami*.

1.5.1. SYSTEMATYKA OZNACZANIA ASFALTÓW WYSOKOMODYFIKOWANYCH POLIMERAMI

Systematyka oznaczenia asfaltów wysokomodyfikowanych polimerami została przedstawiona w tabeli 1.10.

Tabela 1.10.

Systematyka oznaczenia asfaltów wysokomodyfikowanych polimerami produkowanych zgodnie z normą PN-EN 14023

RODZAJ LEPISZCZA ASFALTOWEGO	ASFALT WYSOKOMODYFIKOWANY
Dokument odniesienia	PN-EN 14023:2011/Ap2:2020-02
Oznaczenie normowe lepiszcza asfaltowego	PMB X/Y-Z
Rodzaj lepiszcza asfaltowego produkowanego przez Grupę ORLEN	ORBITON 25/55-80 HiMA ORBITON 45/80-80 HiMA ORBITON 65/105-80 HiMA

Objaśnienia do oznaczeń:

X – dolna granica penetracji w 25°C [0,1 mm] wg EN 1426,

Y – górna granica penetracji w 25°C [0,1 mm] wg EN 1426,

Z – dolna granica temperatury mięknięcia (PiK) [°C] wg EN 1427.

PMB – skrót pochodzi od „polymer modified bitumen” (zazwyczaj zastępowany nazwą handlową producenta asfaltu)

ORBITON HiMA – nazwa handlowa asfaltu

1.5.2. WYMAGANIA WOBEC ASFALTÓW WYSOKOMODYFIKOWANYCH POLIMERAMI

W lutym 2020 roku Polski Komitet Normalizacyjny wydał nowy Załącznik Krajowy do normy PN-EN 14023, ustanawiający zaktualizowane wymagania wobec asfaltów wysokomodyfikowanych polimerami.

Podział na rodzaje, klasy oraz wymagania według nowego Załącznika Krajowego NA, tablica NA.2 do normy PN-EN 14023:2011 przedstawiono w tabeli 1.11.

Tabela 1.11.

Podział na rodzaje i wymagania wobec asfaltów wysokomodyfikowanych polimerami w Polsce wg załącznika krajowego NA, tablica NA.2 do normy PN-EN 14023:2011/Ap2:2020-02

WŁAŚCIWOŚĆ	METODA BADANIA	JEDNOSTKA	ORBITON 25/55-80 HIMA		ORBITON 45/80-80 HIMA		ORBITON 65/105-80 HIMA	
			WYMAGANIE	KLASA	WYMAGANIE	KLASA	WYMAGANIE	KLASA
Penetracja w 25°C	EN 1426	0,1 mm	od 25 do 55	3	od 45 do 80	4	od 65 do 105	3
Temperatura mięknięcia	EN 1427	°C	≥ 80	2	≥ 80	2	≥ 80	2
Kohezja	Siła rozciągania metoda z duktylometrem (rozciąganie 50 mm/min) EN 13589 EN 13703	J/cm ²	≥ 0,5 w 15°C	8	≥ 2 w 10°C	6	≥ 1 w 5°C	4
Odporność na ścieranie	Zmiana masy	%	≤ 0,5	3	≤ 0,5	3	≤ 0,5	3
	Pozostała penetracja	%	≥ 60	7	≥ 60	7	≥ 60	7
	Wzrost temperatury mięknięcia	°C	≤ 8	2	≤ 8	2	≤ 8	2
Temperatura zapłonu	EN ISO 2592	°C	≥ 235	3	≥ 235	3	≥ 235	3
Temperatura tężliwości	EN 12593	°C	≤ -15	7	≤ -18	8	≤ -18	8
Nawrót sprężysty w 25°C	EN 13398	%	≥ 80	2	≥ 80	2	≥ 80	2
Zakres plastyczności	EN 14023 Podpunkt 5.2.8.4	°C	NR	0	NR	0	NR	0
Spadek temperatury mięknięcia po badaniu wg EN 12607-1	EN 1427	°C	TBR	1	TBR	1	TBR	1
Nawrót sprężysty w 25°C po badaniu wg EN 12607-1	EN 13398	%	≥ 50	4	≥ 60	3	≥ 70	2
Stabilność magazynowania Różnica temperatury mięknięcia	EN 13399 EN 1427	°C	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5	2
Stabilność magazynowania Różnica penetracji	EN 13399 EN 1426	0,1 mm	NR	0	NR	0	NR	0

* zmiana masy może być wartością dodatnią lub ujemną

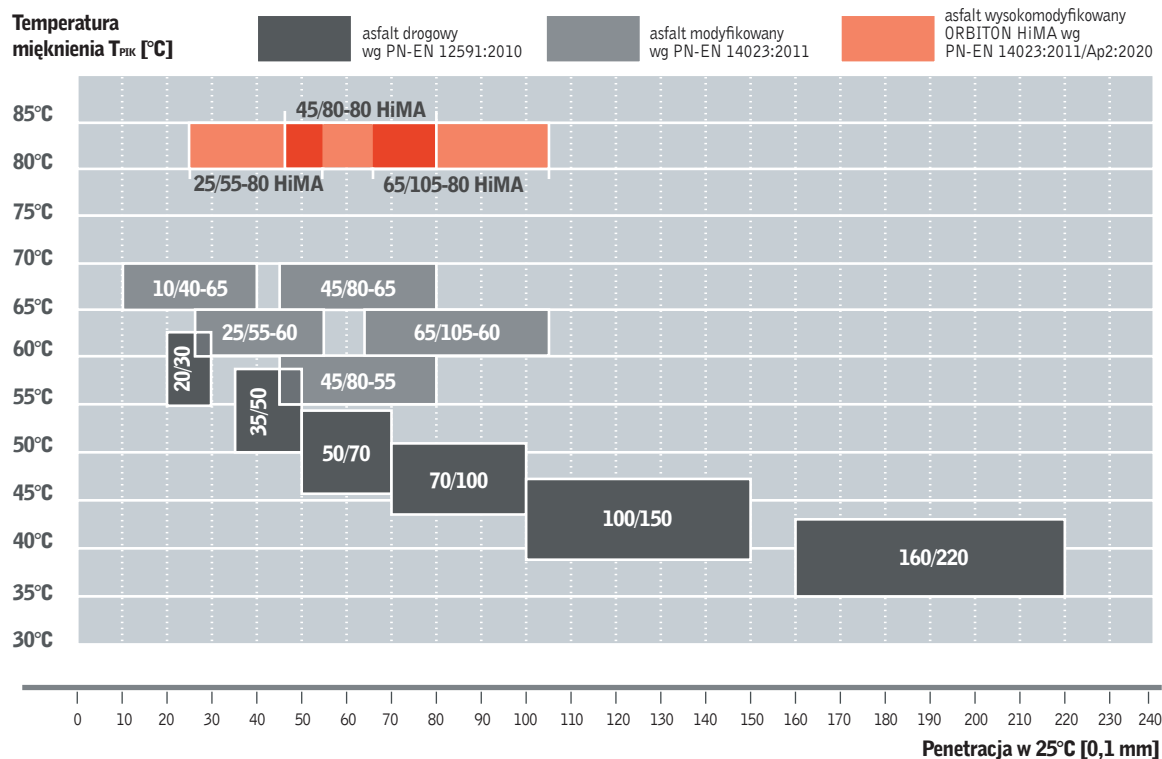
NR – No Requirement (brak wymagań)

TBR – To Be Reported (do zadeklarowania)

1.5.3. CHARAKTERYSTYKA ASFALTÓW WYSOKOMODYFIKOWANYCH POLIMERAMI

Prace badawcze i wdrożeniowe nad lepiszczami wysokomodyfikowanymi polimerami wykazały, że są one produktami o ponadstandardowych właściwościach funkcjonalnych. Charakteryzują się między innymi bardzo dobrą odpornością na koleinowanie,

świetną wytrzymałością zmęczeniową oraz odpornością na pękanie. Na rys. 1.5. przedstawiono na wykresie Pen25-PiK położenie asfaltów wysokomodyfikowanych w stosunku do asfaltów drogowych i modyfikowanych.



Rys. 1.5.

Położenie asfaltów wysokomodyfikowanych ORBITON HiMA w stosunku do asfaltów drogowych i modyfikowanych (typowych) na wykresie Pen25-PiK

Lepiszczta wysokomodyfikowane charakteryzują się temperaturą mięknięcia PiK powyżej 80°C, niezależnie od twardości. Oznacza to, że niezależnie czy stosuje się ORBITON HiMA o penetracji 50,

czy penetracji 100, właściwości w wysokiej temperaturze będą podobne. Jest to zasługą odwróconej fazy polimerowej i dominującego wpływu polimeru na właściwości tego typu asfaltów.

1.5.4. PRZEZNACZENIE ASFALTÓW WYSOKOMODYFIKOWANYCH POLIMERAMI

Asfalty wysokomodyfikowane ORBITON HiMA są szczególnie dedykowane do zastosowań wymagających bardzo dużej trwałości, takich jak:

- nawierzchnie asfaltowe poddawane bardzo dużemu naprężeniu i odkształceniom,
- podbudowy asfaltowe o bardzo dużej trwałości zmęczeniowej,
- warstwy o dużej odporności na niską temperaturę.

Asfalty wysokomodyfikowane są szczególnie przydatne do zastosowań w nawierzchniach długowiecznych typu *perpetual pavements*. Wykorzystanie ORBITON HiMA w specjalnej, najniższej leżącej dolnej warstwie przeciwmęczeniowej AF pozwala osiągnąć niezwykle długi cykl życia nawierzchni.

Poniżej przedstawiono rekomendowane zastosowania poszczególnych rodzajów asfaltów wysokomodyfikowanych.

ORBITON 25/55-80 HiMA (tzw. „twarda HiMA”) przeznaczony jest do warstw specjalnych wymagających nadzwyczajnej odporności na odkształcenia (stanowiska postojowe ciężkich pojazdów, terminale kontenerowe itp.) oraz w miejscach występowania bardzo ciężkiego ruchu powolnego. Ze względu na dużą twardość tego lepiszcza należy stosować go wyłącznie w uzasadnionych przypadkach, pamiętając o odpowiednich warunkach na budowie. Należy wyraźnie podkreślić, że ORBITON 25/55-80 HiMA nie jest bezpośrednim zamiennikiem PMB 25/55-60 i nie jest przeznaczony do AC WMS. W typowych konstrukcjach nawierzchni zaleca się stosowanie ORBITON 45/80-80 HiMA zamiast ORBITON 25/55-80 HiMA.

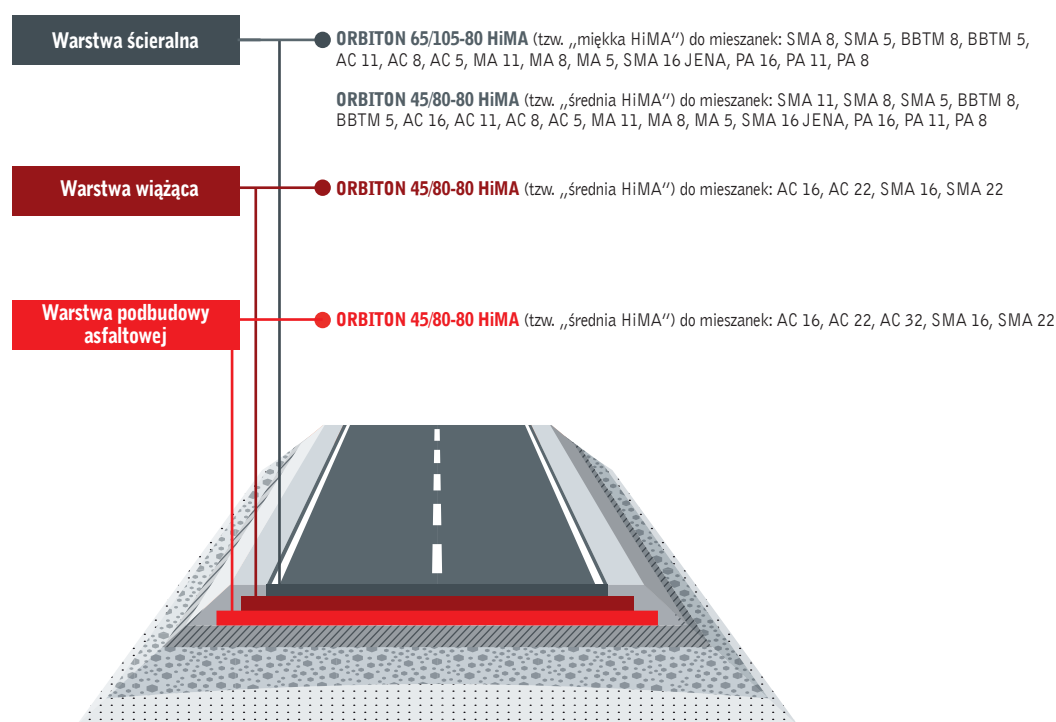
ORBITON 45/80-80 HiMA (tzw. „średnia HiMA”) przeznaczony jest do wszystkich warstw asfaltowych nawierzchni podatnej: podbudowy asfaltowej, w tym do nawierzchni długowiecznych (typu *perpetual pavements*), warstw wiążących, a także warstw ścieralnych nawierzchni poddawanych bardzo dużym obciążeniom. Jest to lepiszcze uniwersalne, łączące elastyczność z bardzo dobrą odpornością na koleinowanie.

ORBITON 65/105-80 HiMA (tzw. „miękka HiMA”) przeznaczony jest głównie do warstw ścieralnych nawierzchni z BBTM, AUTL, DSH, PA, SMA oraz technologii specjalnych np. warstw SAMI (skropienia „na gorąco”). Ze względu na najlepsze właściwości zmęczeniowe może być składnikiem warstw przeciwmęczeniowych AF w koncepcji *perpetual pavements*. Innym zastosowaniem tego lepiszcza jest wytwarzanie emulsji asfaltowych przeznaczonych do *slurry seal* lub powierzchniowych utrważeń. W miejscach wymagających dużej szczelności i jednocześnie elastyczności ORBITON 65/105-80 HiMA może być stosowany do asfaltów lanych MA (*Mastic Asphalt*).

Wybierając przeznaczenie asfaltów wysokomodyfikowanych ORBITON HiMA w konstrukcji nawierzchni podatnej można sugerować się wskazówkami zamieszczonymi na rys. 1.6. oraz 1.7.

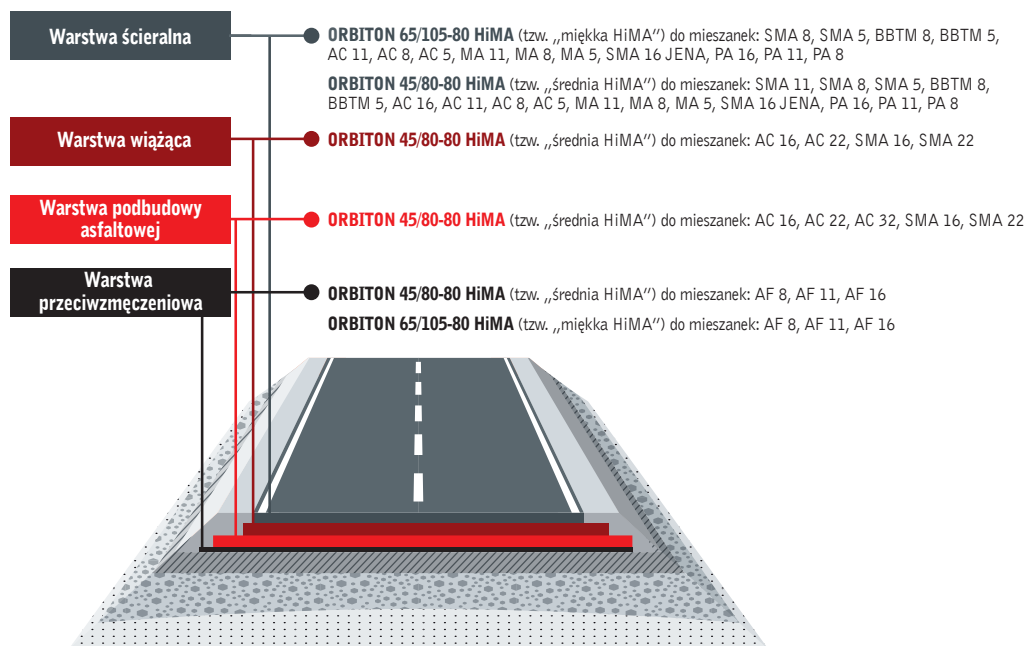
Zamieszczone na rys. 1.7. oznaczenia mieszanek „AF” do warstwy przeciwmęczeniowej oznaczają mieszanki mineralno-asfaltowe o specjalnych właściwościach, innych niż typowe dla warstwy podbudowy asfaltowej. Mogą to być klasyczne mieszanki o zmienionych właściwościach (np. o zmniejszonej zawartości wolnych przestrzeni) lub specjalne mieszanki wg oddzielnych specyfikacji.

Dane na rysunkach 1.6. oraz 1.7. mogą różnić się w stosunku do informacji podanych w WT-2 2014 – decyzja o szczegółowym przeznaczeniu danego lepiszcza należy do Inwestora/Projektanta.



Rys. 1.6.

Proponowane zastosowanie asfaltów wysokomodyfikowanych ORBITON HiMA w klasycznej konstrukcji nawierzchni podatnej (uwaga: mieszanki MA do stosowania w rozwiązaniach specjalnych i na obiektach inżynierskich) [opracowanie własne]


Rys. 1.7.

Proponowane zastosowanie asfaltów wysokomodyfikowanych ORBITON HiMA w nowoczesnej konstrukcji nawierzchni podatnej typu *perpetual* (długowiecznej) [opracowanie własne]

W tabeli 1.12 oraz 1.13. podano rekomendowane zastosowania asfaltów wysokomodyfikowanych w zależności od warstwy w nawierzchni drogowej.

Prawidłowo zaprojektowane mieszanki mineralno-asfaltowe z użyciem asfaltów wysokomodyfikowanych gwarantują

osiągnięcie znacznie lepszych właściwości w porównaniu z ich odpowiednikami o podobnej twardości (asfalty modyfikowane i drogowe). Wskazówki na temat projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych i nawierzchni z ORBITON HiMA można znaleźć w publikacji ORLEN Asfalt: **Mieszanki i nawierzchnie z ORBITON HiMA** [7].

Tabela 1.12.

Rekomendowane zastosowania asfaltów wysokomodyfikowanych w zależności od warstwy w **nawierzchni drogowej**

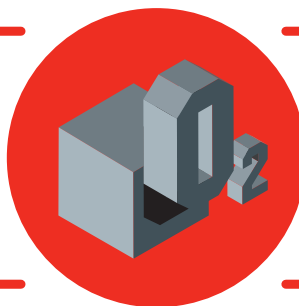
WARSTWA	KATEGORIA RUCHU		
	KR 1-2	KR 3-4	KR 5-7
Podbudowa	—	ORBITON 45/80-80 HiMA	ORBITON 25/55-80 HiMA ORBITON 45/80-80 HiMA ORBITON 65/105-80 HiMA
Wiążąca	—	ORBITON 45/80-80 HiMA	ORBITON 25/55-80 HiMA ORBITON 45/80-80 HiMA ORBITON 65/105-80 HiMA
Ścieralna	—	ORBITON 45/80-80 HiMA ORBITON 65/105-80 HiMA	ORBITON 45/80-80 HiMA ORBITON 65/105-80 HiMA

Tabela 1.13.

Rekomendowane zastosowania asfaltów wysokomodyfikowanych w zależności od warstwy w **nawierzchni mostowej**

WARSTWA	LEPISZCZA
Wiążąca	ORBITON 45/80-80 HiMA ORBITON 65/105-80 HiMA
Ścieralna	ORBITON 45/80-80 HiMA ORBITON 65/105-80 HiMA

1.6. ASFALTY UTLENIONE (PRZEMYSŁOWE) WG PN-EN 13304



Asfalty utlenione produkowane są w oparciu o wymagania normy PN-EN 13304 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Zasady klasyfikacji asfaltów utlenionych*.

Asfalty utlenione, powszechnie nazywane przemysłowymi lub w skrócie PS, produkowane są w technologii utleniania pozostałości próżniowej z wykorzystaniem frakcji fluksujących. Zwyczajowo, Indeks Penetracji takich lepiszczy jest większy od 2,0, a więc charakteryzują się one bardzo małą wrażliwością termiczną. Cechą charakterystyczną tych asfaltów jest bardzo wysoka temperatura mięknięcia w stosunku do penetracji.

Asfalty utlenione nie są wyrobami budowlanymi i nie obejmuje ich Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady nr 305/11, nie znakuje się ich oznakowaniem CE oraz nie wystawia deklaracji właściwości użytkowych. Jedynym dokumentem formalnym jest specyfikacja właściwości produktu uzgodniona pomiędzy producentem a klientem oraz Świadectwo Jakości jako dokument kontrolny wystawiany dla każdej partii produkcyjnej.

1.6.1. SYSTEMATYKA OZNACZANIA ASFALTÓW UTLENIONYCH

Systematyka oznaczenia asfaltów utlenionych produkowanych zgodnie z normą PN-EN 13304 została przedstawiona w tabeli 1.14.

Tabela 1.14.

Systematyka oznaczania asfaltów przemysłowych produkowanych zgodnie z normą europejską PN-EN 13304

RODZAJ LEPISZCZA ASFALTOWEGO	ASFALT PRZEMYSŁOWY
Dokument odniesienia	PN-EN 13304
Oznaczenie normowe lepiszcza asfaltowego	XX/YY
Rodzaj lepiszcza asfaltowego produkowanego przez Grupę ORLEN	80/15, 85/25, 85/40, 95/35, 100/40, 105/15

Objaśnienia do oznaczeń:

XX – temperatura mięknięcia jako środek przedziału $\pm 5^{\circ}\text{C}$

YY – penetracja w 25°C jako środek przedziału $\pm 5 \times 0,1 \text{ mm}$

np. 85/25 oznacza, że oznaczona metodą Pierścień i Kula temperatura mięknięcia produktu jest pomiędzy 80°C a 90°C a penetracja pomiędzy $20 \times 0,1 \text{ mm}$ a $30 \times 0,1 \text{ mm}$.

1.6.2. WYMAGANIA WOBEC ASFALTÓW UTLENIONYCH

Norma PN-EN 13304 podaje zasadniczo tylko dwie właściwości klasyfikacyjne oraz specyfikuje wymagania wobec trzech właściwości, pozostałe pozostawiając do uzgodnienia pomiędzy producentem a odbiorcą.

Tabela 1.15. przedstawia podział i wymagane właściwości wobec asfaltów przemysłowych.

Tabela 1.15.

Specyfikacja asfaltów utlenionych wg PN-EN 13304

WŁAŚCIWOŚĆ	METODA BADANIA	JEDNOSTKA	WARTOŚĆ
WŁAŚCIWOŚCI KLASYFIKACYJNE			
Temperatura mięknięcia, metoda PiK	PN-EN 1427	°C	±5
Penetracja w 25°C	PN-EN 1426	0,1 mm	±5
WŁAŚCIWOŚCI OBLIGATORYJNE			
Rozpuszczalność w toluenie	PN-EN 12592	%	≥99
Ubytek masy po ogrzewaniu	PN-EN 13303	%	≤0,5
Temperatura zapłonu	PN-EN ISO 2592	°C	>250
WŁAŚCIWOŚCI DO UZGODNIENIA MIĘDZY PRODUCENTEM A KLIENTEM (NR – BRAK WYMAGANIA)			
Temperatura łamliwości Fraassa	PN-EN 12593	°C	NR
Skłonność do płamienia	PN-EN 13301	mm	NR
Lepkość dynamiczna	PN-EN 13302	Pa·s	NR
Gęstość	PN-EN 15326	kg/m ³	NR

Warto zwrócić uwagę na nietypowe właściwości, takie jak „skłonność do płamienia”, które stosowane są w przypadku, gdy odbiorca planuje zastosowanie asfaltu do produkcji np. gontów bitumicznych. Badana cecha określa, czy jest ryzyko, aby na posypce znajdującej się na powierzchni gontów pojawiły się

plamy. Z kolei „ubytek masy po ogrzewaniu” nie jest badaniem tożsamym z odpornością na starzenie w cienkiej warstwie (jak RTFOT dla lepiszczy drogowych), ponieważ wykonuje się je w znacznie grubszej warstwie, bez wirowania.

Jak podano już wcześniej – dla asfaltów utlenionych nie stworzono ogólnoeuropejskiej specyfikacji z wymaganiami, pozostawiając większość wymagań do uzgodnienia pomiędzy klientem a producentem.

W tabeli 1.16. przedstawiono najczęściej specyfikowane wymagania wobec asfaltów utlenionych.

Tabela 1.16.

Najczęściej stosowane wymagania wobec asfaltów utlenionych

WŁAŚCIWOŚĆ	METODA BADANIA	JEDNOSTKA	80/15	85/25	85/40	95/35	100/40	105/15
Temperatura mięknięcia, metoda PiK	PN-EN 1427	°C	75-85	80-90	80-90	90-100	95-105	100-110
Penetracja w 25°C	PN-EN 1426	0,1 mm	10-20	20-30	35-45	30-40	35-45	10-20
Rozpuszczalność w toluenie	PN-EN 12592	%	≥99	≥99	≥99	≥99	≥99	≥99
Ubytek masy po ogrzewaniu	PN-EN 13303	%	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5	≤0,5
Temperatura zapłonu	PN-EN ISO 2592	°C	>250	>250	>250	>250	>250	>250
Temperatura łamliwości Fraassa	PN-EN 12593	°C	≤-7	TBR	TBR	≤-20	TBR	TBR
Skłonność do palenia	PN-EN 13301	mm	TBR	NR	NR	NR	NR	NR
Lepkość dynamiczna	PN-EN 13302	Pa·s	TBR	NR	NR	NR	NR	NR
Gęstość	PN-EN 15326	kg/m ³	TBR	NR	NR	NR	NR	NR

NR – No Requirement (brak wymagań)
TBR – To Be Reported (do zadeklarowania)

UWAGA

Asfalty utlenione nie są przeznaczone do zastosowania w budownictwie drogowym! Ze względu na ich specyficzne właściwości nie jest możliwe uzyskanie trwałej nawierzchni drogowej.

2. PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI LEPISZCZY ASFALTOWYCH

W trakcie trwania sezonu produkcyjnego, lepiszcza asfaltowe wytwarzane są w wielu partiach produkcyjnych. Każda partia przed zwolnieniem do sprzedaży (wprowadzeniem do obrotu) musi zostać przebadana w określonym zakresie właściwości zgodnie z normami wyrobu oraz zasadami Zakładowej Kontroli Produkcji. Ważną cechą wyrobów pochodzących z różnych partii produkcyjnych, zarówno dla producenta jak i użytkownika, jest jednorodność ich właściwości.

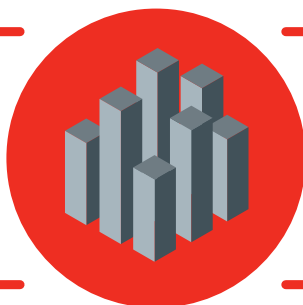
Obserwacja właściwości pojedynczych partii obarczona jest za każdym razem błędem przypadkowym i nie pozwala sformułować żadnych wniosków odnośnie ich istotności. Dopiero analiza możliwie dużej liczby wyników, przy wykorzystaniu odpowiednich narzędzi statystycznych, pozwala na dostrzeżenie i zrozumienie pewnych prawidłowości, które charakteryzują dany zbiór

wyników oraz zaobserwowanie występujących pomiędzy nimi zależności [1].

W niniejszym rozdziale zamieszczono informacje dotyczące właściwości lepiszczy asfaltowych określone w normach PN-EN 12591 oraz PN-EN 14023, jak również dane dotyczące gęstości lepiszczy asfaltowych oraz mikrostruktury polimeroasfaltów. Parametry statystyczne wyników kontroli laboratoryjnej wybranych właściwości lepiszczy asfaltowych produkowanych przez Grupę ORLEN (instalacje w Płocku i Trzebini) w okresie od stycznia 2018 do kwietnia 2020 roku, przedstawiają poniższe tabele i rysunki.

Badania zostały wykonane w akredytowanych jednostkach ORLEN Laboratorium S.A.

2.1. WPROWADZENIE DO STATYSTYKI



Pojęcie *statystyka* pochodzi od łacińskiego słowa "status" oznaczającego państwo, stan. Początki statystyki związane są z czasami starożytności, kiedy prowadzono powszechne spisy ludności. Współcześnie termin statystyka posiada o wiele szersze znaczenie oraz zastosowanie w wielu dziedzinach¹ [2]. Interesująca nas statystyka definiowana jest jako samodzielna dyscyplina naukowa, zajmująca się ilościowymi metodami badania prawidłowości występujących w zbiorowościach

oraz dostarczaniem wiarygodnych informacji na temat tych prawidłowości scharakteryzowanych przy użyciu liczb [3]. Opis otaczających nas zjawisk i rzeczy oraz ocena zależności występujących pomiędzy nimi, w tym ocena jakości i jednorodności poszczególnych partii produkcyjnych lepiszczy asfaltowych, możliwa jest przy użyciu odpowiednich narzędzi jakimi są metody statystyczne.

1) Czy wiesz, że...przy pomocy statystyki możliwe jest stworzenie matematycznego wzoru na dobre piwo! Jeden z najbardziej znanych statystyków na świecie – William Gosset – zawodowo warzył piwo, a konkretniej irlandzkiego Guinness'a, ponadto opracował jeden z najbardziej popularnych testów statystycznych tzw. test t-Studenta. Test ten powstał z myślą o opracowaniu matematycznej metody gwarantującej, że każde piwo, które opuści browar będzie tak samo dobre jak wzorcowe. A dlaczego nazwa test t-Studenta? Gosset musiał pozostać anonimowy i przyjąć pewien pseudonim, ze względu na fakt, że jego kierownictwo nie chciało ujawnić konkurencji, że posiadają matematyczny wzór na doskonałe piwo [2].

W statystyce można wyodrębnić trzy podstawowe obszary działań [4]:

- informacyjny – przedstawia pełny i obiektywny obraz badanych zjawisk,
- analityczny – umożliwia określenie czynników, które kształtują poszczególne procesy i zjawiska,
- prognostyczny – daje możliwość przewidywania kierunku rozwoju badanych zdarzeń.

Statystykę jako dyscyplinę naukową zasadniczo można podzielić na 2 główne działy [1, 5, 6]:

- **statystykę opisową**, inaczej opis statystyczny, zajmujący się metodami gromadzenia, opracowania i prezentacji danych wraz z ich sumarycznym opisem;
- **statystykę matematyczną**, nazywaną wnioskowaniem statystycznym, obejmującym metody badania zależności i prawidłowości w analizowanym zbiorze danych.

Badanie statystyczne jest to ogół czynności prowadzonych na określonej zbiorowości statystycznej, mającej na celu poznanie właściwości charakteryzujących badany zbiór [4].

Zbiorowość statystyczna jest zbiorem dowolnych elementów np. osób, przedmiotów, zdarzeń itp., które charakteryzują się przynajmniej jedną cechą wspólną o różnych wartościach.

Zbiorowość ta musi być określona w sposób jednoznaczny pod względem rzeczowym, przestrzennym i czasowym [1, 5].

Jednostka statystyczna jest najmniejszym elementem zbiorowości statystycznej, która objęta jest badaniem statystycznym [5].

Cecha statystyczna (zmienna) jest to właściwość jednostek statystycznych tworzących określoną zbiorowość statystyczną [4].

Przykładowo, w przypadku badania statystycznego wyników lepiszczy asfaltowych:

- **zbiorowość statystyczna** = wszystkie partie produkcyjne asfaltu drogowego 50/70 w 2020 r.
- **jednostka statystyczna** = pojedyncza partia produkcyjna asfaltu drogowego 50/70 np. w dniu 25.09.2020 r.
- **cecha statystyczna** = penetracja asfaltu drogowego 50/70.

Statystyka jest doskonałym narzędziem pozwalającym poszukiwać odpowiedzi na pytania dotyczące otaczającego nas świata. Należy jednak pamiętać, że jest ona narzędziem, którego stosowanie powinno odbywać się w sposób rozsądny i rozumiały [7], w innym przypadku może to prowadzić do błędnych lub różnych interpretacji zależności pomiędzy otrzymanymi wynikami.

2.1.1. PARAMETRY STATYSTYCZNE, DEFINICJE

Parametrami statystycznymi możemy nazwać wielkości liczbowe, umożliwiające opisanie struktury badanej zbiorowości statystycznej w sposób systematyczny.

Parametry statystyczne można podzielić na kilka podstawowych kategorii [1, 5]:

- **miary położenia** – inaczej miary przeciętne opisujące zbiorowość statystyczną bez uwzględnienia różnic występujących pomiędzy poszczególnymi jednostkami należącymi do tej zbiorowości. Miary te charakteryzują podobieństwa zbiorowości biorąc pod uwagę analizowaną cechę zmienną. Miary położenia dzielą się na klasyczne (np. średnia arytmetyczna) oraz pozycyjne (np. dominanta, kwartyły);

- **miary zmienności** – nazywane miarami dyspersji czy rozproszenia, które opisują zbiorowość statystyczną, biorąc pod uwagę różnice pomiędzy poszczególnymi jednostkami należącymi do danej zbiorowości. Miary zmienności charakteryzują stopień zróżnicowania zbiorowości biorąc pod uwagę analizowaną cechę zmienną. Miary zmienności dzielą się na klasyczne (wariancja, odchylenie standardowe, przedział typowy, klasyczny współczynnik zmienności) oraz pozycyjne (np. rozstęp, odchylenie kwartylowe);
- **miary asymetrii** – miary skośności, określające kierunek rozkładu cech zmiennych w zbiorowości oraz w jakim stopniu rozkład danej cechy odbiega od rozkładu symetrycznego;
- **miary koncentracji** – opisują stopień skupienia poszczególnych obserwacji wokół średniej (kurtoza) bądź stopień nierównomierności podziału zjawiska w zbiorowości.

Najczęściej stosowanymi miarami statystycznymi, które zostaną wykorzystane do opisu produkowanych lepiszczy asfaltowych w Grupie ORLEN, są:

Średnia arytmetyczna zwykła, x_{sr} – klasyczna miara położenia, będąca sumą wartości cechy zmiennej podzielonej przez liczebność jednostek skończonej zbiorowości statystycznej:

$$x_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

gdzie:

x_i – wartość cechy zmiennej/ wartość pojedynczego wyniku oznaczenia

n – liczebność zbiorowości/ liczba uzyskanych wyników

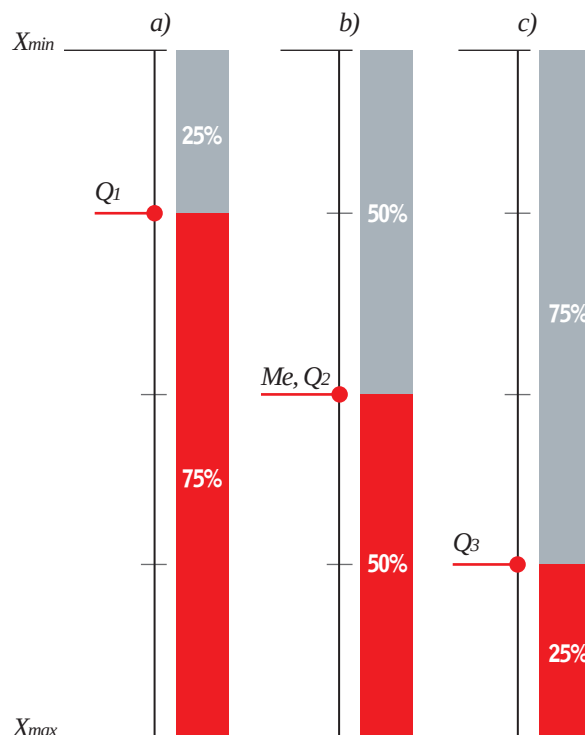
Podstawową wadą średniej arytmetycznej jest jej wrażliwość na skrajne wartości cechy.

Kwartył dolny (kwartył pierwszy), Q_1 – pozycyjna miara położenia; wartość cechy zmiennej dzieląca badaną zbiorowość, w taki sposób, że 25% elementów populacji uporządkowanej w ciągu niemalejącym znajduje się poniżej tej wartości. Graficzne przedstawienie wielkości przedstawia rys. 2.1a.

Mediana (kwartył drugi), **Me** lub Q_2 – pozycyjna miara położenia; wartość cechy zmiennej dzieląca badaną populację na pół, w taki sposób, że poniżej i powyżej jej wartości znajduje się odpowiednio połowa jednostek zbiorowości (rys. 2.1b.).

Dla n -nieparzystego niemalejącego ciągu wartości zaobserwowanych, mediana jest wartością środkową w szeregu. Natomiast dla n -parzystego ciągu niemalejącego, mediana jest średnią arytmetyczną dwóch wartości środkowych. Może być wyznaczana metodą graficzną lub rachunkową.

Kwartył górny (kwartył trzeci), Q_3 – pozycyjna miara położenia; jest wartością obserwacji dzielącą badaną zbiorowość w taki sposób, że 75% jednostek populacji uporządkowanych w ciągu niemalejącym znajduje się poniżej tej wartości. Graficzne przedstawienie wielkości przedstawia rys. 2.1c.



Rys. 2.1.

Graficzne przedstawienie mediany i pozostałych kwartyli

Odchylenie standardowe, σ – definiowane jest jako klasyczna miara zmienności informująca o tym, w jakim stopniu rozproszone są wartości oznaczeń wokół wartości średniej. W przypadku uzyskania wszystkich takich samych wyników, odchylenie standardowe byłoby równe zero. W pozostałych przypadkach wielkość ta jest wartością dodatnią. Stąd też im większa wartość odchylenia standardowego, tym większe rozproszenie wyników wokół średniej [7].

Odchylenie standardowe oblicza się zgodnie ze wzorem:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{sr})^2}{n}}$$

w którym:

x_i – wartość cechy zmiennej/ wartość pojedynczego wyniku oznaczenia

x_{sr} – średnia arytmetyczna cechy zmiennej/ średnia arytmetyczna z uzyskanych wyników

n – liczebność zbiorowości/ liczba uzyskanych wyników

Z odchyleniem standardowym dla rozkładu normalnego związana jest **tz. reguła 3 sigma**, która mówi, że w przedziale $x_{sr} \pm 3\sigma$ mieści się praktycznie cała zbiorowość statystyczna. Przy czym „praktycznie cała” oznacza 99,73%, a zatem poza przedziałem może znaleźć się 3 na 1000 wyników oznaczeń [8].

Przedział typowy, x_{typ} jest to obszar zawierający jednostki zbiorowości statystycznej różniące się od średniej o wartość nie większą niż jedno odchylenie standardowe.

$$x_{sr} - \sigma < x_{typ} < x_{sr} + \sigma$$

W przedziale tym znajduje się około 68% jednostek badanej zbiorowości.

Rozstęp, R – pozycyjna miara zmienności stanowiąca różnicę pomiędzy największą i najmniejszą wartością cechy zmiennej:

$$R = x_{max} - x_{min}$$

gdzie:

x_{max} – wartość maksymalna cechy zmiennej

x_{min} – wartość minimalna cechy zmiennej

Rozstęp kwartylowy, IQR – miara zmienności będąca różnicą pomiędzy trzecim i pierwszym kwartylem. Określa przedział zawierający 50% jednostek badanej zbiorowości:

$$IQR = Q_3 - Q_1$$

2.1.2. SPOSOBY PRZEDSTAWIANIA DANYCH STATYSTYCZNYCH

Istnieją różnorodne formy przedstawiania materiału statystycznego. Podstawowym sposobem publikowania danych są tablice, możliwe jest to również przy użyciu charakterystyk opisowych, wzorów analitycznych, czy w formie graficznej. Graficzne przedstawienie danych wspomaga nas w analizie i obserwacji prawidłowości, których nie widać wyłącznie na podstawie obliczonych parametrów statystycznych.

Jedną z najbardziej popularnych form prezentowania danych jest **histogram** (rys. 2.2.) – wykres rozkładu (częstości występowania) badanej cechy w formie wykresu słupkowego. Szerokość każdego słupka odpowiada pewnemu zakresowi badanej cechy – przedziałowi klasowemu. Wysokość słupków na histogramie może natomiast reprezentować:

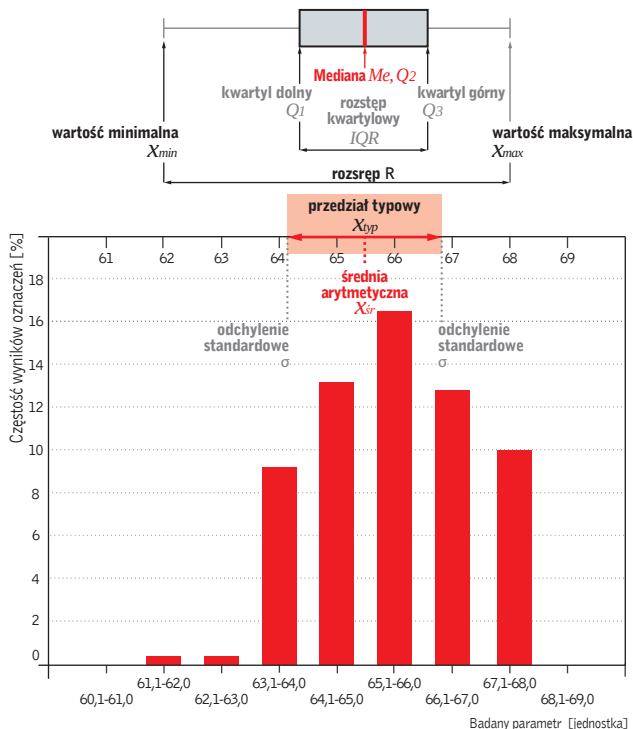
- **częstość wyników oznaczeń** – stosunek liczby uzyskanych wyników o tej samej wartości do całkowitej liczebności badanej zbiorowości statystycznej. Przykładowo: w ciągu sezonu produkcyjnego oznaczono „penetrację w 25°C” asfaltu 35/50 200-krotnie (dla 200 partii produkcyjnych), wynik o wartości 45 [0,1 mm] otrzymano 86 razy, zatem częstość wyników oznaczeń w klasie 45 wynosi $86/200=0,43$. Częstość może być wyrażona także w procentach, oznacza wówczas procentowy udział poszczególnego wyniku w badanej zbiorowości statystycznej (w przykładzie będzie to 43%);

- **liczebność wyników oznaczeń** – liczbę uzyskanych wyników o tej samej wartości lub w tej samej klasie.

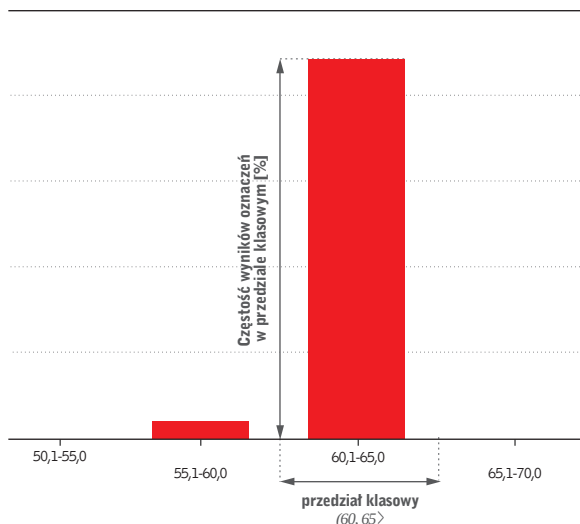
Innym sposobem przedstawienia wyników jest wykres pudełkowy (rys. 2.2.), popularnie nazywany **wykresem RAMKA-WĄSY** (ang. *box and whisker plot*) [9]. Zawiera on informacje dotyczące położenia, rozproszenia oraz kształtu rozkładu analizowanych danych. Wykres pudełkowy może opisywać różne parametry statystyczne. W najczęściej spotykanym przypadku długość pudełka równa jest rozstępowi kwartyłowemu (*IQR* czyli różnicy Q_3-Q_1 , a więc zakresowi między 25% a 75% ciągu wyników). Wartość minimalna i maksymalna wyznaczają charakterystyczne linie tzw. wąsy. Wewnątrz pudełka pionową linią oznacza się wartość mediany. Jeżeli mediana znajduje się w samym środku ramki, możemy wnioskować, że rozkład danej cechy jest **symetryczny** (przypadek przedstawiony na rys. 2.2.). W sytuacji, w której mediana dzieli pudełko na dwie nierówne części, a wąsy są różnej długości, możemy mieć do czynienia z **rozkładem asymetrycznym**, co oznacza, że wyniki danej zmiennej nie układają się symetrycznie wokół średniej. W zależności od długości wąsów – większych z prawej bądź z lewej strony, mamy do czynienia odpowiednio z asymetrią prawostronną bądź lewostronną.

Histogram wraz z wykresem pudełkowym dla przykładowo badanego parametru przedstawia rysunek 2.2., natomiast graficzną interpretację słupków histogramu prezentuje rys. 2.3. W celu uniknięcia nieporozumień mogących pojawić się podczas

interpretacji przedziałów klasowych na histogramach, należy przyjąć następującą interpretację rys. 2.3.: podany przedział klasowy (60, 65> oznacza przedział prawostronnie domknięty, tzn. obejmuje liczby 61, 62, 63, 64, 65.



Rys. 2.2.
Histogram i wykres RAMKA-WĄSY dla przykładowo badanego parametru



Rys. 2.3.
Graficzna interpretacja słupków histogramu

2.1.3. INTERPRETACJA WYNIKÓW KONTROLNYCH (ODBIORCZYCH)

Zdarza się czasami, że pomiędzy odbiorcą a dostawcą lepiszcza asfaltowego dochodzi do sporu o jakość dostarczonego produktu. Weźmy przykładowo wymaganie dla penetracji w 25°C dla asfaltu drogowego 35/50. Czy rzeczywiście, gdy otrzymujemy z laboratorium wynik $Pen_{25}=34$ [0,1mm] oznacza to, że dostarczony wyrób jest niezgodny ze specyfikacją?

Wynik badania dowolnego parametru, np. wspomnianej powyżej penetracji w 25°C asfaltu drogowego 35/50, otrzymany w danym laboratorium zawsze będzie różnił się od rzeczywistej wartości tej cechy.

Wartość rzeczywista danego parametru jest pojęciem abstrakcyjnym i, co oczywiste – nie jest znana osobie wykonującej badanie (gdyby była znana wówczas pomiar byłby niepotrzebny) [10].

Ograniczona dokładność użytego sprzętu pomiarowego, wpływ zmiennych warunków zewnętrznych na badaną próbkę i układ pomiarowy, a także niedostateczna znajomość wszystkich okoliczności wpływających na dane badanie, powodują, że otrzymany wynik będzie różnił się od wartości rzeczywistej (czyli prawdziwej) mierzonego parametru o pewną wielkość.

Pomiar danej właściwości, pozwala zatem tylko i wyłącznie na oszacowanie jej przybliżonej wartości. Nigdy nie należy zakładać, że wynik pomiaru, który otrzymaliśmy w naszym laboratorium jest stricte równy wartości rzeczywistej badanej przez nas cechy. Należy jedynie założyć, że znajduje się on w pewnym przedziale oscylującym wokół prawdziwej wartości badanego parametru.

2.1.3.1 DEFINICJE ZWIĄZANE Z PRAWIDŁOWĄ INTERPRETACJĄ WYNIKÓW KONTROLNYCH

Z każdym wykonywanym badaniem laboratoryjnym nieodłącznie związane są dwa pojęcia: błąd pomiaru oraz niepewność pomiaru.

Błąd pomiaru – jest to rozbieżność pomiędzy uzyskanym wynikiem, a wartością rzeczywistą badanej cechy, której wielkości na ogół nie znamy. Należy go rozumieć nie jako błąd powstały wyłącznie w wyniku pomyłki, ale jako nieodłączny czynnik procesu pomiarowego. Błąd pomiaru jest bezpośrednio związany z daną metodą pomiaru.

W praktyce laboratoryjnej wyróżnia się następujące rodzaje błędów pomiarowych [11, 12]:

- **błędy systematyczne** – są to błędy, które pozostają stałe podczas wykonywania serii pomiarów danej cechy, w takich samych warunkach (ten sam aparat, ten sam operator, itp.). Wynikają one z niedoskonałości przyrządów i metod pomiarowych. Przykładem błędu systematycznego jest np. błąd wskazania przyrządu pomiarowego, który znajduje się na świadectwie wzorcowania.
- **błędy przypadkowe** – są to błędy zmieniające się w sposób nieprzewidywalny i losowy, podczas wykonywania dużej liczby pomiarów tej samej właściwości w praktycznie niezmiennych warunkach. Do głównych przyczyn powstawania błędów przypadkowych zalicza się:
 - niedoskonałość zmysłów operatora i brak dostatecznej koncentracji podczas wykonywania badania,
 - rozrzut wskazań przyrządów pomiarowych,
 - krótkotrwałe zmiany różnych czynników zewnętrznych (np. wzrost temperatury w pomieszczeniu, zmiana napięcia w sieci elektrycznej itd.).

Ograniczenie wpływu błędów przypadkowych uzyskuje się poprzez wielokrotny pomiar tej samej cechy i przyjęcie średniej arytmetycznej jako wyniku ostatecznego.

- **błędy nadmierne** – są to błędy zwane pomyłkami lub błędami grubymi; wynikają z nieprawidłowego wykonania pomiarów, powodują jawne zniekształcenie wyniku pomiaru.

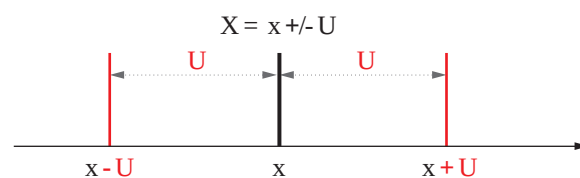
Jeżeli na wynik danego badania nałoży się kilka różnych błędów pomiarowych wówczas otrzymany wynik będzie całkowicie odbiegał od rzeczywistego.

Niepewność pomiaru jest parametrem ściśle związanym z otrzymanym wynikiem. Charakteryzuje ona rozrzut wartości, które można przypisać do danej wielkości mierzonej [13]. Podając wynik badania danego parametru, należy podać również informację ilościową („niepewność” jest zawsze liczbą)

o dokładności przeprowadzenia tego badania, czyli należy podać wyliczoną wcześniej niepewność pomiarową [13, 14]².

O niepewności pomiaru danego parametru decyduje wiele czynników, np. dokładność przyrządów pomiarowych, czynniki zewnętrzne tj.: temperatura, ciśnienie, wilgotność, wstrząsy, wibracje, a także różnego rodzaju błędy losowe, błędy metody czy błędy wynikające z oceny wyniku.

Graficznie, niepewność pomiaru można przedstawić w następujący sposób:



X – wielkość badania, np. Penetracja w 25°C
 x – wartość otrzymana, np. Pen25 = 34 [0,1 mm]
 U – niepewność pomiaru (rozszerzona)

Rys. 2.4.

Graficzna interpretacja niepewności pomiaru [12]

Można zatem stwierdzić, że niepewność pomiaru wyznacza pewien przedział, w którym z danym prawdopodobieństwem (poziomem ufności) mieści się rzeczywista wartość badanego przez nas parametru (cechy zmiennej).

Dla omawianego wcześniej przykładu, wynik badania penetracji wraz z oszacowaną niepewnością pomiaru powinniśmy zapisać więc w następujący sposób:

$$Pen_{25} = 34 \pm U [0,1mm], \text{ dla poziomu ufności } p = \dots$$

gdzie:

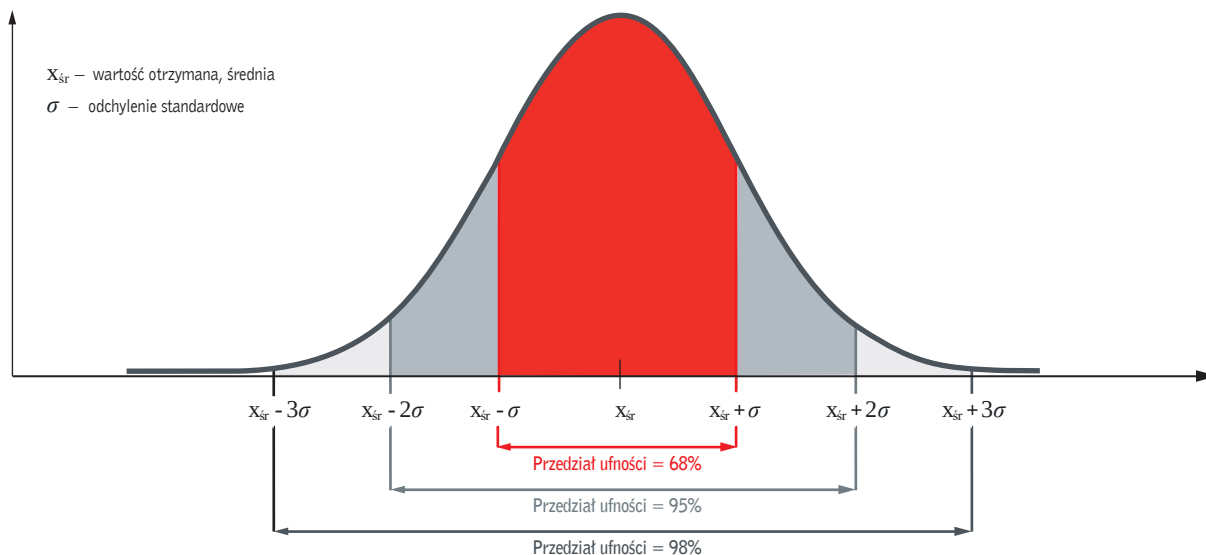
U – wyznaczona niepewność pomiaru dla danego laboratorium
 p – przyjęty przedział ufności.

Przedział ufności używany jest do wskazania wiarygodności znalezienia danego wyniku w pewnych, określonych ramach. Określany jest zawsze poprzez założony poziom ufności, zwykle wyrażony w procentach; mówi się np. o „95% przedziale ufności”. Punkty skrajne tego przedziału nazywane są granicami ufności.

Formalnie 95% przedział ufności oznacza, że przy powtarzaniu danego badania w niezmiennych warunkach, przedział ten będzie zawierał prawdziwe wartości wyników w 95% przypadków.

2) Różne sposoby liczenia niepewności pomiaru, można znaleźć w publikacjach [13] i [14].

Graficzną interpretację różnych przedziałów ufności dla rozkładu normalnego można przedstawić w sposób rys 2.5.



Rys. 2.5.
Graficzna interpretacja różnych przedziałów ufności dla rozkładu normalnego [12]

Dwa kolejne pojęcia, które nierozdzielnie związane są z wykonywanymi badaniami w laboratorium to **precyzja i dokładność**. Choć w języku potocznym oba te słowa oznaczają mniej więcej to samo, w kontekście naukowych metod badawczych są celowo rozróżniane.

System pomiarowy może być bowiem precyzyjny ale niedokładny, dokładny ale nieprecyzyjny, dokładny i precyzyjny albo niedokładny i nieprecyzyjny. Wyjaśnienie znaczenia kombinacji tych pojęć przedstawia rys. 2.6.

Pomiar jest uznawany za prawidłowy jeśli jest zarówno dokładny, jak i precyzyjny – wariant 3 na rys. 2.6.



Rys. 2.6.
Graficzna interpretacja precyzji i dokładności badania

Dokładność badania charakteryzowana jest pośrednio, poprzez podanie właściwości przeciwnej: błędu lub niepewności pomiaru. Określa ona stopień zbliżenia wyniku pomiaru do wartości rzeczywistej mierzonej cechy.

Z kolei **precyzja badania** jest to stopień zgodności pomiędzy pojedynczymi wynikami danej analizy (inaczej – rozrzut wyników), gdy dana procedura badawcza jest stosowana dla wielokrotnie powtarzanych, niezależnych oznaczeń danej próbki.

Najczęściej miarą precyzji badania jest odchylenie standardowe, względne odchylenie standardowe lub współczynnik zmienności.

Z precyzją (rozrzutem wyników) wykonywania danego badania nierozdzielnie związane są również dwa kolejne pojęcia: powtarzalność i odtwarzalność.

Powtarzalność (r) – jest to precyzja wyników uzyskanych w tych samych warunkach pomiarowych (to samo laboratorium, analityk, instrument pomiarowy, odczytniki, itp.).

Odtwarzalność (R) – jest to precyzja wyników uzyskanych w różnych laboratoriach z zastosowaniem danej procedury analitycznej.

Powtarzalność i odtwarzalność są parametrami charakterystycznymi dla danej metody pomiarowej i z reguły podawane są w odpowiednich normach czynnościowych.

Wartości powtarzalności i odtwarzalności dla parametru penetracji asfaltów drogowych, określone w normie czynnościowej

penetracji asfaltów – PN-EN 1426, przedstawiono w tabeli 2.1:

Tabela 2.1.

Wartości powtarzalności i odtwarzalności dla parametru penetracji asfaltów drogowych

WARUNKI POMIARU	PENETRACJA W 0,1 mm	POWTARZALNOŚĆ, r	ODTWARZALNOŚĆ, R
Temperatura: 25°C Masa igły: 100 g Czas obciążenia: 5 s	< 50 ≥ 50	2 4% wartości średniej	3 6% wartości średniej

2.1.3.2 INTERPRETACJA WYNIKÓW BADAŃ ZGODNIE Z PN-EN ISO 4259

Norma PN-EN ISO 4259 *Przetwory naftowe i produkty podobne. Precyzja metod pomiaru i wyników*. obejmuje zagadnienia związane z prawidłową interpretacją wyników badań lepiszczy asfaltowych.

Norma ta jest przywołana w każdej normie z wymaganiami wobec lepiszczy asfaltowych i jest wiążąca zarówno dla producenta, jak i dla odbiorcy.

Granice cechy

Tak jak już wcześniej napisano, w praktyce laboratoryjnej nigdy nie można dokładnie ustalić rzeczywistej wartości badanego parametru. Określony parametr mierzy się w laboratorium stosując znormalizowaną metodę badawczą, której wyniki mogą wykazywać pewien rozrzut określony przez jej powtarzalność i/lub odtwarzalność.

Przy ocenie danego wyniku badania, ważne jest ustalenie granicy bądź granic prawdziwej wartości badanej cechy. Ustalona granica może być jednostronna (nie mniej niż / nie więcej niż) lub dwustronna:

- granica dwustronna (górną i dolną) – **na przykład: penetracja w 25°C od 35 do 50 [0,1 mm]**,
- **granica jednostronna** (górną lub dolną) – np. temperatura łamliwości Fraassa = nie wyższa niż -18°C lub nawrót sprężysty w 25°C = nie mniejszy niż 80%. Czasami występuje dodatkowa domniemana granica, np. w przypadku rozpuszczalności z wymaganiem jednostronnym „nie mniej niż 99%” w sposób logiczny pojawia się dodatkowa granica 100% – w takich przypadkach granica jednostronna przekształca się w granicę dwustronną. Podobnie jest z nawrotem sprężystym, który także nie może być większy od 100%.

W normie PN-EN ISO 4259 górna granica oznaczana jest jako A_1 , a dolna jako A_2 .

Wyznaczanie granic w specyfikacjach

W tym miejscu należy dodać kilka słów o tworzeniu specyfikacji (wymagań). Otóż zasady podane w normie PN-EN ISO 4259 wyraźnie wskazują, że wartość graniczna badanej cechy powinna uwzględniać odtwarzalność przyjętej metody badań, w następujący sposób:

- dla granicy dwustronnej (A_1 i A_2) określony zakres nie powinien być mniejszy od poczwórnej wartości odtwarzalności R:
$$(A_1 - A_2) \geq 4 \cdot R$$
- dla granicy jednostronnej (A_1 lub A_2) określony zakres nie powinien być mniejszy od podwójnej wartości odtwarzalności R:
$$A_1 \geq 2 \cdot R \quad \text{lub} \quad A_2 \geq 2 \cdot R$$

Jeżeli warunek $(A_1 - A_2) \geq 4 \cdot R$ nie został spełniony, wówczas należy albo poszerzyć granice wymagania, albo poszukać metody badania o lepszej precyzji. Oznacza to, że stawiane w specyfikacji wymagania wobec danej cechy muszą uwzględniać precyzję metody badawczej. W przeciwnym wypadku konflikty na styku dostawca-odbiorca będą nieuniknione.

Ocena wyniku pomiaru na zgodność ze specyfikacją

W sytuacji, w której jedynym źródłem informacji o danym parametrze produktu jest pojedynczy wynik³, wówczas należy przyjąć, że właściwości tego produktu mieszczą się w granicach wymagania z 95% poziomem ufności, tylko wtedy gdy wynik badania (oznaczymy go jako Y) jest następujący:

- dla jednostronnej górnej granicy A_1 :
$$Y > A_1 + 0,59 \cdot R$$
- dla jednostronnej dolnej granicy A_2 :
$$Y < A_2 - 0,59 \cdot R$$
- dla dwustronnej granicy – odpowiednio jedno z wymagań powinno być spełnione (jedno, ponieważ kwestionowany jest zwykły wynik poza dolną lub górną granicą przedziału wymagań).

3) Pojedynczy wynik, w przypadku badania penetracji wg PN-EN 1426, należy rozumieć jako średnią arytmetyczną z minimum trzech pomiarów, wykonanych w warunkach powtarzalności metody

Wracając do przykładu z wartością penetracji asfaltu drogowego 35/50 – rozpatrujemy sytuację, w której odbiorca otrzymał wynik badania kontrolnego z własnego laboratorium: $Pen_{25}=34$ [0,1mm].

Znając już powyższe zasady interpretacji i statystycznej analizy wyników badań, zadajmy sobie pytanie – czy otrzymany wynik jest zgodny czy niezgodny ze specyfikacją podaną w normie PN-EN 12591? Czy odbiorca może uznać, że otrzymał asfalt drogowy 35/50, czy też powinien złożyć reklamację jakościową ze względu na zbyt niską wartość penetracji?

Wynik $Pen_{25}=34$ [0,1 mm], oznaczmy jako Y . Granice normowe dla asfaltu 35/50 to

- granica dolna: $A_2=35$ [0,1 mm],
- granica górna: $A_1=50$ [0,1 mm],

a zatem wynik $Pen_{25}=34$ [0,1mm] jest tuż poza dolną granicą specyfikacji A_2 .

Norma na badanie penetracji lepiszczy asfaltowych (PN-EN 1426) określa odtwarzalność metody równą $R=3$ [0,1 mm] dla asfaltów o penetracji w 25°C mniejszej niż 50 [0,1 mm].

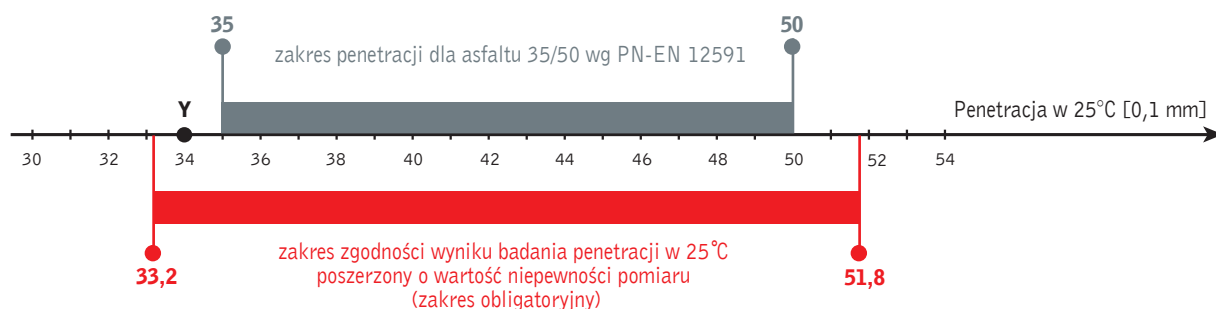
Obliczmy, czy dostawca dostarczył asfalt zgodny z normą:

$$35 - 0,59 \cdot 3 < Y < 50 + 0,59 \cdot 3$$

$$33,2 < Y < 51,8$$

W tym wypadku wynik badania $Y=34$ [0,1 mm] mieści się w granicach specyfikacji poszerzonych o niepewność pomiaru penetracji. Aby odrzucić dostawę, odbiorca musiałby stwierdzić, że wynik jest mniejszy niż 33,2 [0,1 mm] lub większy niż 51,8 [0,1 mm] (rys. 2.7).

Biorąc powyższe pod uwagę, należy stwierdzić, że dostarczony asfalt drogowy 35/50 o $Pen=34$ [0,1mm] jest zgodny z normą, nie ma zatem formalnych podstaw do złożenia oficjalnej reklamacji jakościowej.



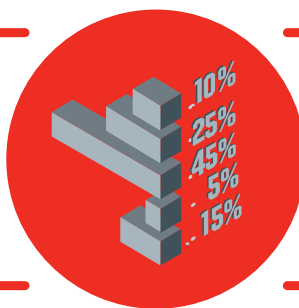
Rys. 2.7.

Ilustracja do przykładu – zakresy zgodności dla wyniku penetracji, rozszerzone o wartość niepewności pomiaru [opracowanie własne]

Przypadki sporne

W przypadku, gdy odbiorca i dostawca wyrobu nie mogą się porozumieć w sprawie jakości dostarczonego produktu, należy zastosować procedurę opisaną w pkt. 7 oraz w Załączniku B normy PN-EN ISO 4259-2, który dotyczy przyjmowania i odrzucania wyników w przypadkach spornych.

2.2. WYNIKI WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI LEPISZCZY ASFALTOWYCH



W niniejszej części rozdziału przedstawiono wyniki kontroli laboratoryjnej wybranych parametrów lepiszczy asfaltowych produkowanych przez Grupę ORLEN w okresie od stycznia 2018 do kwietnia 2020 roku. Analizowane dane zostały przedstawione w podziale na poszczególne właściwości lepiszczy asfaltowych.

Dane statystyczne dla wszystkich lepiszczy asfaltowych zostały umieszczone w tabelach, natomiast dla wybranych cech (właściwości) najpopularniejszych lepiszczy asfaltowych dane zostały zaprezentowane również w postaci graficznej przy użyciu histogramów.

2.2.1. PENETRACJA W 25°C

Penetracja jest podstawowym badaniem służącym do oceny konsystencji lepiszczy asfaltowych wyrażonej w sposób umowny jako głębokość, na jaką wnika pionowo w próbkę asfaltu znormalizowana stalowa igła w określonej temperaturze.

Badanie penetracji wykonywane jest zgodnie z normą PN-EN 1426. Pomiar można wykonać w różnej temperaturze, jednakże pomiar w 25°C jest podstawowym sposobem klasyfikującym lepiszcza asfaltowe zgodnie z normalizacją europejską.



Rys. 2.8.

(A) Widok ogólny aparatu do badania penetracji z umieszczoną próbką asfaltu, (B) widok próbki asfaltu po wykonaniu badania (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o. dzięki uprzejmości ORLEN Laboratorium S.A.)

Parametry statystyczne wyników oznaczeń penetracji w 25°C dla asfaltów produkowanych w okresie 2018 ÷ 2020, zestawiono w tabeli 2.2.

Tabela 2.2.

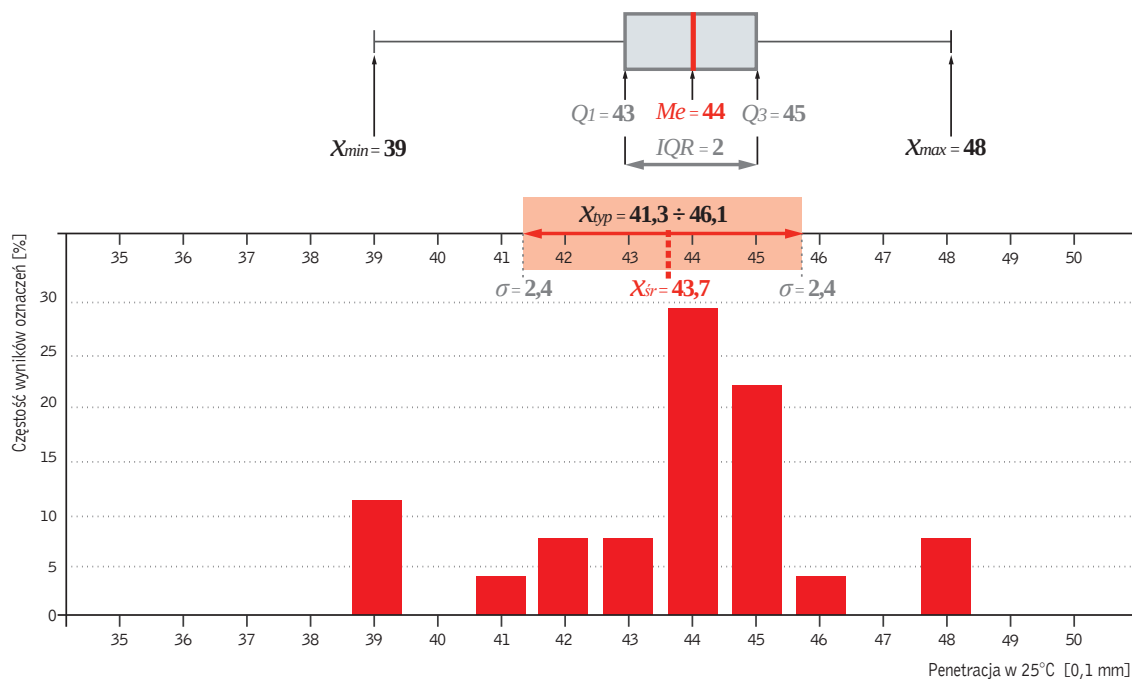
Parametry statystyczne wyników oznaczeń penetracji w 25°C dla asfaltów produkowanych w latach 2018 ÷ 2020*

RODZAJ LEPISZCZA	WYMA- GANIE** [°C]	WARTOŚĆ ŚREDNIA	ODCHYLENIE STANDAR- DOWE	PRZEDZIAŁ TYPOWY	MEDIANA	KWARTYL PIERWSZY	KWARTYL TRZECI	WARTOŚĆ MIN-MAX
		$\bar{x}_{sr}$	σ	x_{dp}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
20/30	20 ÷ 30	27,0	1,5	25,5 ÷ 28,5	27	26	28	24 ÷ 29
35/50	35 ÷ 50	43,7	2,4	41,3 ÷ 46,1	44	43	45	39 ÷ 48
50/70	50 ÷ 70	61,4	3,0	58,4 ÷ 64,4	61	59	63	53 ÷ 70
70/100	70 ÷ 100	89,8	4,8	85,0 ÷ 94,6	90	87	92	78 ÷ 100
100/150	100 ÷ 150	125,9	7,4	118,5 ÷ 133,3	124	122	131	112 ÷ 140
160/220	160 ÷ 220	182,3	6,4	176,9 ÷ 189,7	183	178	185	166 ÷ 198
ORBITON 25/55-60	25 ÷ 55	38,5	4,2	34,3 ÷ 42,7	38	37	40	31 ÷ 52
ORBITON 45/80-55	45 ÷ 80	66,6	3,5	63,1 ÷ 70,1	67	64	70	60 ÷ 73
ORBITON 45/80-65	45 ÷ 80	57,5	3,4	54,1 ÷ 60,9	57	56	59	52 ÷ 64
ORBITON 25/55-80 HiMA	25 ÷ 55	49,7	3,1	46,6 ÷ 52,8	50	47	52	44 ÷ 53
ORBITON 45/80-80 HiMA	45 ÷ 80	67,0	5,6	61,4 ÷ 72,6	65	63	70	59 ÷ 80
ORBITON 65/105-80 HiMA	65 ÷ 105	86,8	7,3	79,5 ÷ 94,1	88	82	90	74 ÷ 100

* wyniki badań odnoszą się do okresu: styczeń 2018 ÷ kwiecień 2020

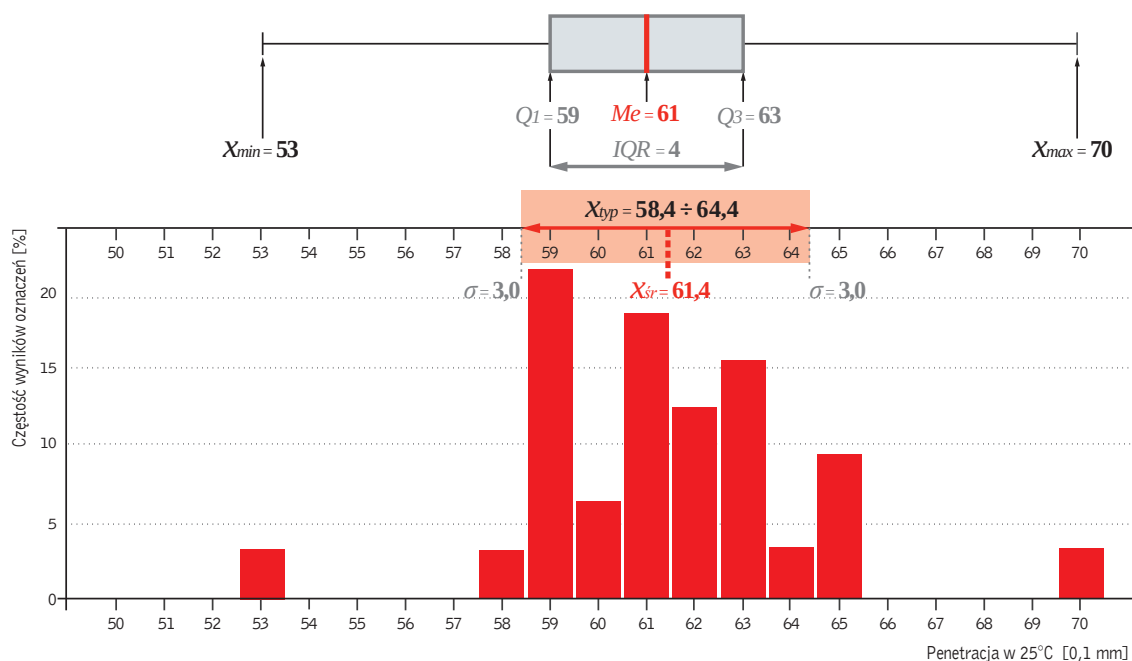
** dla asfaltów drogowych wg PN-EN 12591; dla ORBITON i ORBITON HiMA wg PN-EN 14023

Dodatkowo, na rysunkach 2.9.- 2.13. przedstawiono histogramy wraz w wykresami pudełkowymi, dla wyników penetracji wybranych asfaltów produkowanych w latach 2018÷2020.



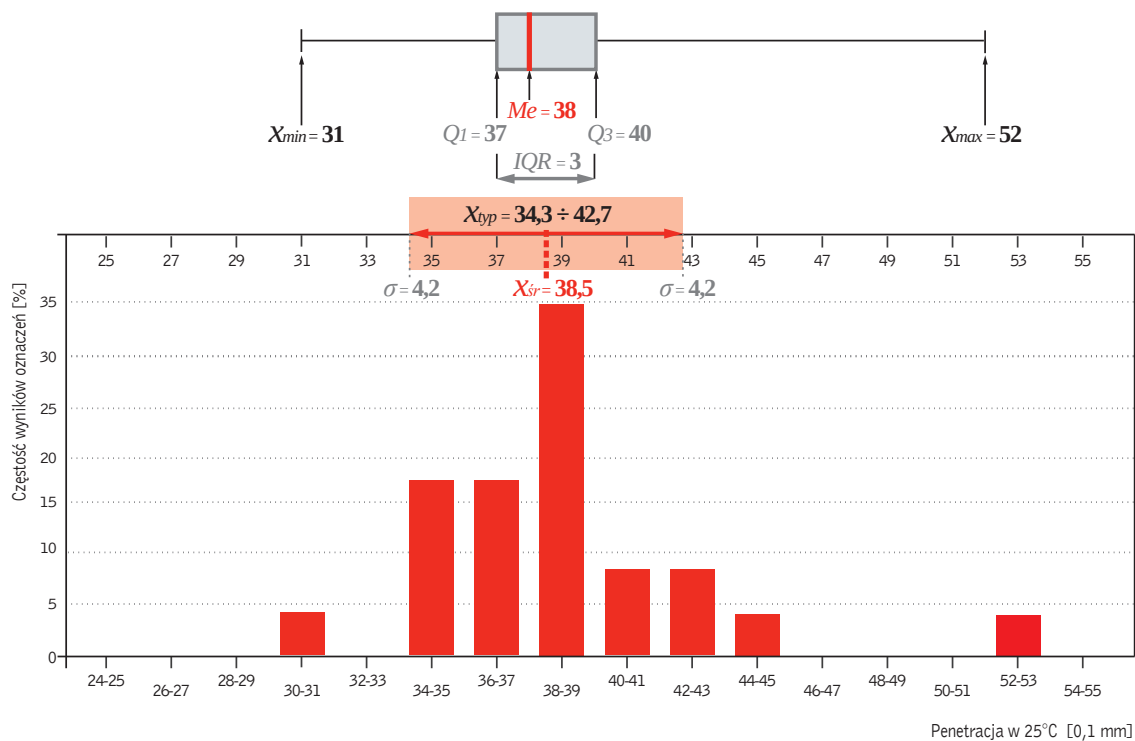
Rys. 2.9.

Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń penetracji w 25°C **asfaltu drogowego 35/50** produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: 35÷50 [0,1 mm])

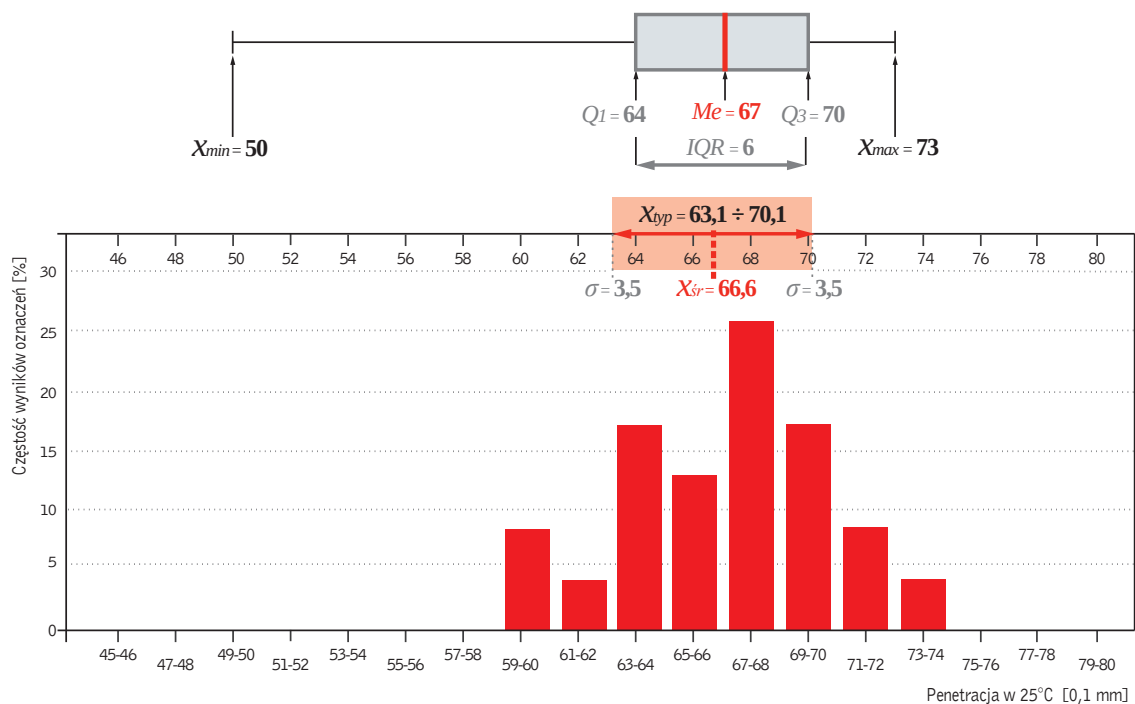


Rys. 2.10.

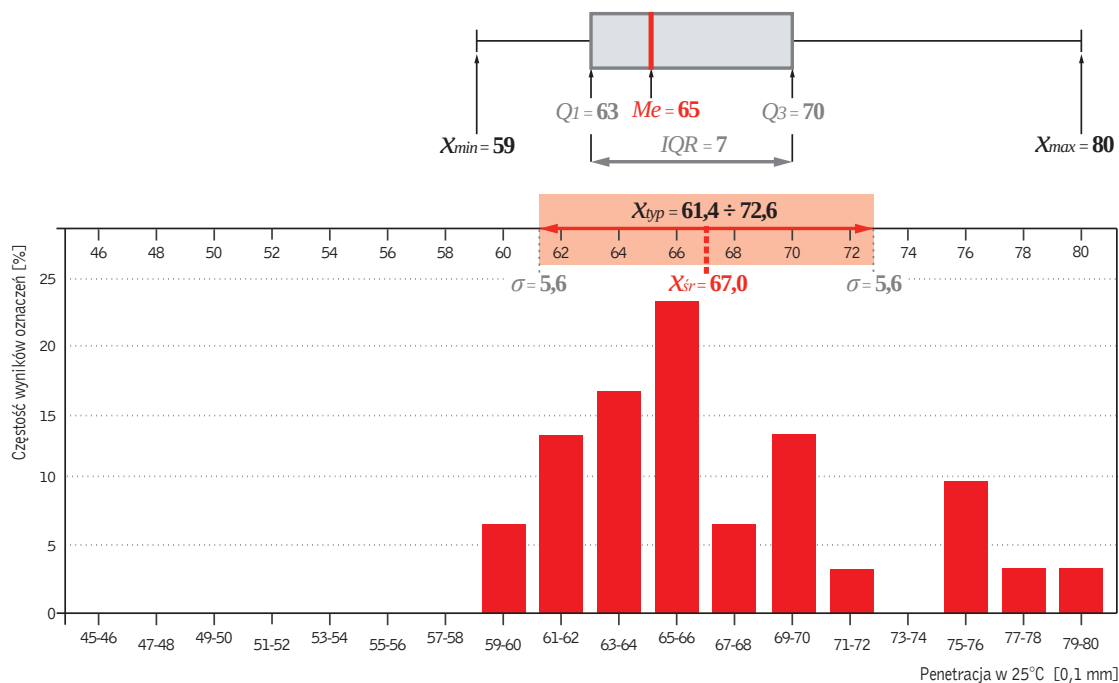
Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń penetracji w 25°C **asfaltu drogowego 50/70** produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: 50÷70 [0,1 mm])


Rys. 2.11.

Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń penetracji w 25°C asfaltu **ORBITON 25/55-60** produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: 25 ÷ 55 [0,1 mm])


Rys. 2.12.

Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń penetracji w 25°C asfaltu **ORBITON 45/80-55** produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: 45 ÷ 80 [0,1 mm])



Rys. 2.13.

Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń penetracji w 25°C asfaltu **ORBITON 45/80-80 HiMA** produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: 45 ÷ 80 [0,1 mm])

2.2.2. TEMPERATURA MIĘKNIENIA

Temperatura mięknięcia jest podstawowym parametrem określającym właściwości asfaltu w tzw. wysokiej temperaturze eksploatacji oraz stanowi, w przybliżeniu – umowną, górną granicę stanu lepko-sprężystego.

Istotą wykonania badania jest wyznaczenie „umownej” temperatury, przy której asfalt osiągnie określoną konsystencję. Badanie temperatury mięknięcia asfaltu wykonuje się najczęściej metodą „Pierścienia i Kuli” zgodnie z normą PN-EN 1427.

Parametry statystyczne wyników oznaczeń temperatury mięknięcia dla asfaltów produkowanych w latach 2018 ÷ 2020 zestawiono w tabeli 2.3.

Dodatkowo, na rysunkach 2.15.-2.19. przedstawiono histogramy wraz z wykresami pudełkowymi, dla wyników temperatury mięknięcia PiK wybranych asfaltów produkowanych w latach 2018 ÷ 2020.

Tabela 2.3.

Parametry statystyczne wyników oznaczeń temperatury mięknięcia PiK dla asfaltów produkowanych w latach 2018 ÷ 2020*

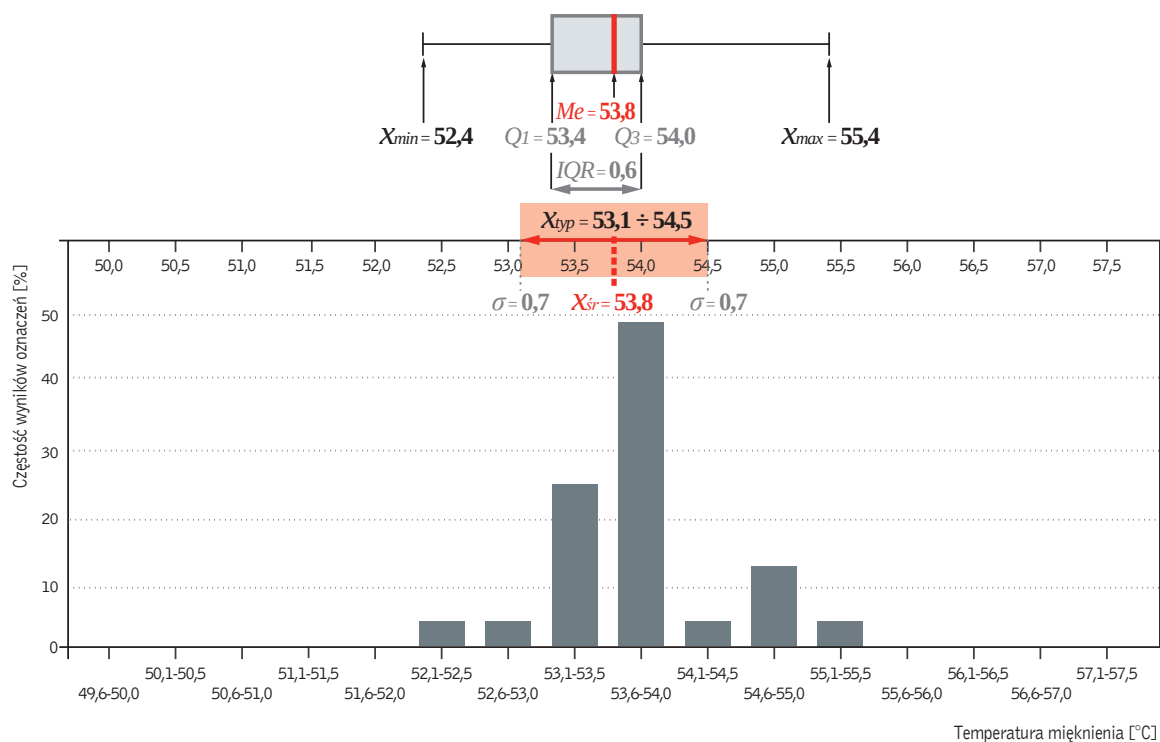
RODZAJ LEPISZCZA	WYMA- GANIE** [°C]	WARTOŚĆ ŚREDNIA	ODCHYLENIE STANDAR- DOWE	PRZEDZIAŁ TYPOWY	MEDIANA	KWARTYL PIERWSZY	KWARTYL TRZECI	WARTOŚĆ MIN-MAX
		$\bar{x}_{sr}$	σ	x_{typ}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
20/30	55 ÷ 63	62,3	0,6	61,7 ÷ 62,9	62,4	61,8	62,8	60,8 ÷ 63,0
35/50	50 ÷ 58	53,8	0,7	53,1 ÷ 54,5	53,8	53,4	54,0	52,4 ÷ 55,4
50/70	46 ÷ 54	48,9	1,3	47,6 ÷ 50,2	48,8	48,0	49,6	47,0 ÷ 53,8
70/100	43 ÷ 51	44,9	1,4	43,5 ÷ 46,3	44,6	44,2	45,0	43,6 ÷ 50,8
100/150	39 ÷ 47	41,7	0,7	41,0 ÷ 42,4	41,8	41,2	42,0	40,2 ÷ 43,2
160/220	35 ÷ 43	38,5	0,6	37,9 ÷ 39,1	38,6	38,2	38,8	37,0 ÷ 39,8
ORBITON 25/55-60	≥ 60	64,9	1,4	63,5 ÷ 66,3	65,0	64,0	66,0	61,8 ÷ 67,0
ORBITON 45/80-55	≥ 55	63,7	4,9	58,8 ÷ 68,6	62,4	61,2	65,6	56,8 ÷ 75,2
ORBITON 45/80-65	≥ 65	76,2	5,3	70,9 ÷ 81,5	75,7	72,4	79,8	66,6 ÷ 88,0
ORBITON 25/55-80 HiMA	≥ 80	95,2	3,3	91,9 ÷ 98,5	94,5	93,0	99,0	89,0 ÷ 101,0
ORBITON 45/80-80 HiMA	≥ 80	92,6	3,1	89,5 ÷ 95,7	92,5	91,0	95,5	83,0 ÷ 97,5
ORBITON 65/105-80 HiMA	≥ 80	90,5	2,6	87,9 ÷ 93,1	90,0	88,5	92,5	86,5 ÷ 94,0

* wyniki badań odnoszą się do okresu: styczeń 2018 ÷ kwiecień 2020

** dla asfaltów drogowych wg PN-EN 12591; dla ORBITON i ORBITON HiMA wg PN-EN 14023

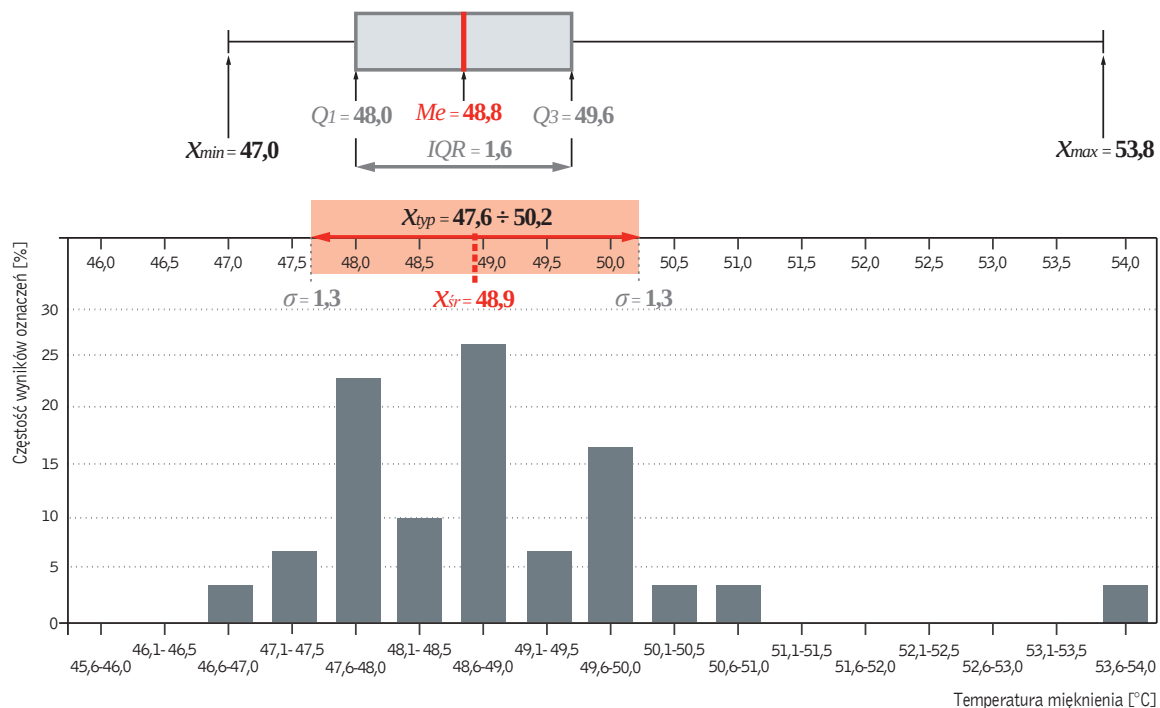

Rys. 2.14.

Widok próbki asfaltu przed (A) i po (B) wykonaniu badania temperatury mięknięcia metodą PiK (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o. dzięki uprzejmości ORLEN Laboratorium S.A.)



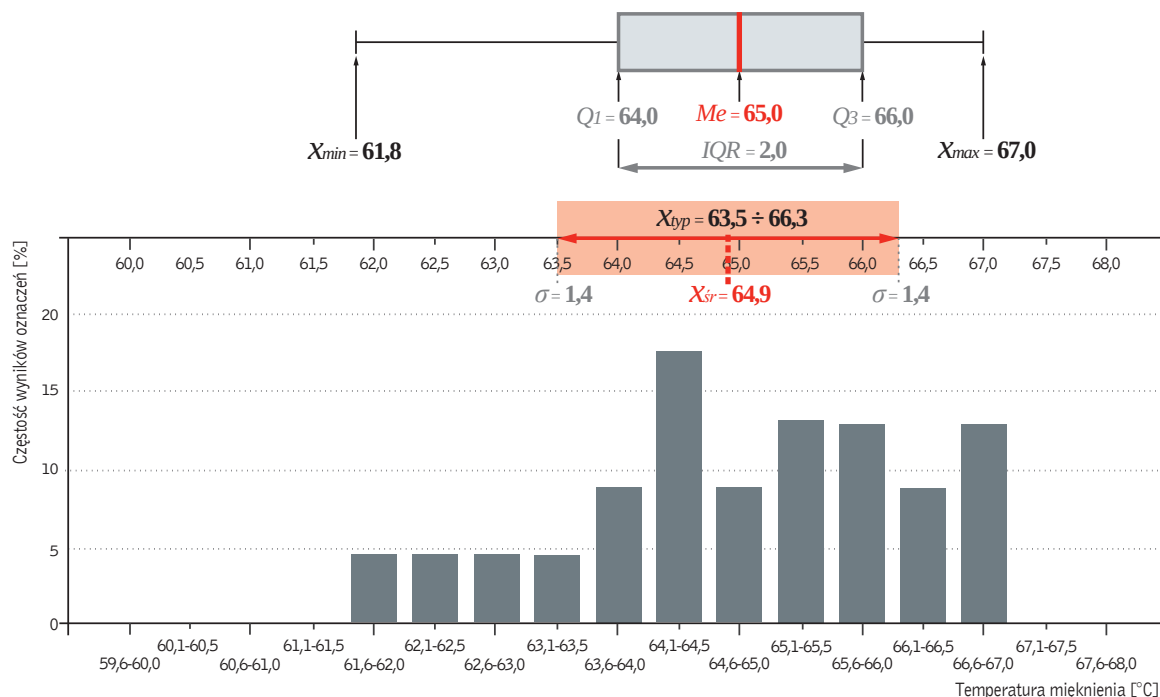
Rys. 2.15.

Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury mięknięcia PiK **asfaltu drogowego 35/50** produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: 50 ÷ 58 [°C])



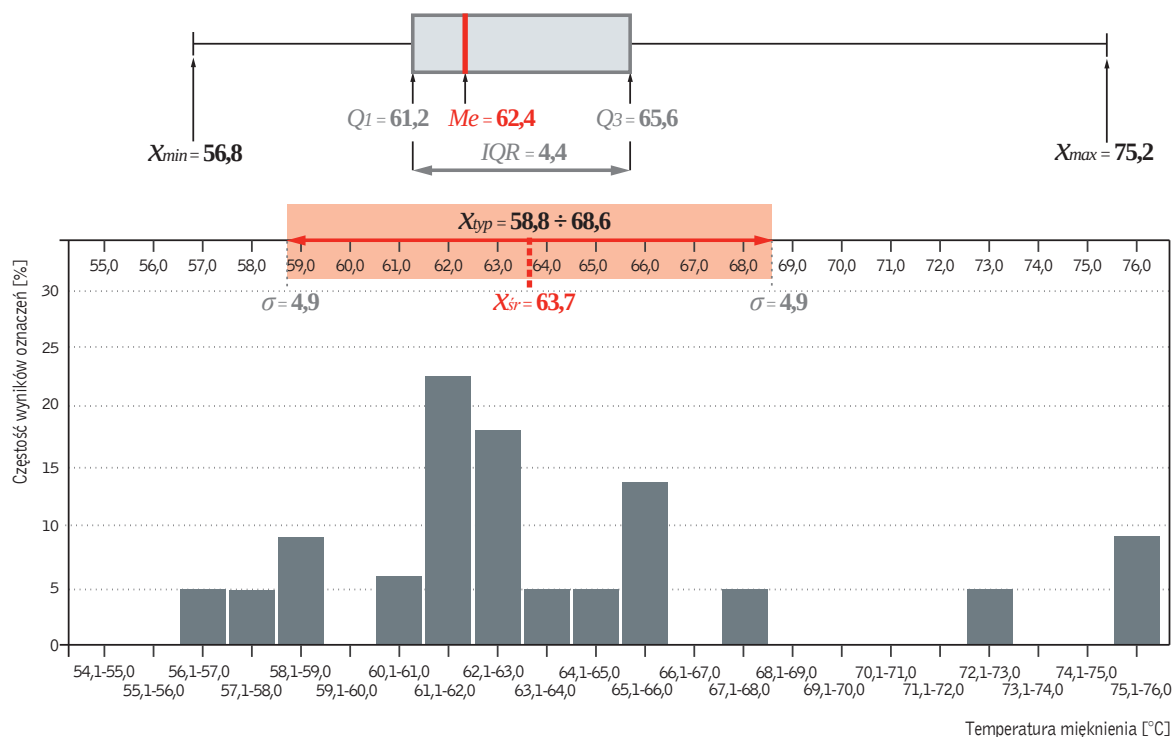
Rys. 2.16.

Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury mięknięcia PiK **asfaltu drogowego 50/70** produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: 46 ÷ 54 [°C])



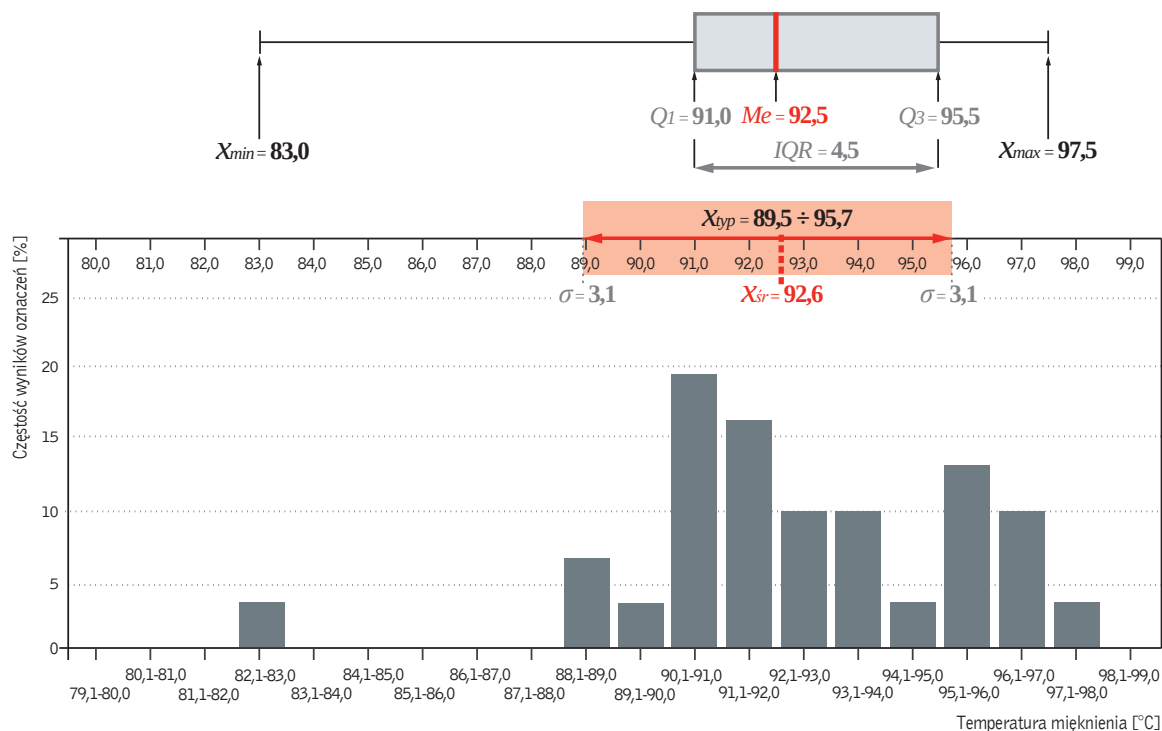
Rys. 2.17.

Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury mięknięcia PiK asfaltu **ORBITON 25/55-60** produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: ≥ 60 [°C])



Rys. 2.18.

Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury mięknięcia PiK asfaltu **ORBITON 45/80-55** produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: ≥ 55 [°C])



Rys. 2.19.

Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury mięknięcia PiK asfaltu **ORBITON 45/80-80 HIMA** produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: ≥ 80 [°C])

2.2.3. TEMPERATURA ŁAMLIWOŚCI

Temperatura łamliwości określa niskotemperaturowe właściwości asfaltu oraz, stanowi w przybliżeniu – umowną, dolną granicę stanu lepko-sprężystego.

Badanie temperatury łamliwości wg Fraassa wykonywane jest zgodnie z normą PN-EN 12593.

Na rys. 2.20. przedstawiono zdjęcia aparatu do wykonywania pomiaru temperatury łamliwości.

W tabeli 2.4. przedstawiono parametry statystyczne wyników oznaczeń temperatury łamliwości wg Fraassa dla asfaltów produkowanych w latach 2018 ÷ 2020.

Dodatkowo, na rysunkach 2.21.–2.25. przedstawiono histogramy wraz w wykresami pudełkowymi, dla wyników temperatury łamliwości wybranych asfaltów produkowanych w latach 2018 ÷ 2020.

Tabela 2.4.

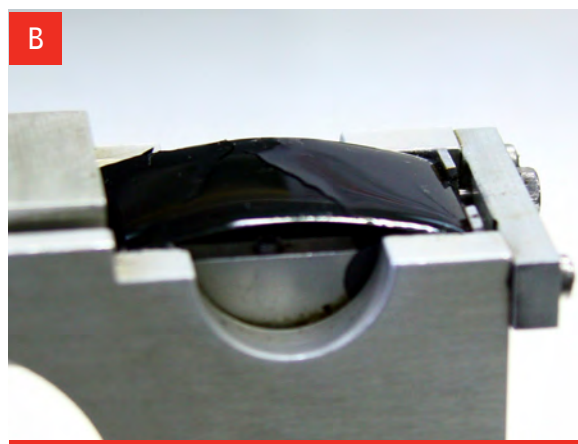
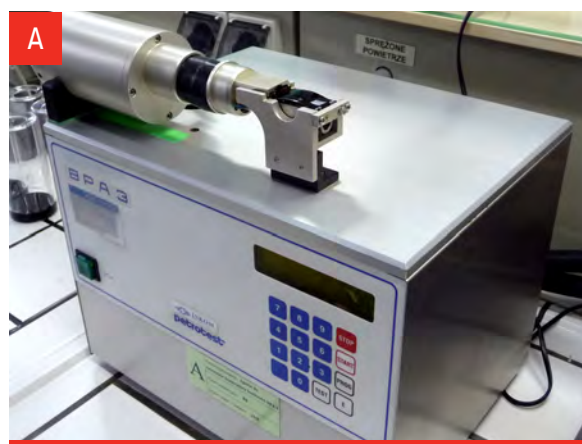
Parametry statystyczne wyników oznaczeń temperatury łamliwości dla asfaltów produkowanych w latach 2018 ÷ 2020*

RODZAJ LEPISZCZA	WYMA- GANIE** [°C]	WARTOŚĆ ŚREDNIA	ODCHYLENIE STANDAR- DOWE	PRZEDZIAŁ TYPOWY	MEDIANA	KWARTYL PIERWSZY	KWARTYL TRZECI	WARTOŚĆ MIN-MAX
		$\bar{x}_{sr}$	σ	x_{typ}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
20/30	NR	-9,6	1,4	-11,0 ÷ -8,2	-10	-10	-9	-12 ÷ -7
35/50	≤ -5	-12,6	1,5	-14,1 ÷ -11,1	-13	-14	-12	-15 ÷ -11
50/70	≤ -8	-14,8	2,1	-16,9 ÷ -12,7	-14	-16	-14	-18 ÷ -12
70/100	≤ -10	-16,2	1,7	-17,9 ÷ -14,5	-16	-16	-16	-21 ÷ -13
100/150	≤ -12	-16,0	1,4	-17,4 ÷ -14,6	-16	-17	-15	-18 ÷ -14
160/220	≤ -15	-17,2	1,1	-18,3 ÷ -16,1	-17	-18	-16	-19 ÷ -15
ORBITON 25/55-60	≤ -10	-14,8	2,2	-17,0 ÷ -12,6	-14	-16	-13	-21 ÷ -12
ORBITON 45/80-55	≤ -15	-17,7	1,8	-19,5 ÷ -15,9	-17	-19	-16	-22 ÷ -15
ORBITON 45/80-65	≤ -15	-17,5	1,2	-18,7 ÷ -16,3	-18	-18	-17	-20 ÷ -16
ORBITON 25/55-80 HiMA	≤ -15	-21,2	1,1	-22,3 ÷ -20,1	-22	-22	-20	-22 ÷ -20
ORBITON 45/80-80 HiMA	≤ -18	-20,9	1,3	-22,2 ÷ -19,6	-21	-22	-20	-22 ÷ -19
ORBITON 65/105-80 HiMA	≤ -18	-21,2	1,3	-22,5 ÷ -19,9	-21	-22	-20	-23 ÷ -20

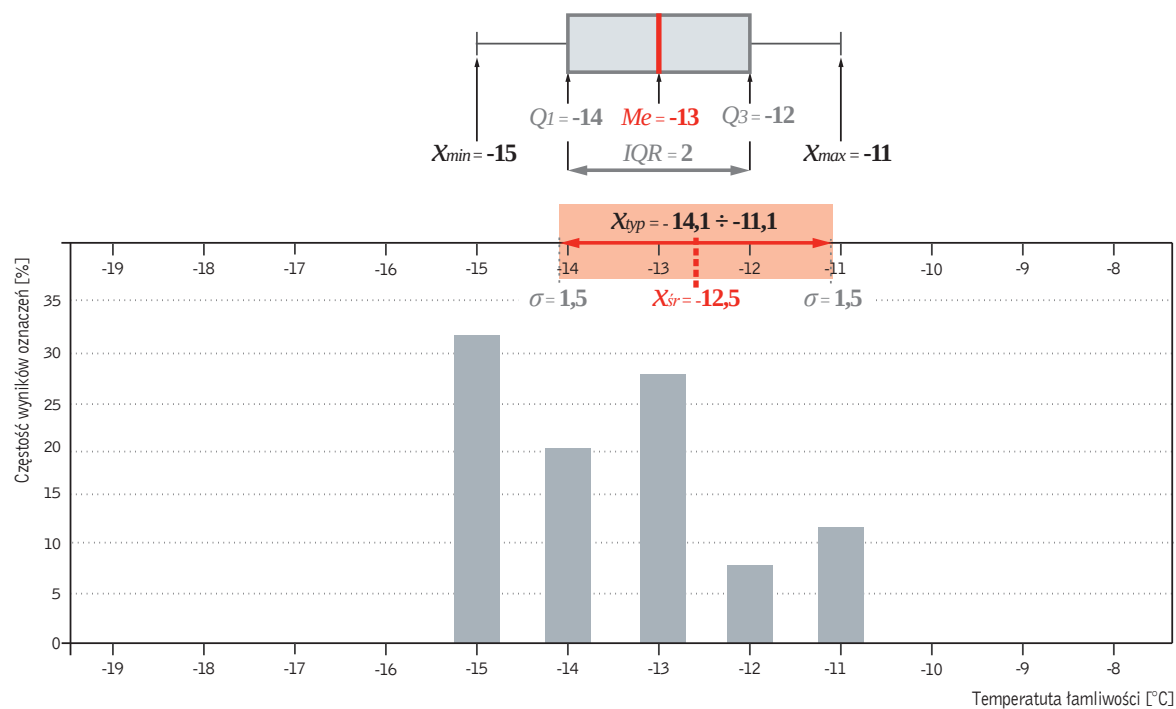
* wyniki badań odnoszą się do okresu: styczeń 2018 ÷ kwiecień 2020

** dla asfaltów drogowych wg PN-EN 12591; dla ORBITON i ORBITON HiMA wg PN-EN 14023

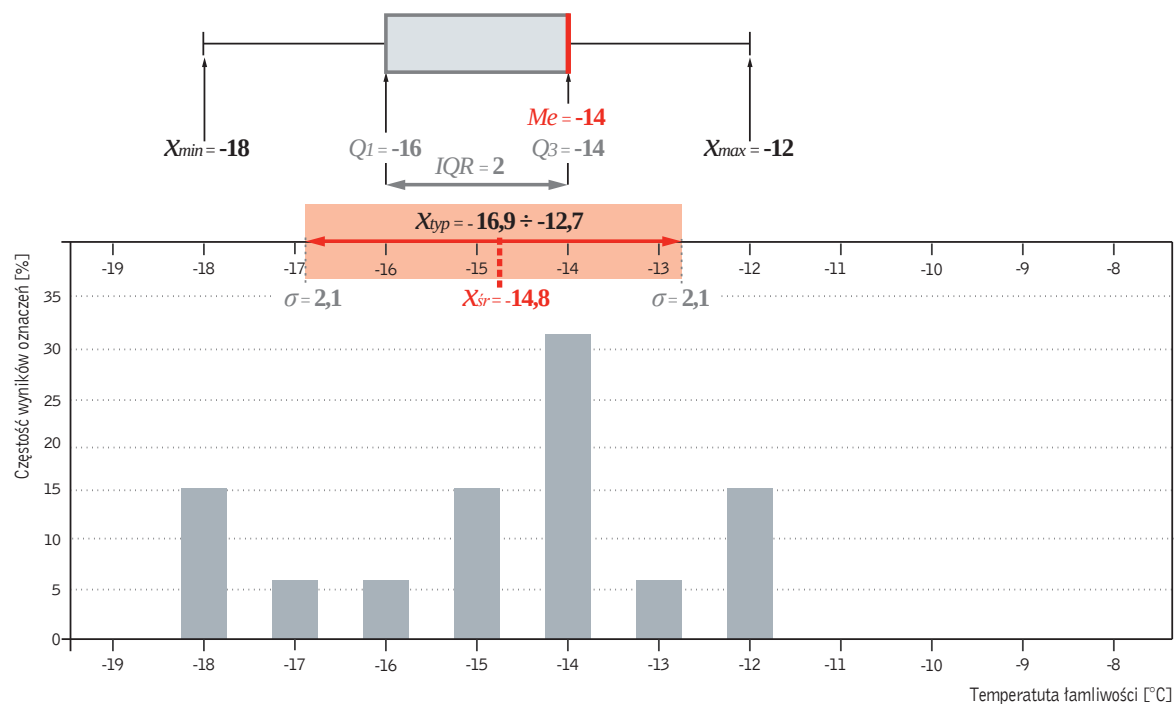
NR – No Requirement (brak wymagań)


Rys. 2.20.

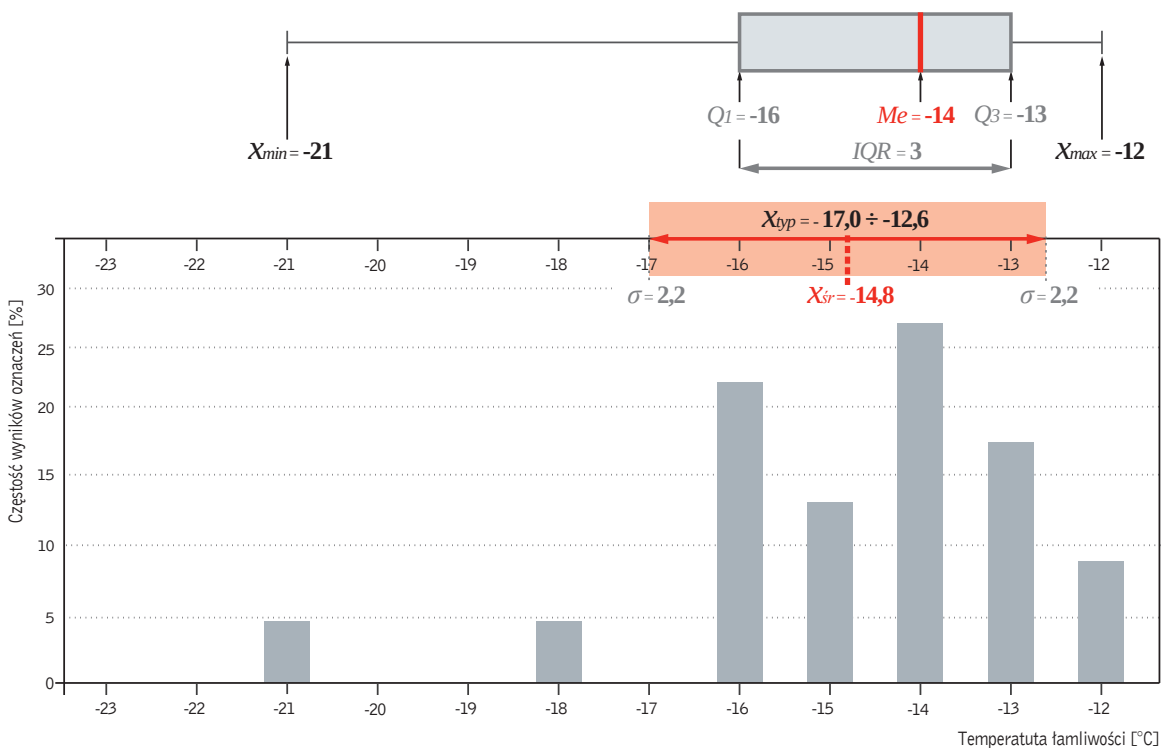
(A) Widok ogólny aparatury do badania temperatury łamliwości Fraassa oraz (B) widok próbki asfaltu na płytce po wykonaniu badania (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o. dzięki uprzejmości ORLEN Laboratorium S.A.)

**Rys. 2.21.**

Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury łamliwości **asfaltu drogowego 35/50** produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: ≤ -5 [°C])

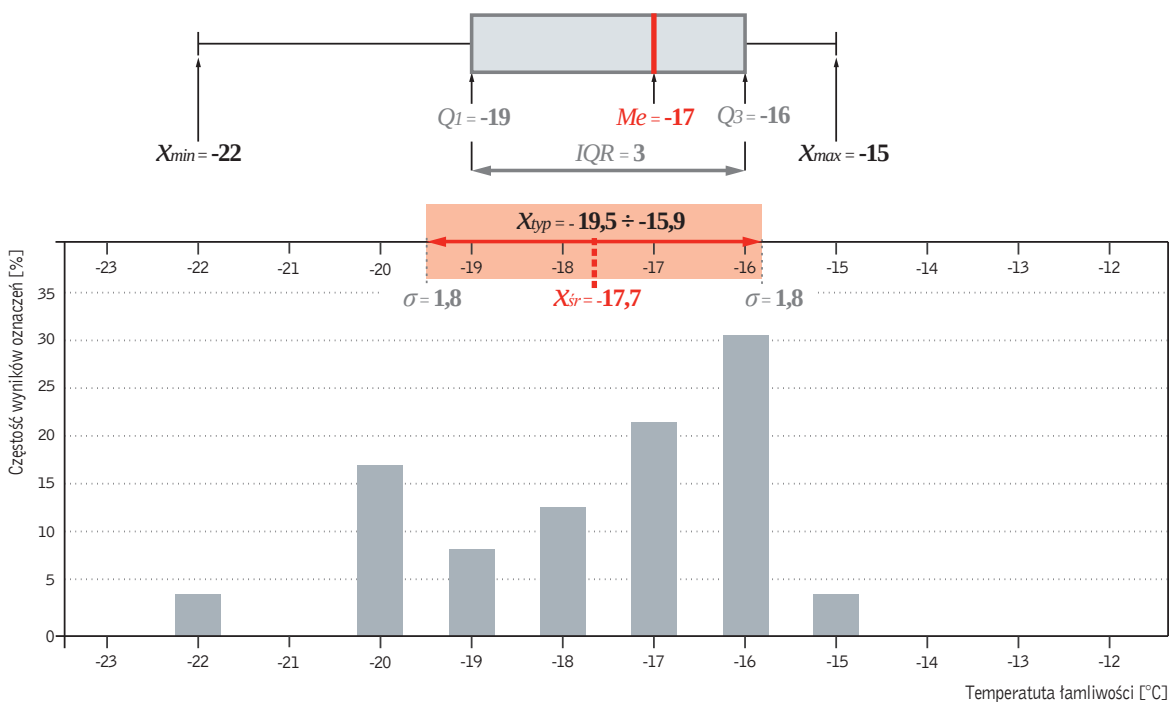
**Rys. 2.22.**

Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury łamliwości **asfaltu drogowego 50/70** produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: ≤ -8 [°C])



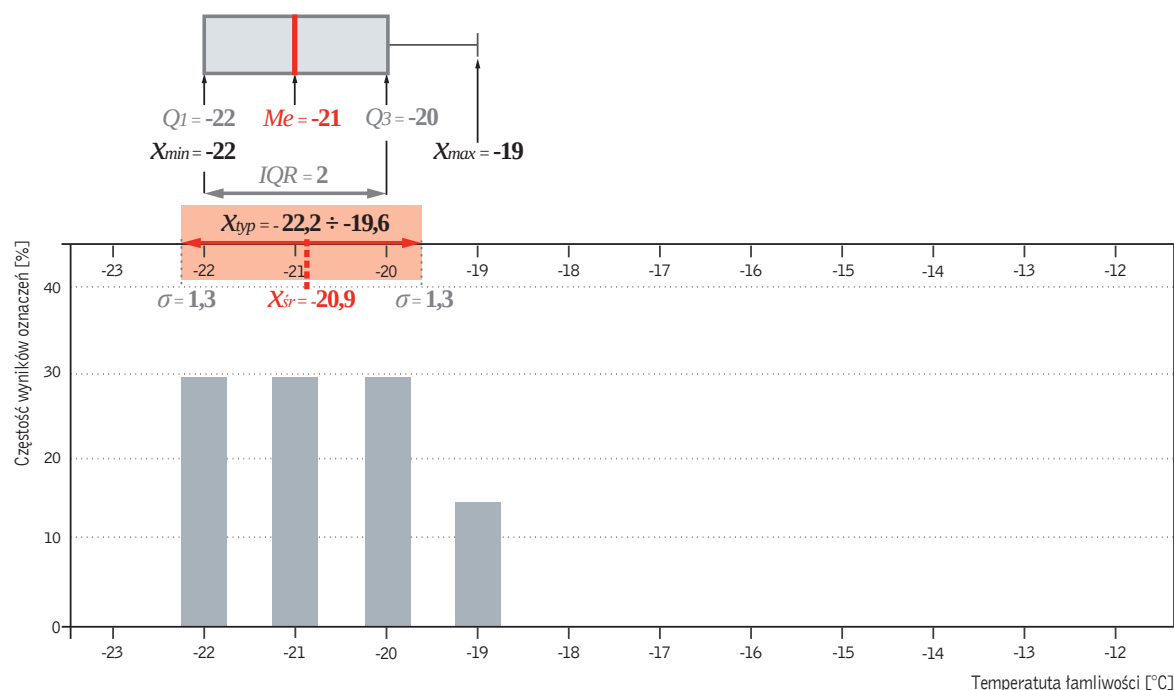
Rys. 2.23.

Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury łamliwości asfaltu **ORBITON 25/55-60** produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: ≤ -10 [°C])



Rys. 2.24.

Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury łamliwości asfaltu **ORBITON 45/80-55** produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: ≤ -15 [°C])

**Rys. 2.25.**

Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury łamliwości asfaltu **ORBITON 45/80-80** HiMA produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: ≤ -18 [°C])

2.2.4. LEPKOŚĆ

Lepkość jest jednym z ważniejszych parametrów technologicznych i użytkowych lepiszczy asfaltowych. Istnieje szereg jej definicji i metod badania. W odniesieniu do asfaltów pojęcie lepkości można zdefiniować jako tarcie wewnętrzne występujące pomiędzy cząsteczkami przy przesuwaniu się jednej warstwy asfaltu względem drugiej [15].

Asfalty traktowane są jako ciecze o skomplikowanych cechach reologicznych. Ich lepkość może się zmieniać w zależności od: temperatury, szybkości ścinania, czasu trwania badania, rodzaju metody czy układu pomiarowego wykorzystanego w danej metodzie. Innymi słowy oznacza to, że **porównywalność wyników lepkości uzyskiwanych różnymi metodami może być zachowana jedynie pod warunkiem spełnienia ściśle określonych warunków pomiarowych (odpowiednio dobrane wartości temperatury, układy pomiarowe, szybkość ścinania, czas badania, itd.)**. W innych przypadkach porównywanie

i zamienne stosowanie wyników lepkości jest nieprawidłowe i może prowadzić do uzyskiwania błędnych wniosków.

Im wyższa temperatura asfaltu, tym mniejsza jest jego lepkość [15]. Zależność ta może zostać wykorzystana do ustalenia charakterystyki lepkość-temperatura oraz wyznaczenia temperatury pompowania asfaltu, otaczania nim kruszywa oraz zagęszczania nawierzchni. Jednakże w przypadku asfaltów modyfikowanych oraz wysokomodyfikowanych typu HiMA, zważywszy na ich nietypowe cechy, wynikające ze specyficznych właściwości zastosowanego polimeru, przyjmowanie zależności lepkość-temperatura do precyzyjnego określania temperatury technologicznej wydaje się niezbyt właściwe. Określone w ten sposób temperatury są w dużym stopniu przybliżone.

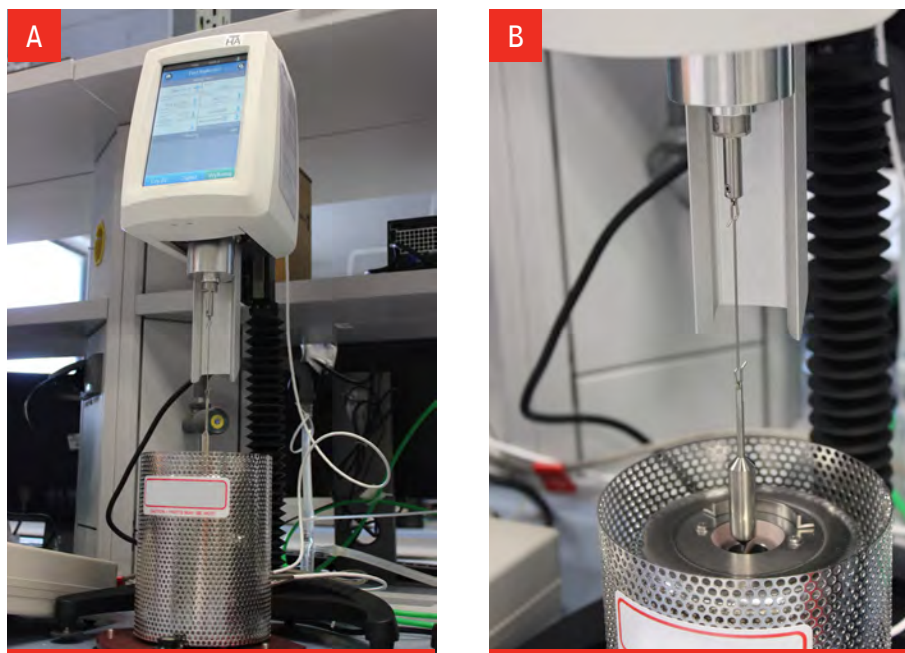
Więcej informacji na temat temperatury technologicznej znajduje się w rozdziale 5.

Badanie lepkości dynamicznej można wykonać:

- metodą próżniowej kapilary Cannon-Manning, zgodnie z normą PN-EN 12596;
- metodą stożek-płytkę za pomocą reometru, zgodnie z normą PN-EN 13702-1;
- przy użyciu lepkościomierza obrotowego Brookfielda zgodnie z normami PN-EN 13302 lub ASTM D 4402.

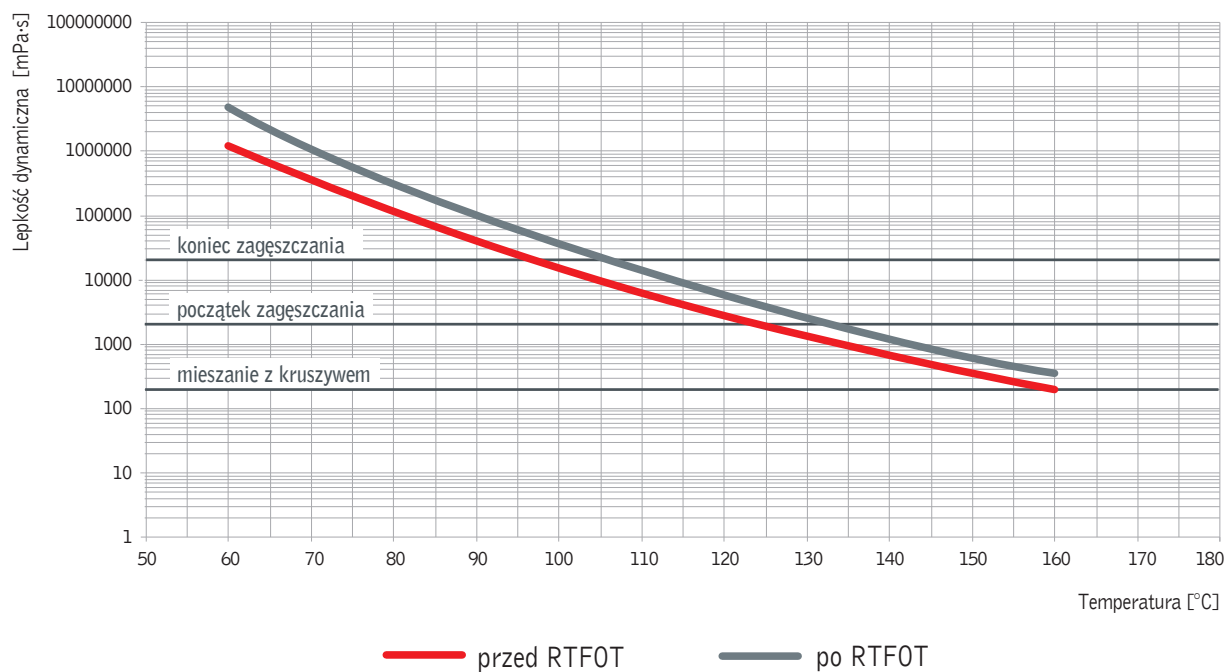
Badanie lepkości kinematycznej wykonuje się przy pomocy lepkościomierza typu BS/IP/RF zgodnie z normą PN-EN 12595.

Na rysunkach 2.27. ÷ 2.38. przedstawiono wartości średnie lepkości otrzymane dla asfaltów produkowanych w latach 2018 ÷ 2020, wykonane przy użyciu lepkościomierza obrotowego Brookfielda (rys. 2.26.) zgodnie z normą PN-EN 13302. Dla asfaltów drogowych miękkich, stosowanych przede wszystkim do produkcji emulsji asfaltowych (w technologii „na zimno”), podano średnie wartości lepkości tylko przed starzeniem metodą RTFOT. Dla lepiszczy wykorzystywanych w technologii „na gorąco” przedstawiono obie zależności – przed i po starzeniu RTFOT.



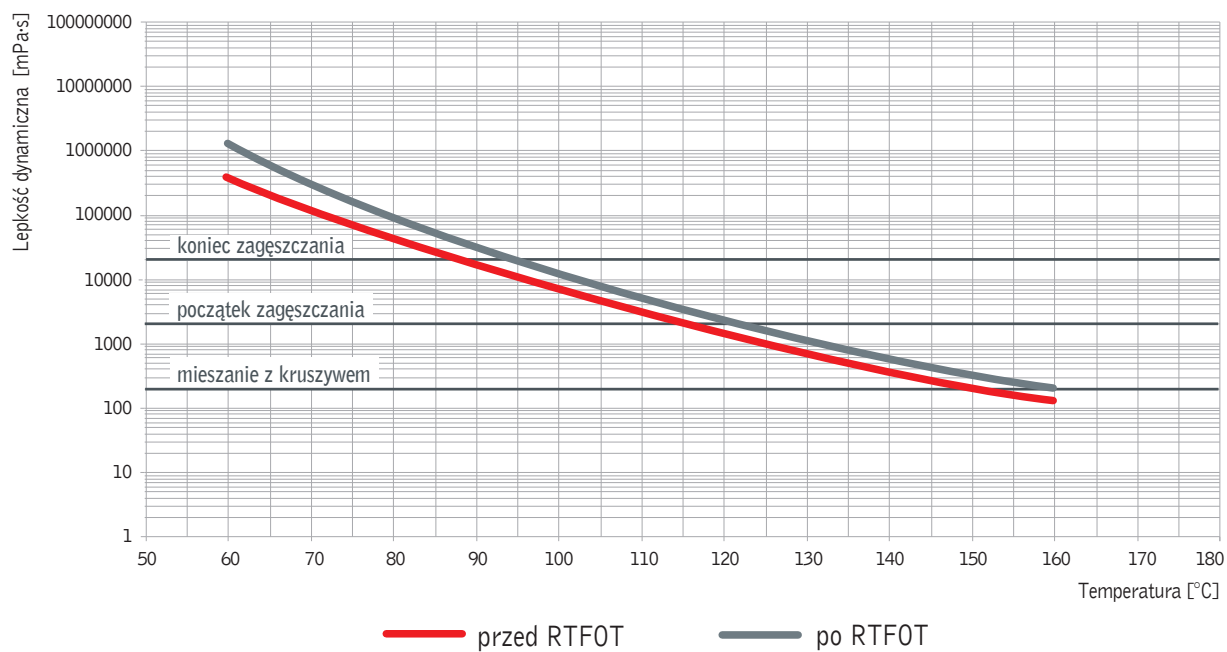
Rys. 2.26.

(A) Widok ogólny lepkościomierza Brookfielda oraz (B) zbliżenie wrzeciona i termostатовanego pojemnika na próbkę asfaltu (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o., dzięki uprzejmości ORLEN Laboratorium S.A)



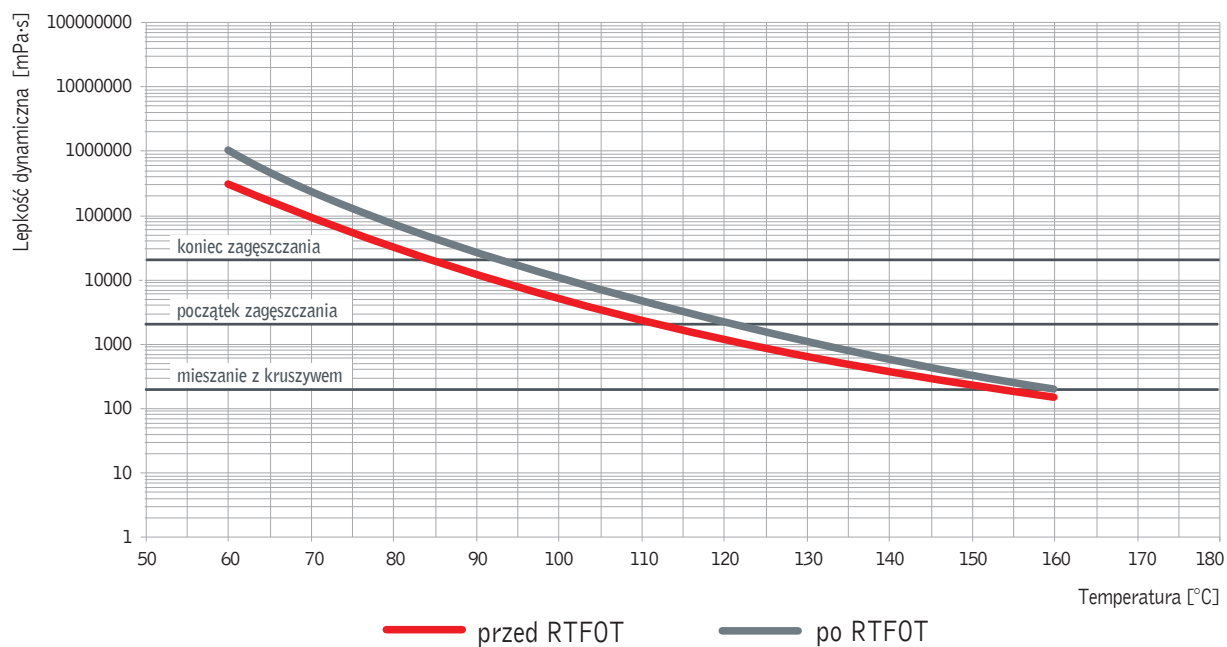
Rys. 2.27.

Zależność lepkości od temperatury dla **asfaltu drogowego 20/30**, produkowanego w latach 2018 ÷ 2020



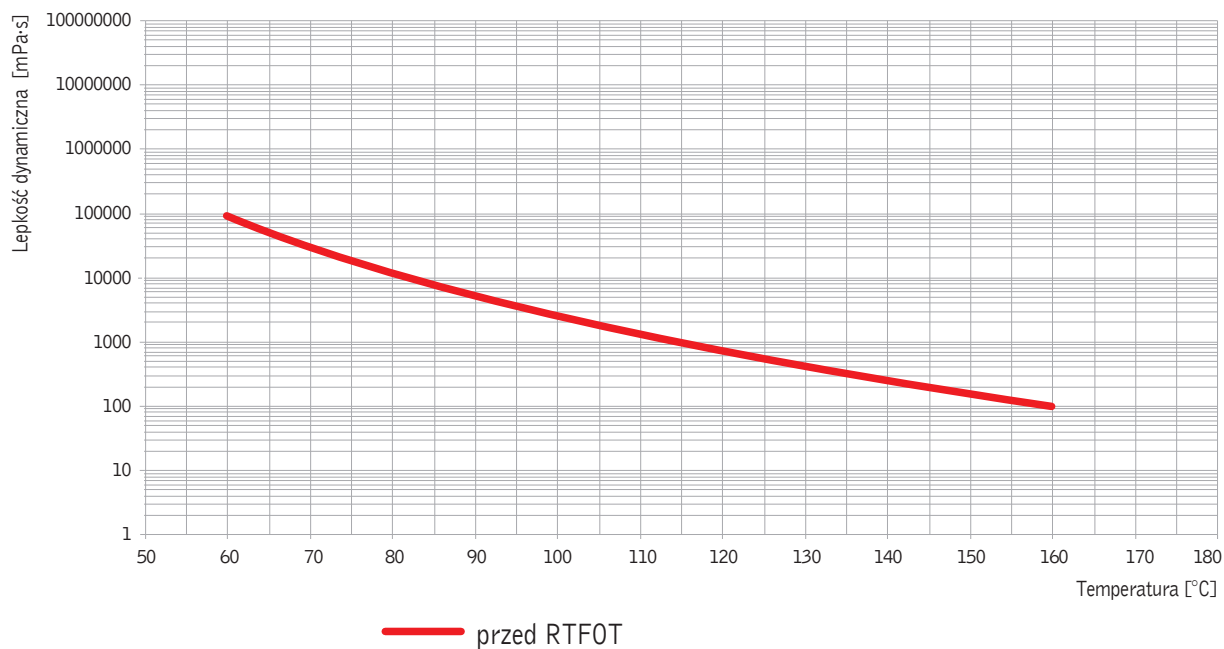
Rys. 2.28.

Zależność lepkości od temperatury dla **asfaltu drogowego 35/50**, produkowanego w latach 2018 ÷ 2020



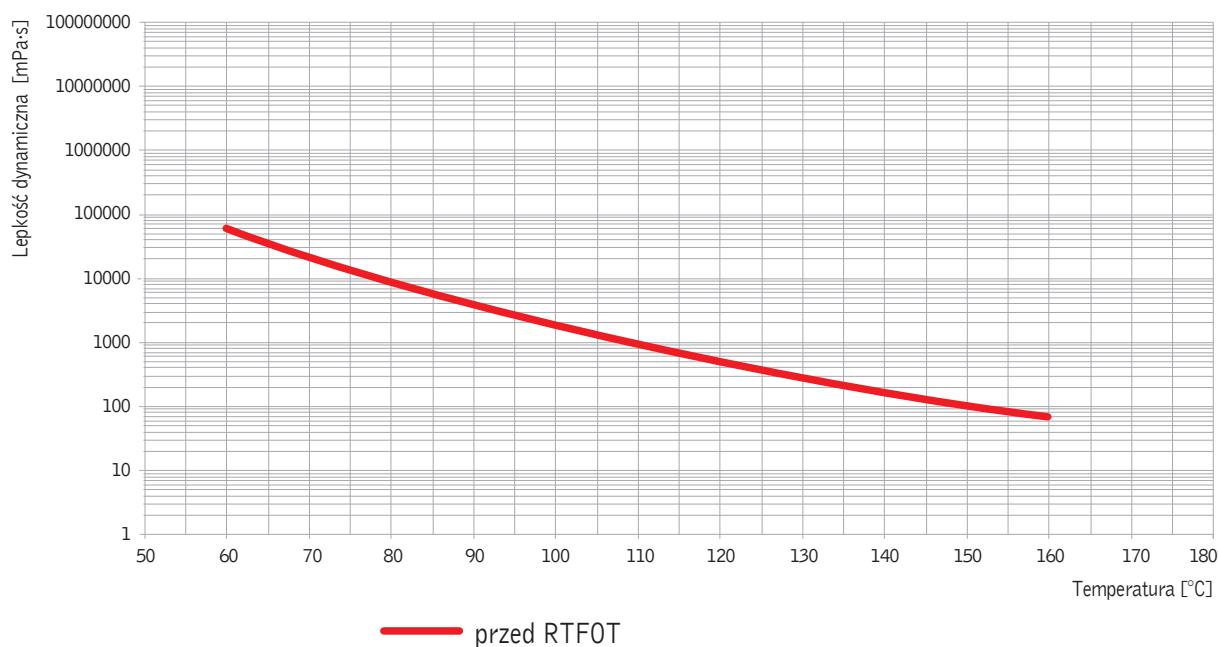
Rys. 2.29.

Zależność lepkości od temperatury dla **asfaltu drogowego 50/70**, produkowanego w latach 2018 ÷ 2020



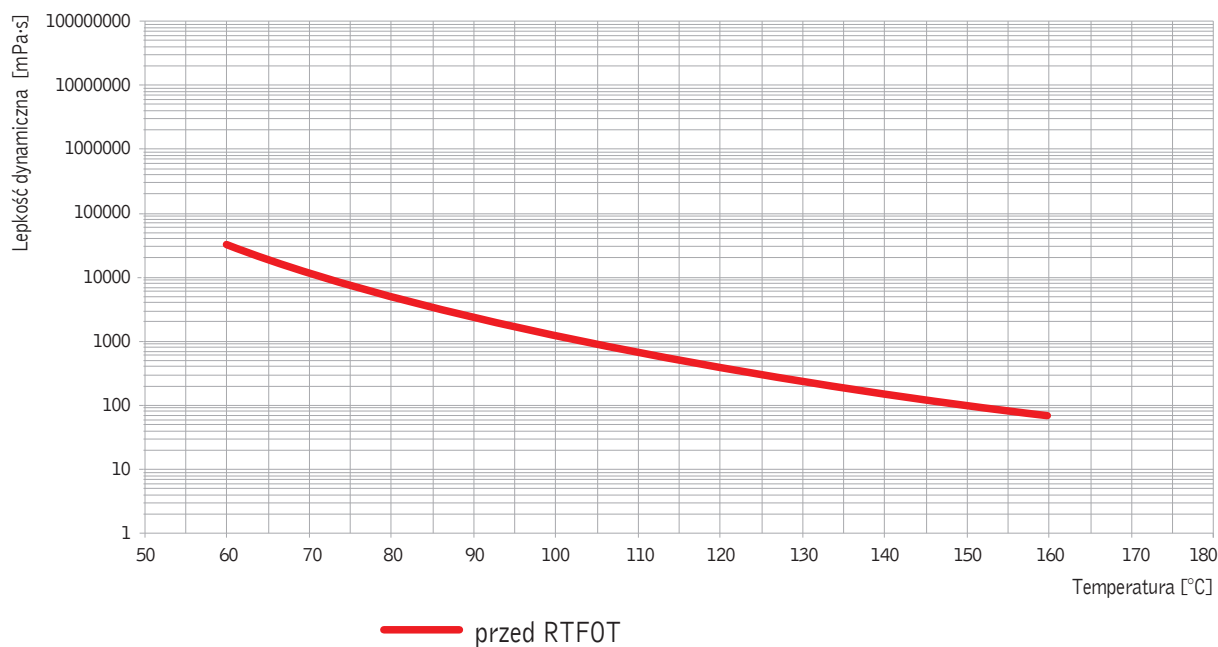
Rys. 2.30.

Zależność lepkości od temperatury dla **asfaltu drogowego 70/100**, produkowanego w latach 2018 ÷ 2020



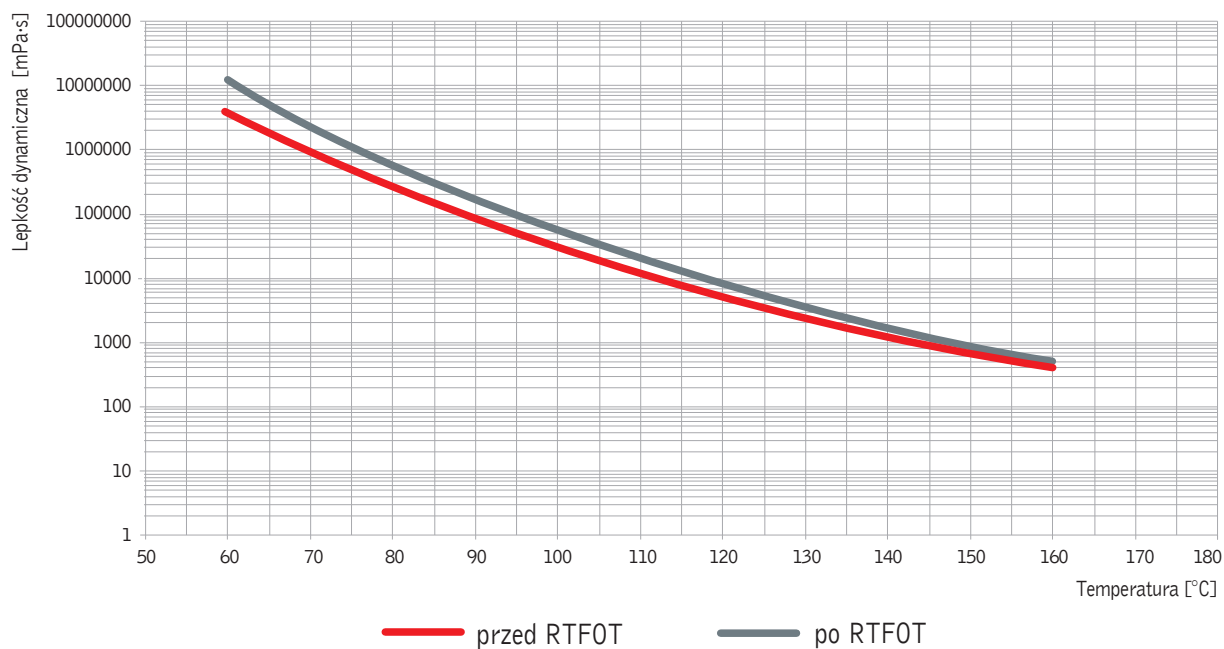
Rys. 2.31.

Zależność lepkości od temperatury dla **asfaltu drogowego 100/150**, produkowanego w latach 2018 ÷ 2020



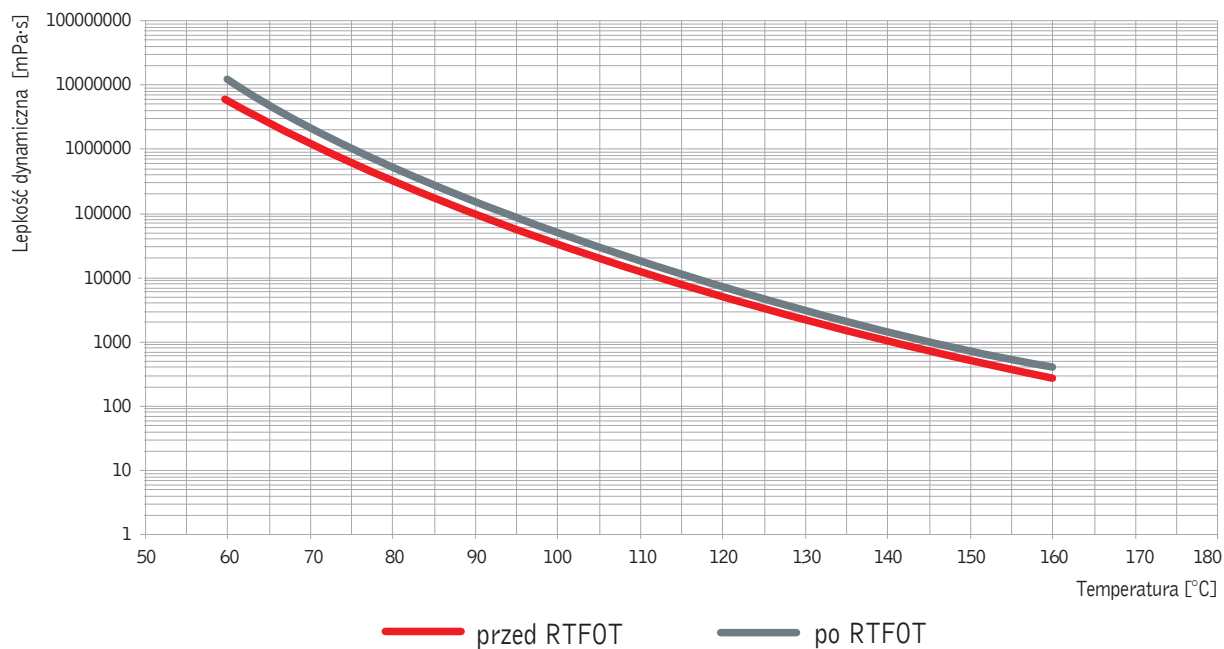
Rys. 2.32.

Zależność lepkości od temperatury dla **asfaltu drogowego 160/220**, produkowanego w latach 2018 ÷ 2020.



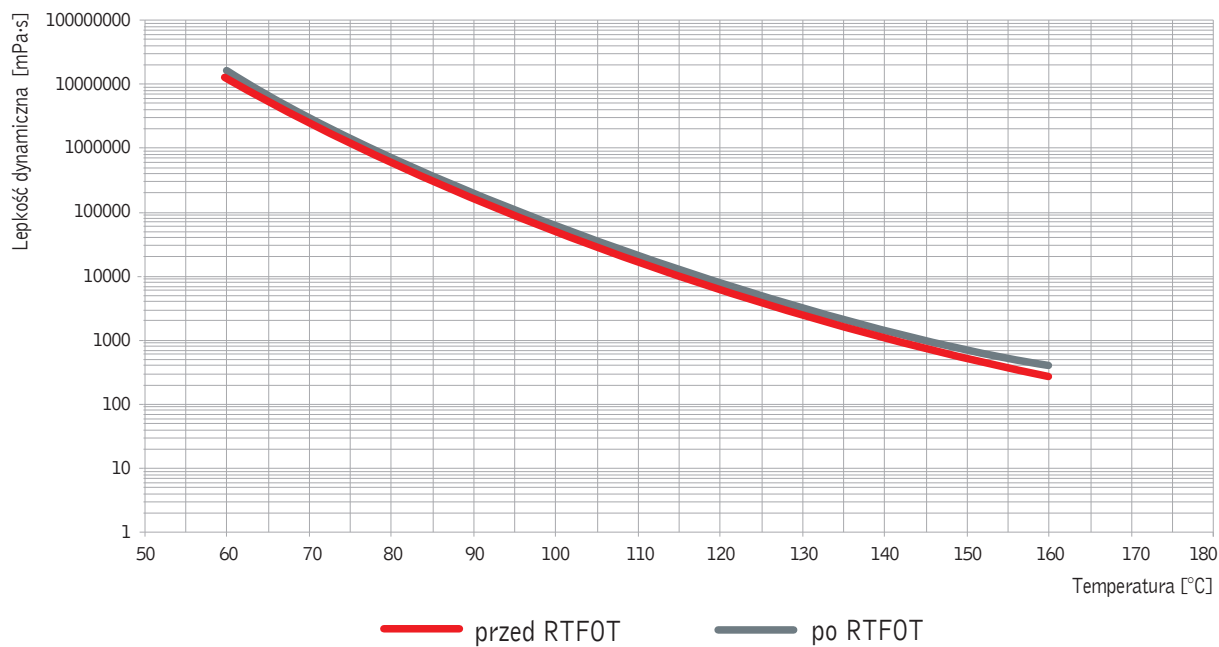
Rys. 2.33.

Zależność lepkości od temperatury dla **asfaltu modyfikowanego ORBITON 25/55-60**, produkowanego w latach 2018 ÷ 2020



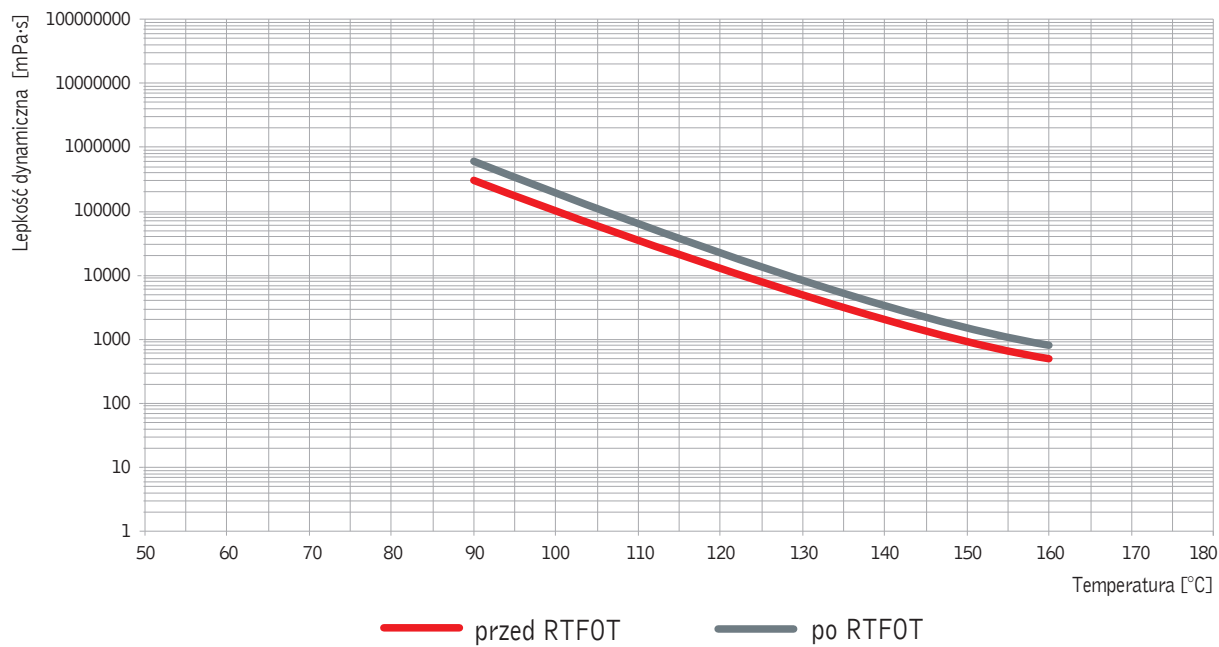
Rys. 2.34.

Zależność lepkości od temperatury dla **asfaltu modyfikowanego ORBITON 45/80-55**, produkowanego w latach 2018 ÷ 2020



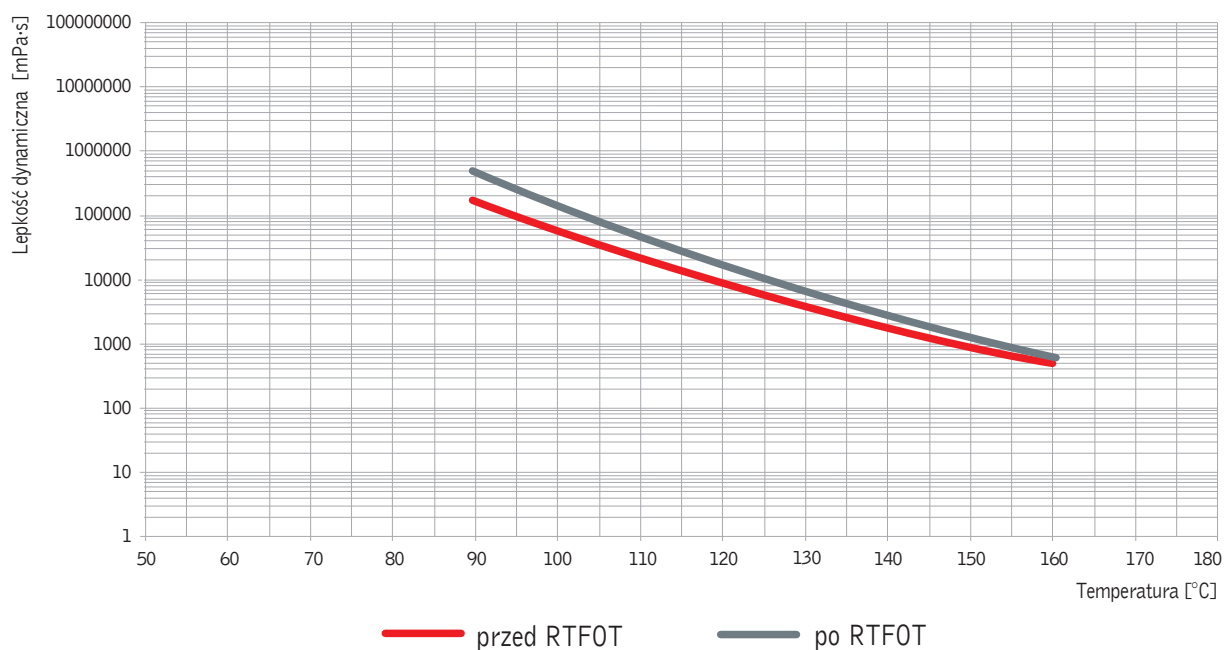
Rys. 2.35.

Zależność lepkości od temperatury dla **asfaltu modyfikowanego ORBITON 45/80-65**, produkowanego w latach 2018 ÷ 2020



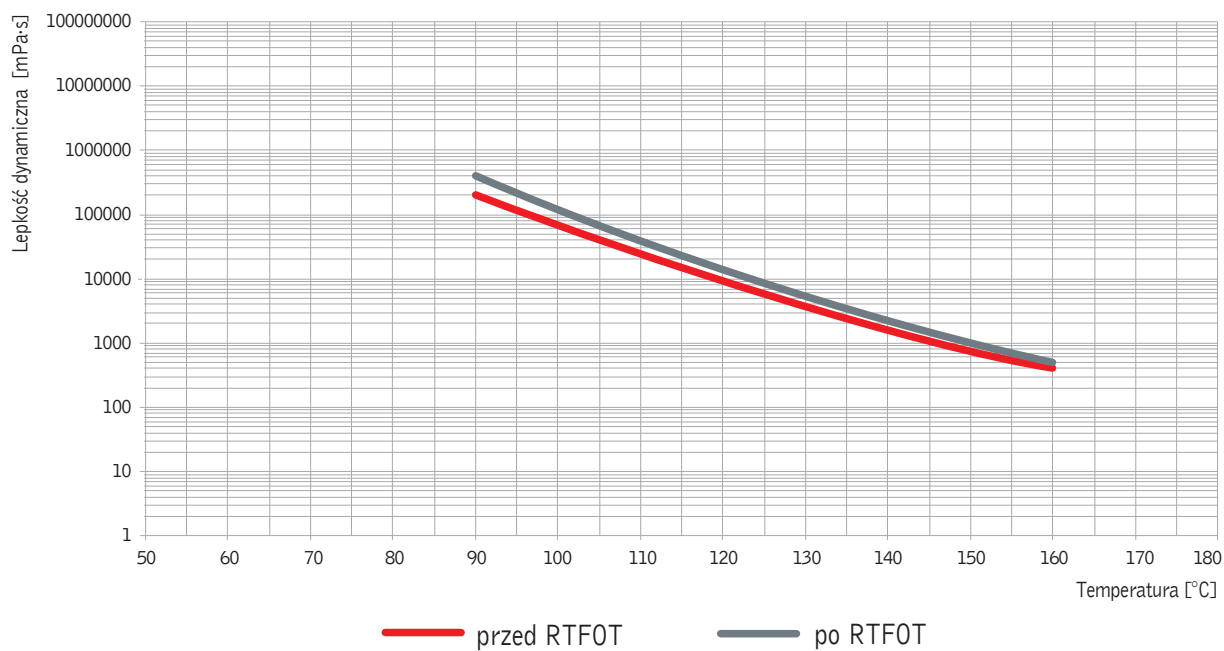
Rys. 2.36.

Zależność lepkości od temperatury dla **asfaltu wysokomodyfikowanego ORBITON 25/55-80 HiMA**, produkowanego w latach 2018 ÷ 2020



Rys. 2.37.

Zależność lepkości od temperatury dla **asfaltu wysokomodyfikowanego ORBITON 45/80-80 HiMA**, produkowanego w latach 2018 ÷ 2020



Rys. 2.38.

Zależność lepkości od temperatury dla **asfaltu wysokomodyfikowanego ORBITON 65/105-80 HiMA**, produkowanego w latach 2018 ÷ 2020

W tabeli 2.5. zamieszczono przykładowe wyniki badania lepkości asfaltów, produkowanych w latach 2018 ÷ 2020.

Tabela 2.5.

Przykładowe wyniki badania lepkości asfaltów produkowanych w latach 2018 ÷ 2020

RODZAJ LEPISZCZA	LEPKOŚĆ DYNAMICZNA WG PN-EN 13302 [Pa·s]								LEPKOŚĆ KINEMATYCZNA WG PN-EN 12595 [mm²/s]
	PRZED RTFOT				PO RTFOT				
	60°C	90°C	135°C	160°C	60°C	90°C	135°C	160°C	
20/30	3 940,00	56,25	1,42	0,39	12 300,00	131,00	2,28	0,56	1 502
35/50	740,00	20,80	0,78	0,24	2 750,00	45,40	1,10	0,32	792
50/70	211,00	8,21	0,43	0,15	511,00	15,08	0,60	0,20	491
70/100	154,00	6,81	0,39	0,14	—	—	—	—	362
100/150	83,00	4,00	0,26	0,10	—	—	—	—	275
160/220	41,92	2,64	0,20	0,08	—	—	—	—	226
ORBITON 25/55-60	6 450,00	89,00	2,17	0,62	17 400,00	196,00	3,18	0,79	—
ORBITON 45/80-55	4 633,00	34,45	1,18	0,40	7 480,00	57,00	1,48	0,47	—
ORBITON 45/80-65	1 656,00	31,80	1,61	0,58	34 200,00	79,50	2,28	0,63	—
ORBITON 25/55-80 HiMA	—	338,00	3,39	0,84	—	394,00	3,53	0,85	—
ORBITON 45/80-80 HiMA	—	187,00	2,20	0,53	—	511,00	3,33	0,79	—
ORBITON 65/105-80 HiMA	—	274,00	2,03	0,51	—	508,00	2,80	0,60	—

2.2.5. ODPORNOŚĆ NA STARZENIE

W wyniku procesu starzenia właściwości lepiszczy asfaltowych ulegają zmianie, to znaczy następuje:

- spadek penetracji,
- wzrost temperatury mięknięcia,
- wzrost (pogorszenie) temperatury łamliwości,
- wzrost lepkości,
- zmniejszenie ciągliwości,
- szereg innych zmian chemicznych i mechanicznych.

Najintensywniejsze procesy starzenia asfaltu zachodzą podczas mieszania go z kruszywem w mieszalniku otaczarki, kiedy

temperatura prowadzenia procesu jest najwyższa, natomiast warstwa lepiszcza na kruszywie najcieńsza.

Należy pamiętać, że asfalt wbudowany w nawierzchnię jest asfaltem po starzeniu technologicznym. Stąd też z punktu widzenia trwałości nawierzchni pożądane jest sprawdzenie, w jakim stopniu zmieniły się właściwości danego lepiszcza pod wpływem wysokiej temperatury, tj. penetracja, temperatura mięknięcia, lepkość czy nawrót sprężysty w przypadku polimeroasfaltów. Odporność na starzenie technologiczne metodą RTFOT oznacza się wg normy 12607-1.

Na rys. 2.39. przedstawiono suszarkę do przeprowadzania symulacji starzenia technologicznego metodą RTFOT.

2.2.5.1. POZOSTAŁA PENETRACJA PO STARZENIU

W wyniku procesu starzenia technologicznego penetracja asfaltu spada, co oznacza, że asfalt utwardza się. Wynik pozostałej penetracji po starzeniu, obliczany jest jako procentowy udział penetracji asfaltu po RTFOT w stosunku do pierwotnej wartości penetracji asfaltu przed starzeniem (przyjmując penetrację asfaltu świeżego jako 100%). Dane dotyczące pozostałej penetracji asfaltów zawiera tabela 2.6.



Rys. 2.39.

Widok ogólny suszarki do przeprowadzania symulacji starzenia technologicznego RTFOT (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o. dzięki uprzejmości ORLEN Laboratorium S.A.)

Tabela 2.6.

Parametry statystyczne wyników oznaczeń odporności na starzenie – pozostała penetracja [%], dla asfaltów produkowanych w latach 2018 ÷ 2020*

RODZAJ LEPISZCZA	WYMA- GANIE** [%]	WARTOŚĆ ŚREDNIA	ODCHYLENIE STANDAR- DOWE	PRZEDZIAŁ TYPOWY	MEDIANA	KWARTYL PIERWSZY	KWARTYL TRZECI	WARTOŚĆ MIN-MAX
		$\bar{x}_{sr}$	σ	x_{typ}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
20/30	≥ 55	75,3	3,7	71,6 ÷ 79,0	75	73	79	69 ÷ 82
35/50	≥ 53	69,7	4,6	65,1 ÷ 74,3	71	67	73	59 ÷ 77
50/70	≥ 50	67,6	9,4	58,2 ÷ 77,0	66	61	70	52 ÷ 87
70/100	≥ 46	63,7	7,0	56,7 ÷ 70,7	63	60	65	51 ÷ 84
100/150	≥ 43	57,8	3,4	54,4 ÷ 61,2	58	55	61	51 ÷ 63
160/220	≥ 37	55,0	4,9	50,1 ÷ 59,9	55	52	59	47 ÷ 67
ORBITON 25/55-60	≥ 60	73,2	5,2	68,0 ÷ 78,4	74	70	77	62 ÷ 82
ORBITON 45/80-55	≥ 60	69,5	6,0	63,5 ÷ 75,5	69	64	73	61 ÷ 87
ORBITON 45/80-65	≥ 60	73,4	6,5	66,9 ÷ 79,9	74	70	77	63 ÷ 88
ORBITON 25/55-80 HiMA	≥ 60	78,1	8,0	70,1 ÷ 86,1	82	70	86	67 ÷ 86
ORBITON 45/80-80 HiMA	≥ 60	79,1	7,1	72,0 ÷ 86,2	80	76	86	66 ÷ 88
ORBITON 65/105-80 HiMA	≥ 60	77,9	7,1	70,8 ÷ 85,0	78	72	84	70 ÷ 88

* wyniki badań odnoszą się do okresu: styczeń 2018 ÷ kwiecień 2020

** dla asfaltów drogowych wg PN-EN 12591; dla ORBITON i ORBITON HiMA wg PN-EN 14023

2.2.5.2. WZROST I SPADEK TEMPERATURY MIĘKNIENIA PO STARZENIU

Temperatura mięknięcia asfaltów po starzeniu technologicznym zwykle rośnie. Otrzymaną próbkę asfaltu po teście RTFOT poddaje się badaniu temperatury mięknięcia zgodnie z normą PN-EN 1427. Następnie obliczany jest wynik wzrostu temperatury mięknięcia po starzeniu w [°C] jako różnica wyniku temperatury mięknięcia uzyskana odpowiednio dla próbki asfaltu po starzeniu metodą RTFOT oraz próbki asfaltu niestarzonego. Wymagania ograniczające wzrost temperatury mięknięcia po starzeniu dotyczą każdego typu asfaltu stosowanego w technologiach na gorąco: drogowego, modyfikowanego polimerami oraz wysokomodyfikowanego polimerami typu HiMA. Zdarza się

jednak, że temperatura mięknięcia po starzeniu RTFOT spada. Z taką sytuacją można mieć do czynienia w przypadku niektórych asfaltów modyfikowanych i wysokomodyfikowanych polimerami. Wymaganie dotyczące spadku temperatury mięknięcia po starzeniu RTFOT, określone jest w załączniku krajowym NA do poprawki normy PN-EN 14023:2011/Ap2, opublikowanej w 2020 roku, jako wartość TBR (do zadeklarowania).

W tabeli 2.7. przedstawiono dane statystyczne dotyczące zmiany temperatury mięknięcia (wzrost i spadek) pod wpływem starzenia metodą RTFOT dla badanych lepiszczy asfaltowych.

Tabela 2.7.

Parametry statystyczne wyników oznaczeń odporności na starzenie – zmiana temperatury mięknięcia PiK [°C], dla asfaltów produkowanych w latach 2018 ÷ 2020*

RODZAJ LEPISZCZA	WYMA- GANIE** [°C]	WARTOŚĆ ŚREDNIA	ODCHYLENIE STANDAR- DOWE	PRZEDZIAŁ TYPOWY	MEDIANA	KWARTYL PIERWSZY	KWARTYL TRZECI	WARTOŚĆ MIN-MAX
		$\bar{x}_{sr}$	σ	x_{dp}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
20/30	≤ 8	6,8	1,3	5,5 ÷ 8,1	7,4	6,4	7,8	3,6 ÷ 8,0
35/50	≤ 8	6,5	1,2	5,3 ÷ 7,7	6,8	6,2	7,3	3,6 ÷ 8,0
50/70	≤ 9	5,1	1,4	3,7 ÷ 6,5	5,4	3,8	6,2	2,4 ÷ 7,2
70/100	≤ 9	5,6	1,5	4,1 ÷ 7,1	5,9	4,8	6,4	2,8 ÷ 8,2
100/150	≤ 10	5,3	1,0	4,3 ÷ 6,3	5,2	4,8	6,4	3,6 ÷ 7,0
160/220	≤ 11	5,2	0,9	4,3 ÷ 6,1	5,2	4,6	5,6	3,4 ÷ 7,4
ORBITON 25/55-60	≤ 8 lub TBR***	5,8	1,2	4,6 ÷ 7,0	6,0	5,2	6,4	3,6 ÷ 7,8
ORBITON 45/80-55	≤ 8 lub TBR***	2,3	2,6	-0,3 ÷ 4,9	2,4	1,0	4,0	-2,0 ÷ 6,8
ORBITON 45/80-65	≤ 8 lub TBR***	1,6	2,5	-0,9 ÷ 4,1	2,6	-1,0	3,8	-2,0 ÷ 6,0
ORBITON 25/55-80 HiMA	≤ 8 lub TBR***	2,4	2,0	0,4 ÷ 4,4	2,0	1,0	3,0	0,5 ÷ 6,5
ORBITON 45/80-80 HiMA	≤ 8 lub TBR***	1,9	1,4	0,5 ÷ 3,3	2,5	1,0	3,0	-1,0 ÷ 3,5
ORBITON 65/105-80 HiMA	≤ 8 lub TBR***	2,6	1,2	1,4 ÷ 3,8	3,0	2,5	3,5	0,5 ÷ 3,5

* wyniki badań odnoszą się do okresu: styczeń 2018 ÷ kwiecień 2020

** dotyczy **wzrostu PiK** dla asfaltów drogowych wg PN-EN 12591; dla ORBITON i ORBITON HiMA wg PN-EN 14023

*** TBR – To Be Reported (do zadeklarowania) dotyczy **spadku temperatury mięknięcia PiK** dla polimeroasfaltów ORBITON i ORBITON HiMA wg PN-EN 14023

2.2.5.3. ZMIANA MASY PO STARZENIU

W wyniku procesu starzenia technologicznego masa asfaltu może się zmieniać (rosnąć lub maleć). Zmianę masy po starzeniu określa się zgodnie z normą PN-EN 12607-1. Stanowi ona wartość bezwzględną procentowej różnicy masy próbki asfaltu

świeżego i masy tej samej próbki po wykonaniu testu RTFOT. Dane dotyczące zmiany masy po starzeniu dla badanych asfaltów przedstawia tabela 2.8. W tabeli uwzględniono, że wartość zmiany masy może być wartością dodatnią bądź ujemną.

Tabela 2.8.

Parametry statystyczne wyników oznaczeń odporności na starzenie – zmiana masy [%] w wyniku starzenia metodą RTFOT, dla asfaltów produkowanych w latach 2018 ÷ 2020*

RODZAJ LEPISZCZA	WYMA- GANIE** [%]	WARTOŚĆ ŚREDNIA	ODCHYLENIE STANDARD- OWE	PRZEDZIAŁ TYPOWY	MEDIANA	KWARTYL PIERWSZY	KWARTYL TRZECI	WARTOŚĆ MIN-MAX
		$\bar{x}_{sr}$	σ	x_{yp}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
20/30	≤ 0,5	-0,05	0,03	-0,08 ÷ -0,02	-0,04	-0,07	-0,02	-0,11 ÷ -0,01
35/50	≤ 0,5	-0,05	0,04	-0,09 ÷ -0,01	-0,05	-0,08	-0,03	-0,16 ÷ 0,01
50/70	≤ 0,5	-0,02	0,06	-0,08 ÷ 0,04	-0,03	-0,06	0,06	-0,10 ÷ 0,08
70/100	≤ 0,8	-0,03	0,06	-0,09 ÷ 0,03	-0,04	-0,08	0,02	-0,12 ÷ 0,10
100/150	≤ 0,8	-0,06	0,08	-0,14 ÷ 0,02	-0,06	-0,09	0,02	-0,25 ÷ 0,06
160/220	≤ 1,0	-0,04	0,06	-0,10 ÷ 0,02	-0,04	-0,08	0,01	-0,16 ÷ 0,04
ORBITON 25/55-60	≤ 0,5	-0,05	0,08	-0,13 ÷ 0,03	-0,05	-0,12	-0,01	-0,16 ÷ 0,18
ORBITON 45/80-55	≤ 0,5	-0,03	0,05	-0,08 ÷ 0,02	-0,04	-0,06	-0,01	-0,12 ÷ 0,11
ORBITON 45/80-65	≤ 0,5	-0,03	0,06	-0,09 ÷ 0,03	-0,04	-0,06	0,02	-0,15 ÷ 0,08
ORBITON 25/55-80 HiMA	≤ 0,5	0,03	0,08	-0,05 ÷ 0,11	0,06	-0,02	0,08	-0,12 ÷ 0,10
ORBITON 45/80-80 HiMA	≤ 0,5	0,03	0,07	-0,04 ÷ 0,10	0,06	-0,05	0,08	-0,10 ÷ 0,10
ORBITON 65/105-80 HiMA	≤ 0,5	0,06	0,03	0,03 ÷ 0,09	0,06	0,03	0,06	0,03 ÷ 0,10

* wyniki badań odnoszą się do okresu: styczeń 2018 ÷ kwiecień 2020

** dla asfaltów drogowych wg PN-EN 12591; dla ORBITON i ORBITON HiMA wg PN-EN 14023

2.2.6. GĘSTOŚĆ ASFALTÓW

Badanie gęstości asfaltu wykonywane jest według normy PN-EN 15326. Istotą wykonania badania jest wyznaczenie stosunku gęstości badanego lepiszcza asfaltowego do gęstości płynu testowego wyznaczonych w tych samych warunkach temperaturowych.

Gęstość asfaltu niezbędna jest między innymi do obliczeń parametrów objętościowych mieszanek mineralno-asfaltowych wg PN-EN 12697-8. Do projektowania mieszanek mineralno-

asfaltowych można przyjmować gęstości lepiszczy asfaltowych zamieszczone w tabeli 2.9.

Standardowo, w laboratoriach współpracujących z ORLEN Asphalt gęstości wszystkich asfaltów oznacza się w temperaturze 15°C z częstotnością dwa razy w roku. Poniżej w tabeli 2.9. przedstawiono średnie wyniki badania gęstości asfaltów produkowanych w latach 2018 ÷ 2020. Badanie wykonano według metody z użyciem piknomietru z korkiem kapilarnym, w temperaturze 15°C.

Tabela 2.9.

Średnie wyniki badania gęstości lepiszczy asfaltowych produkowanych w latach 2018 ÷ 2020

RODZAJ LEPISZCZA	GĘSTOŚĆ W 15°C WG PN-EN 15326 [kg/m³]
Drogowy 20/30	1028
Drogowy 35/50	1026
Drogowy 50/70	1024
Drogowy 70/100	1021
Drogowy 100/150	1019
Drogowy 160/220	1015
Modyfikowany ORBITON 25/55-60	1023
Modyfikowany ORBITON 45/80-55	1021
Modyfikowany ORBITON 45/80-65	1021
Wysokomodyfikowany ORBITON 25/55-80 HiMA	1021
Wysokomodyfikowany ORBITON 45/80-80 HiMA	1019
Wysokomodyfikowany ORBITON 65/105-80 HiMA	1015

Podane w tabeli 2.9. wartości gęstości asfaltów dotyczą pomiarów w temperaturze 15°C. W przypadku stosowania asfaltów w innej temperaturze można przeliczyć podaną gęstość w 15°C na gęstość w temperaturze stosowania wykorzystując przelicznik w postaci współczynnika rozszerzalności objętościowej asfaltu o wartości 0,00061°C⁻¹ [16]. Dla ułatwienia można stosować poniższe równanie:

$$\rho_x = \rho_{15} - (0,00061 \cdot \Delta t)$$

gdzie:

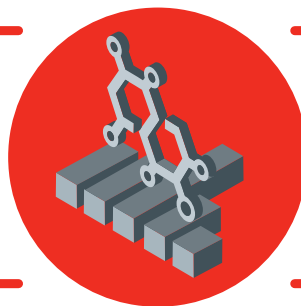
ρ_x – gęstość w poszukiwanej temperaturze X

ρ_{15} – gęstość w temperaturze 15°C w Mg/m³

Δt – różnica temperatur (X – 15), X ∈ <15,16...200>

Uzyskane wartości gęstości z obliczeń są oczywiście wartościami przybliżonymi, a nie dokładnymi.

2.3. WŁAŚCIWOŚCI DODATKOWE DLA ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH POLIMERAMI



2.3.1. NAWRÓT SPRĘŻYSTY W 25°C PRZED I PO STARZENIU RTFOT

Badanie nawrotu sprężystego zarówno przed, jak i po starzeniu RTFOT wykonywane jest zgodnie z normą PN-EN 13398. Istotą wykonania badania jest wyznaczenie umownego wyrażenia

sprężystości asfaltu w postaci pomiaru odległości pomiędzy końcami rozciągniętej i przeciętej próbki w ustalonych warunkach, rys. 2.40.



Rys. 2.40.

(A) Widok ogólny aparatury do badania nawrotu sprężystego oraz (B) widok próbki asfaltu w trakcie wykonywania badania (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o. dzięki uprzejmości ORLEN Laboratorium S.A.)

W przypadku badania asfaltów po starzeniu RTFOT, otrzymany wynik pozwala odpowiedzieć na pytanie, w jakim stopniu działanie polimeru (elastomeru) pozostaje skuteczne po starzeniu, a zatem jak efektywnie sieć polimerowa może działać w nawierzchni asfaltowej.

Tabele 2.10. oraz 2.11. zawierają parametry statystyczne wyników oznaczeń nawrotu sprężystego w 25°C dla asfaltów modyfikowanych polimerami ORBITON oraz wysokomodyfikowanych polimerami ORBITON HiMA produkowanych w latach 2018 ÷ 2020, odpowiednio przed i po starzeniu metodą RTFOT.

Tabela 2.10.

Parametry statystyczne wyników oznaczeń nawrotu sprężystego w 25°C przed starzeniem RTFOT dla asfaltów ORBITON oraz ORBITON HiMA produkowanych w latach 2018 ÷ 2020*

RODZAJ LEPISZCZA	WYMAGANIE PN-EN 14023 [%]	WARTOŚĆ ŚREDNIA	ODCHYLENIE STANDARDOWE	PRZEDZIAŁ TYPOWY	MEDIANA	KWARTYL PIERWSZY	KWARTYL TRZECI	WARTOŚĆ MIN-MAX
		$\bar{x}_{sr}$	σ	x_{typ}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
ORBITON 25/55-60	≥ 60	77,9	4,8	73,1 ÷ 82,7	80	76	81	65 ÷ 83
ORBITON 45/80-55	≥ 70	85,9	4,0	81,9 ÷ 89,9	86	84	88	70 ÷ 90
ORBITON 45/80-65	≥ 80	87,5	3,0	84,5 ÷ 90,5	89	85	89	80 ÷ 91
ORBITON 25/55-80 HiMA	≥ 80	93,1	2,6	90,5 ÷ 95,7	93	90	95	90 ÷ 97
ORBITON 45/80-80 HiMA	≥ 80	95,3	2,6	92,7 ÷ 97,9	96	95	96	90 ÷ 100
ORBITON 65/105-80 HiMA	≥ 80	95,2	3,4	91,8 ÷ 98,6	95	95	98	87 ÷ 99

* wyniki badań odnoszą się do okresu: styczeń 2018 ÷ kwiecień 2020

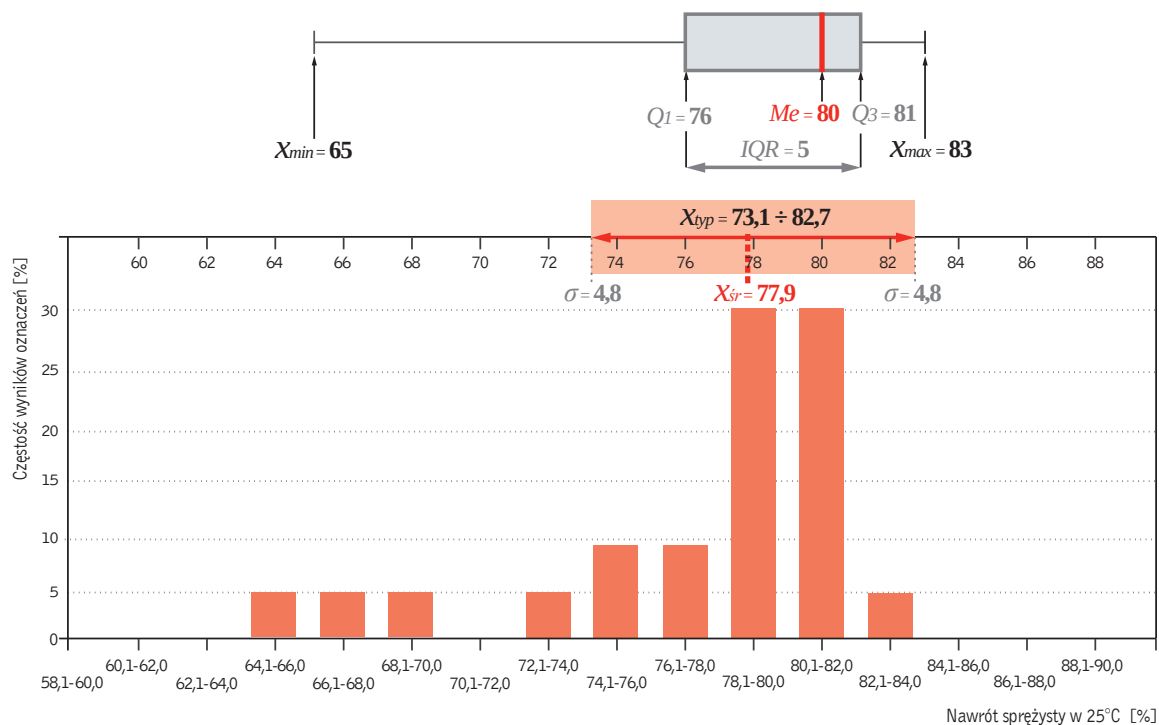
Tabela 2.11.

Parametry statystyczne wyników oznaczeń nawrotu sprężystego w 25°C po starzeniu metodą RTFOT, dla asfaltów ORBITON oraz ORBITON HiMA produkowanych przez ORLEN Asfalt w latach 2018 ÷ 2020*

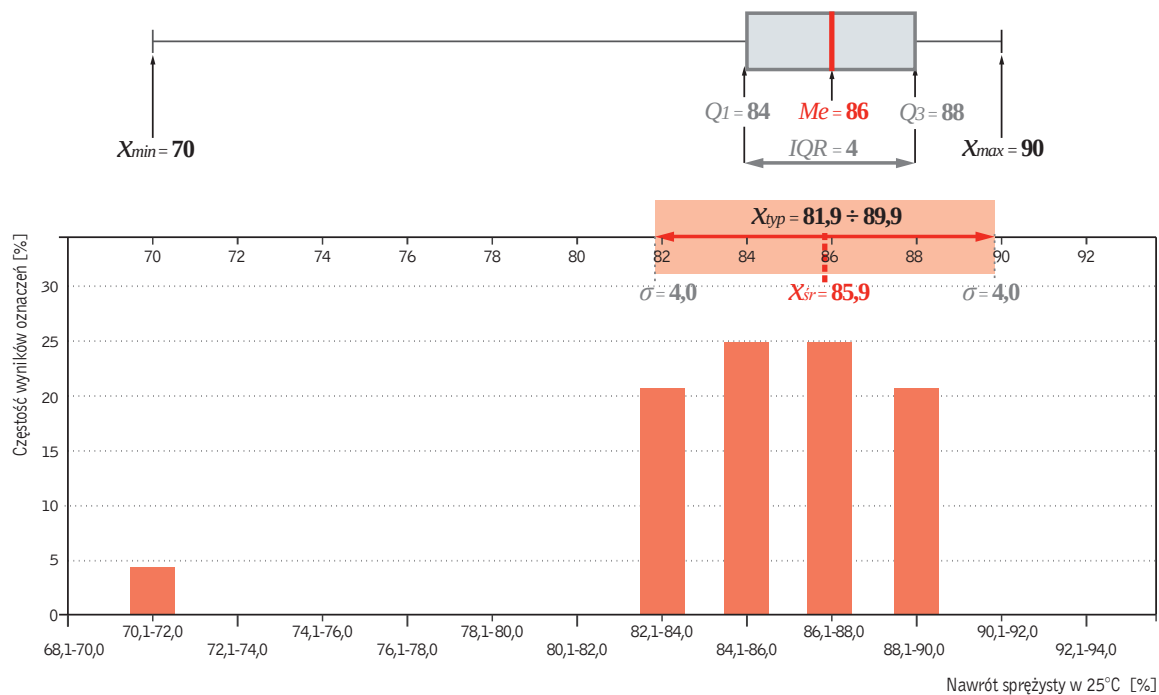
RODZAJ LEPISZCZA	WYMAGANIE PN-EN 14023 [%]	WARTOŚĆ ŚREDNIA	ODCHYLENIE STANDARDOWE	PRZEDZIAŁ TYPOWY	MEDIANA	KWARTYL PIERWSZY	KWARTYL TRZECI	WARTOŚĆ MIN-MAX
		$\bar{x}_{sr}$	σ	x_{typ}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
ORBITON 25/55-60	≥ 50	71,2	6,8	64,4 ÷ 78,0	72	66	77	59 ÷ 80
ORBITON 45/80-55	≥ 50	82,3	3,4	78,9 ÷ 85,7	82	81	85	70 ÷ 86
ORBITON 45/80-65	≥ 60	83,7	2,5	81,2 ÷ 86,2	85	82	86	80 ÷ 87
ORBITON 25/55-80 HiMA	≥ 50	89,1	3,4	85,7 ÷ 92,5	90	86	92	84 ÷ 94
ORBITON 45/80-80 HiMA	≥ 60	91,8	3,3	88,5 ÷ 95,1	92	88	95	87 ÷ 96
ORBITON 65/105-80 HiMA	≥ 70	94,4	0,9	93,5 ÷ 95,3	95	94	95	93 ÷ 95

* wyniki badań odnoszą się do okresu: styczeń 2018 ÷ kwiecień 2020

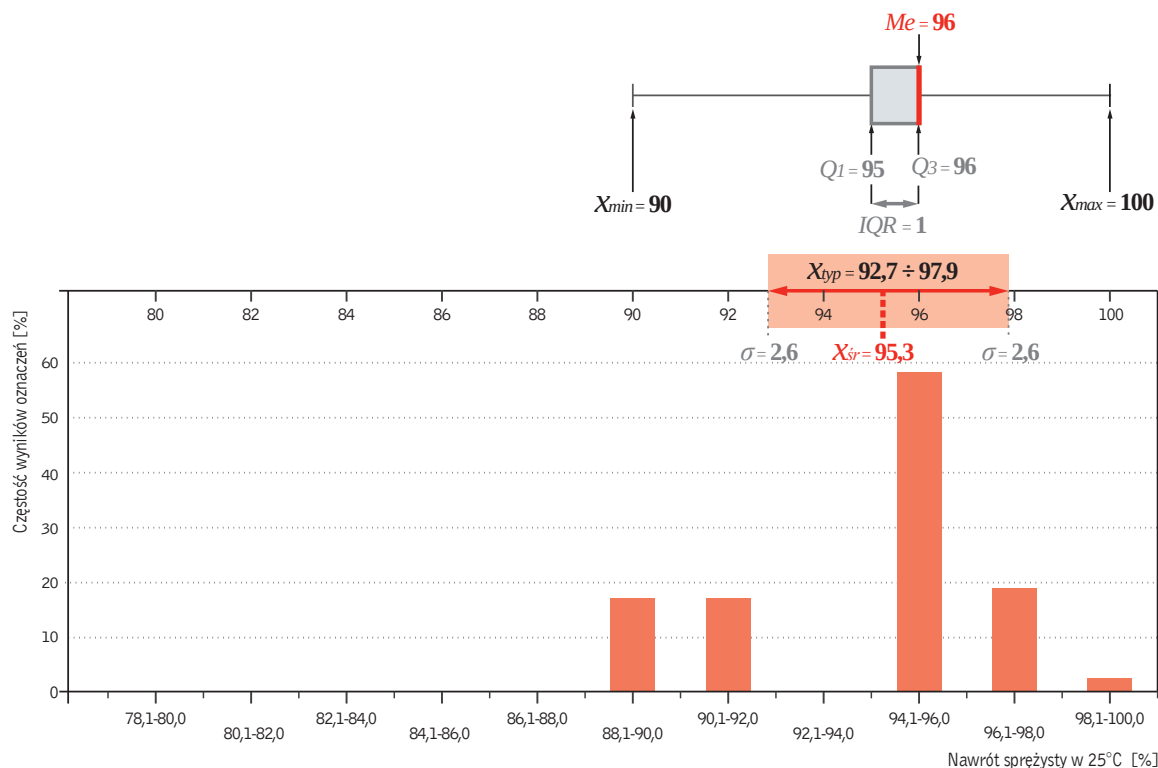
Dodatkowo, na rysunkach 2.41. ÷ 2.43. przedstawiono histogramy wraz w wykresami pudełkowymi, dla wyników nawrotu sprężystego wybranych asfaltów modyfikowanych i wysokomodyfikowanych polimerami produkowanych w latach 2018 ÷ 2020.


Rys. 2.41.

Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń nawrotu sprężystego w 25°C przed starzeniem RTFOT dla asfaltu **ORBITON 25/55-60** produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: ≥ 60 [%])


Rys. 2.42.

Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń nawrotu sprężystego w 25°C przed starzeniem RTFOT dla asfaltu **ORBITON 45/80-55** produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: ≥ 70 [%])



Rys. 2.43.

Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający w wyniki oznaczeń nawrotu sprężystego w 25°C przed starzeniem RTFOT dla asfaltu **ORBITON 45/80-80 HiMA** produkowanego w latach 2018 ÷ 2020 (zakres normowy: ≥ 80 [%])

2.3.2. ZAKRES PLASTYCZNOŚCI

Zakres plastyczności (lub przedział plastyczności) jest to różnica pomiędzy temperaturą mięknienia, a temperaturą łamliwości wg Fraassa.

Zakres plastyczności jest to więc zakres temperaturowy, w którym lepiszcze asfaltowe zachowuje właściwości lepkosprężyste.

Z punktu widzenia użytkownika lepiszcza – klasyczna teoria asfaltowa kładzie nacisk na jak największą wartość tego zakresu – czyli możliwie najniższą wartość temperatury łamliwości i najwyższą wartość temperatury mięknienia. Średnie przedziały plastyczności polimeroasfaltów produkowanych w latach 2018 ÷ 2020 przedstawia tabela 2.12.

Tabela 2.12.

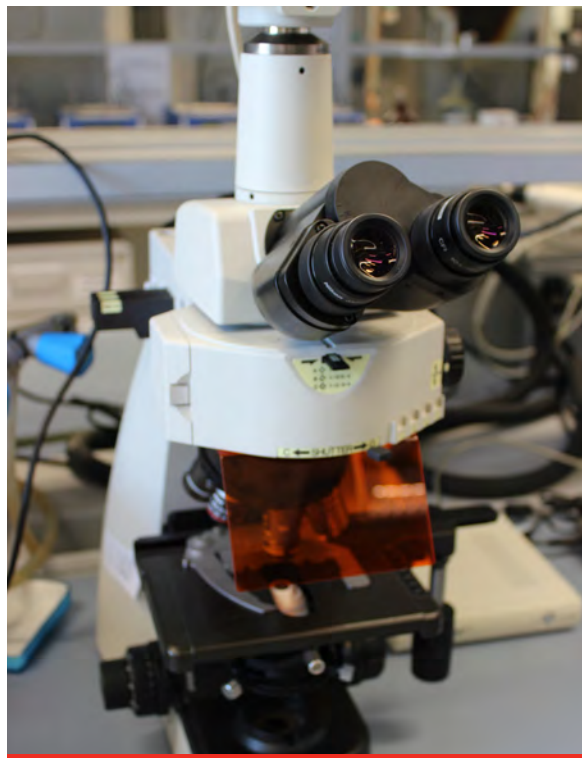
Średnie przedziały plastyczności lepiszczy asfaltowych produkowanych w latach 2018 ÷ 2020*

RODZAJ LEPISZCZA	WYMAGANIE PN-EN 14023	ZAKRES PLASTYCZNOŚCI [°C]
Modyfikowany ORBITON 25/55-60	NR	71,9
Modyfikowany ORBITON 45/80-55	NR	81,6
Modyfikowany ORBITON 45/80-65	NR	94,7
Wysokomodyfikowany ORBITON 25/55-80 HiMA	NR	113,1
Wysokomodyfikowany ORBITON 45/80-80 HiMA	NR	100,4
Wysokomodyfikowany ORBITON 65/105-80 HiMA	NR	110,7

* wyniki badań odnoszą się do okresu: styczeń 2018 ÷ kwiecień 2020
NR – No Requirement (brak wymagań)

2.3.3. MIKROSTRUKTURA

Jedną z metod umożliwiających obserwację mikrostruktury polimeroasfaltów jest mikroskopia fluorescencyjna. Badanie wykonuje się zgodnie z normą PN-EN 13632.



Rys. 2.44.

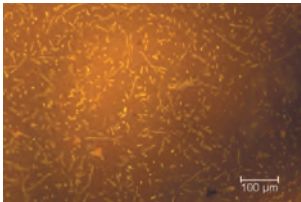
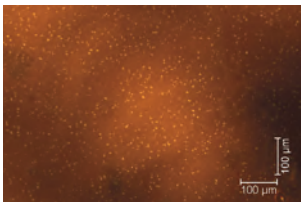
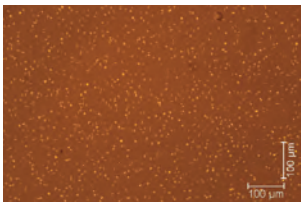
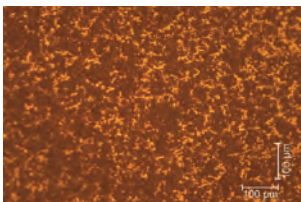
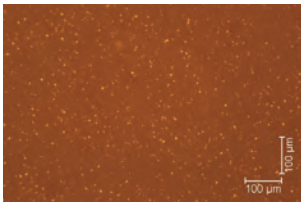
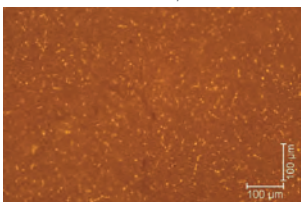
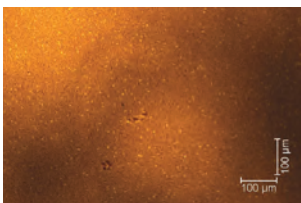
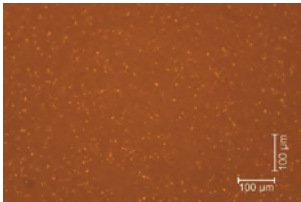
Widok ogólny mikroskopu fluorescencyjnego z lampą UV (fot. ORLEN Asfalt sp. z o.o. dzięki uprzejmości ORLEN Laboratorium S.A.)

Badanie wykonuje się na świeżym przekroju zamrożonej próbki asfaltu modyfikowanego, z wykorzystaniem mikroskopu fluorescencyjnego z lampą UV (rys. 2.44.), poprzez analizę obrazu w świetle odbitym.

Na podstawie Załącznika A.3 normy PN-EN 13632 strukturę polimeroasfaltów można opisać według oznaczeń literowych charakteryzujących dyspersyjny układ polimerowo-asfaltowy:

1. CIĄGŁOŚĆ FAZY:	P: CIĄGŁA FAZA POLIMEROWA B: CIĄGŁA FAZA ASFALTOWA
2. OPIS FAZ:	X: CIĄGŁOŚĆ OBU FAZ H: HOMOGENICZNY I: NIEHOMOGENICZNY
3. OPIS ROZMIARU:	S: MAŁE ($< 10 \mu\text{m}$) M: ŚREDNIE (OD $10 \mu\text{m}$ DO $100 \mu\text{m}$) L: DUŻE ($> 100 \mu\text{m}$)
4. OPIS KSZTAŁTU:	r: OKRĄGŁE, OBŁE s: PODŁUŻNE o: INNE

Przykładowa mikrostruktura polimeroasfaltów wg normy PN-EN 13632 produkowanych przez Grupę ORLEN została przedstawiona na rysunku 2.45.

▼ RODZAJ POLIMEROASFALTU FOTOGRAFIA	KOD DYSERSJI POLIMERU			
	CIĄGŁOŚĆ FAZY	OPIS FAZY	OPIS ROZMIARU	OPIS KSZTAŁTU
▼ ORBITON 10/40-65 	B	H	S	r/o
▼ ORBITON 45/80-55 	B	H	S	r/o
▼ ORBITON 25/55-60 	B	H	S	r/o
▼ ORBITON 65/105-60 	B	H	S/M	r/o
▼ ORBITON 25/55-60 EXP 	B	H	S	r/o
▼ ORBITON 25/55-80 HiMA 	P	H	S	r/o
▼ ORBITON 25/55-65 EXP 	B	H	S	r/o
▼ ORBITON 45/80-80 HiMA 	P	H	S	r/o
▼ ORBITON 45/80-65 	B	H	S	r/o
▼ ORBITON 65/105-80 HiMA 	P	H	S	r/o

Rys. 2.45.

Mikrostruktura polimeroasfaltów wg normy PN-EN 13632

2.3.4. SIŁA ROZCIĄGANIA (KOHEZJA)

Kohezja określa wzajemne przyciąganie się cząstek tego samego materiału na skutek działających sił międzycząsteczkowych. W odniesieniu do asfaltów, kohezja o odpowiednio wysokiej wartości umożliwia przenoszenie przez lepiszcze asfaltowe naprężenia rozciągającego w nawierzchni drogi. Zakłada się, że dzięki temu będzie ona bardziej odporna na spękania i zmęczenie.

Badanie siły rozciągania (przy małej prędkości rozciągania) wykonywane jest zgodnie z normą PN-EN 13589, której nowelizacja została opublikowana w 2019 roku. Istotą wykonania badania jest wyznaczenie siły, jaka jest potrzebna do rozciągnięcia próbki w określonej w temperaturze.

Uformowaną odpowiednio próbkę do badania umieszcza się w duktylometrze, w łaźni wodnej o odpowiedniej (ustalonej dla każdego rodzaju asfaltu modyfikowanego) temperaturze. Następnie próbka poddawana jest jednostajnemu rozciąganiu z prędkością 50 mm/min tak długo, aż pęknie lub gdy osiągnie wydłużenie co najmniej 1 333% tj. 400 mm. Siła rejestrowana

jest w trakcie trwania całego procesu rozciągania przy użyciu czujników. Zgodnie z nowelizacją normy ostateczny wynik kohezji obliczany jest jako różnica między energią kohezji przy zerwaniu lub przy wydłużeniu o 1 333% (400 mm) i energii kohezji przy wydłużeniu o 667% (200 mm). Do celów ustalenia zgodności ze specyfikacją przyjmowana jest energia kohezji przy rozciągnięciu 400 mm.

Rysunek 2.46. przedstawia widok asfaltu odpowiednio przed i po wykonaniu badania siły rozciągania.

Tabela 2.13. zawiera parametry statystyczne wyników oznaczeń kohezji dla asfaltów modyfikowanych polimerami ORBITON oraz wysokomodyfikowanych polimerami ORBITON HiMA produkowanych w latach 2018 ÷ 2020. Należy zwrócić uwagę, że po opublikowaniu poprawki do polskiej normy PN-EN 14023:2011/Ap2:2020-02 zmianie uległy klasy wymagań pewnych lepiszczy asfaltowych. Zmiany te zostały uwzględnione w tabeli 2.13., która przedstawia aktualne wymagania.



Rys. 2.46.

(A) Widok próbki asfaltu przed rozpoczęciem badania (B) po wykonaniu badania (wydłużona do 400 mm) w duktylometrze (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o. dzięki uprzejmości ORLEN Laboratorium S.A.)

Tabela 2.13.

Parametry statystyczne wyników oznaczeń kohezji dla asfaltów ORBITON oraz ORBITON HiMA produkowanych w latach 2018 ÷ 2020*

RODZAJ LEPISZCZA	WYMAGANIE PN-EN 14023 [J/cm ²]	WARTOŚĆ ŚREDNIA	ODCHYLENIE STANDARDOWE	PRZEDZIAŁ TYPOWY	MEDIANA	KWARTYL PIERWSZY	KWARTYL TRZECI	WARTOŚĆ MIN-MAX
		$\bar{x}_{gr}$	σ	x_{yp}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
ORBITON 25/55-60	≥ 2,0 (w 10°C)	5,0	1,0	4,0 ÷ 6,0	5,2	4,8	5,9	2,3 ÷ 6,2
ORBITON 45/80-55	≥ 3,0 (w 5°C)	7,7	0,9	6,8 ÷ 8,6	7,9	7,0	8,2	6,0 ÷ 9,3
ORBITON 45/80-65	≥ 2,0 (w 10°C)	4,3	0,8	3,5 ÷ 5,1	4,6	4,2	4,9	2,0 ÷ 5,2
ORBITON 25/55-80 HiMA	≥ 0,5*** (w 15°C)	3,2	0,6	2,6 ÷ 3,8	3,1	2,6	4,0	2,5 ÷ 4,1
ORBITON 45/80-80 HiMA	≥ 2,0*** (w 10°C)	3,6	0,7	2,9 ÷ 4,3	3,6	3,1	4,2	2,3 ÷ 4,9
ORBITON 65/105-80 HiMA**	≥ 1,0*** (w 5°C)	8,4	—	—	—	—	—	7,4 ÷ 9,4

* wyniki badań odnoszą się do okresu: styczeń 2018 ÷ kwiecień 2020

** wyniki badań odnoszą się do okresu: listopad 2019 ÷ kwiecień 2020, ze względu na zbyt małą liczbę wyników wynikającą ze zmiany temperatury badania, dla lepiszcza zostały określone jedynie wybrane parametry statystyczne

*** wymaganie określone w PN-EN 14023:2011/Ap2:2020-02

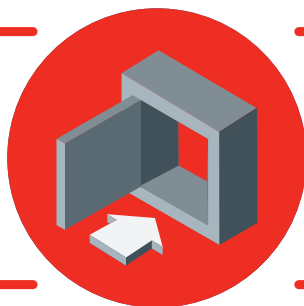
3.

WŁAŚCIWOŚCI FUNKCJONALNE ASFALTÓW

Biuro Badań, Rozwoju i Innowacji ORLEN Asphalt cyklicznie prowadzi prace badawcze dotyczące właściwości funkcjonalnych lepiszczy asfaltowych produkowanych w Grupie ORLEN. Badania prowadzone są z wykorzystaniem najnowocześniejszych metod badawczych stosowanych w Europie oraz w Stanach Zjednoczonych.

W niniejszym rozdziale prezentujemy wyniki badań funkcjonalnych wybranych asfaltów drogowych, modyfikowanych oraz wysokomodyfikowanych polimerami. Badania wykonano w laboratorium badawczym UniCRE w Czechach, należącym do Unipetrol z Grupy ORLEN.

3.1. WPROWADZENIE



Nowoczesne metody badawcze lepiszczy asfaltowych opierają się głównie na badaniach właściwości reologicznych. Dzięki nim jesteśmy w stanie przeprowadzić kompleksową ocenę właściwości funkcjonalnych asfaltów, uwzględniając wymagania wynikające z rzeczywistych warunków pracy tych materiałów [3,4]. Lepiszczą asfaltowe są materiałami lepkosprężystymi, a ich właściwości zależą od temperatury oraz czasu obciążenia i zmieniają się od właściwości umownie sprężystych – w niskiej temperaturze i/lub przy krótkim czasie obciążenia, do właściwości lepkich – w wysokiej temperaturze i/lub przy długim czasie obciążenia.

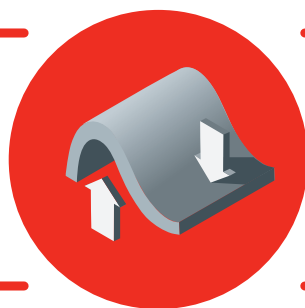
Reologia jest nauką zajmującą się aspektami odkształcania się ciał pod wpływem działania naprężenia. Opisuje zjawiska występujące pomiędzy stanem stałym, a stanem płynnym materiałów, bowiem większość z nich wykazuje cechy pośrednie – są w różnym stopniu zarówno sprężyste jak i lepkie, dlatego są nazywane materiałami o cechach lepkosprężystych. Innymi słowy możemy więc traktować reologię jako naukę zajmującą się zachowaniem

się substancji rzeczywistych, które poddane odkształcaniu wykazują więcej niż jedną podstawową właściwość reologiczną, czyli sprężystość lub lepkość [1].

W niniejszym rozdziale prezentujemy wyniki badań właściwości nisko-, średnio- oraz wysokotemperaturowych lepiszczy asfaltowych, przeprowadzone zgodnie z metodyką amerykańską (umownie „Superpave”) oraz normą PN-EN 14023 i projektem jej nowelizacji w 2021 r.

Jednocześnie warto zaznaczyć, że publikowane wyniki badań należy analizować z zastrzeżeniem, że są to wyniki losowo wybranych próbek asfaltów i nie stanowią one wartości typowych, osiąganych w ciągu całego (i każdego) sezonu produkcyjnego. W sposób oczywisty, nie są to wartości gwarantowane przez ORLEN Asphalt sp. z o.o. Nie należy także traktować tych wyników jako wartości średnich wg zasad statystyki.

3.2. PODSTAWY REOLOGII



REOLOGIA

Reologia (gr. *rheo* – płynąć i *logos* – nauka) jest nauką zajmującą się płynięciem i odkształceniem materiałów pod wpływem działania sił zewnętrznych (inaczej – pod wpływem działania naprężeń).

Poniżej, w celu lepszego zrozumienia opisywanych zjawisk, zdefiniowano podstawowe pojęcia reologiczne [2].

NAPRĘŻENIE

Naprężenie σ jest stosunkiem przyłożonej siły F do pola powierzchni A . Jednostką naprężenia jest Paskal [Pa]. Jeśli siła działa prostopadle do powierzchni, wówczas mamy do czynienia z naprężeniem normalnym, gdy siła działa równolegle do powierzchni wówczas mówimy o naprężeniu stycznym.

ODKSZTAŁCENIE

W każdym materiale na skutek działania siły (naprężenia) powstają odkształcenia. Wyróżniamy trzy podstawowe rodzaje odkształceń: odkształcenie sprężyste, plastyczne oraz przepływ. Odkształcenie sprężyste zanika natychmiast po odjęciu naprężenia wywołującego to odkształcenie (jest odwracalne). Odkształcenie plastyczne w przeciwieństwie do odkształcenia sprężystego jest nieodwracalne i nie zanika po ustaniu działania naprężenia, która je wywołała. Przepływem nazywamy natomiast nieodwracalne odkształcenie wzrastające w sposób ciągły z upływem czasu.

Lepiszczta asfaltowe ulegają odkształceniom lepkosprężystym, co oznacza, że po odjęciu przyłożonego naprężenia nie są one w stanie całkowicie powrócić do swojej pierwotnej postaci. W przypadku wielu cykli naprężenia obserwuje się kumulację odkształceń trwałych. W praktyce widzimy je np. jako pogłębiające się koleiny w nawierzchni.

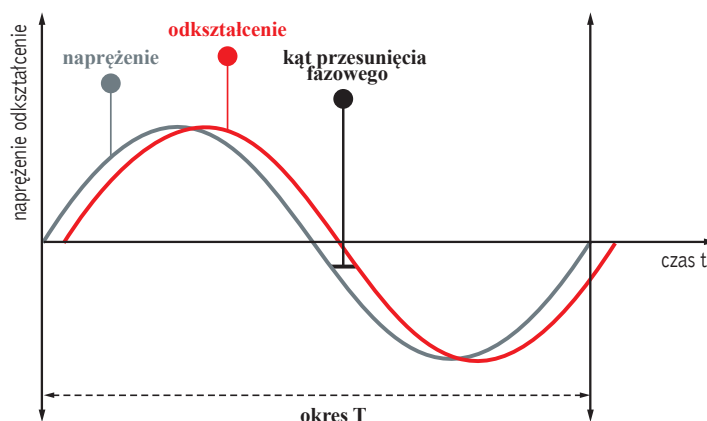
KĄT PRZESUNIĘCIA FAZOWEGO

W badaniach materiałów lepkosprężystych obserwujemy opóźnienie występowania reakcji odkształcenia w następstwie pojawienia się obciążenia. Miarą tego opóźnienia jest kąt przesunięcia fazowego δ . **Kąt przesunięcia fazowego δ , określa więc opóźnienie powstałego odkształcenia w stosunku do przyłożonego naprężenia.**

Jeśli kąt przesunięcia fazowego:

- jest równy 0° (zero), wówczas nie występuje przesunięcie fazowe pomiędzy naprężeniem a odkształceniem, a materiał jest idealnie sprężysty (ciało Hooke'a),
- jest większy od 0° (zera), ale mniejszy od 90° , wówczas występuje przesunięcie fazowe pomiędzy naprężeniem, a odkształceniem, a materiał jest lepkosprężysty,
- jest równy 90° to materiał jest idealnie lepki (ciecz Newtona).

Na rysunku 3.1. przedstawiono przesunięcie fazowe, powstałe pomiędzy przyłożonym naprężeniem a odpowiedzią materiału – czyli odkształceniem w teście z obciążeniem typu sinusoidalnego.



Rys. 3.1.

Graficzna interpretacja kąta przesunięcia fazowego δ [rys.własny]

PEŁZANIE

Jest to zjawisko definiowane jako proces deformowania się materiału pod wpływem długotrwałego obciążenia. Dobrym przykładem drogowym, w którym występuje zjawisko pełzania, jest proces deformacji warstwy asfaltowej pod wpływem obciążenia pochodzącego od stojącego ciężkiego pojazdu.

Istotne założenia procesu pełzania dla materiałów lepkosprężystych to działające obciążenie nie przekracza wytrzymałości materiału, proces przyspiesza wraz ze wzrostem temperatury i wielkości obciążenia. Zniszczenie materiału pod wpływem pełzania nie zachodzi w sposób nagły, ten proces wymaga czasu.

RELAKSACJA

Relaksacja naprężenia jest to zjawisko związane z lepkosprężystym zachowaniem materiałów. Polega ono na początkowo szybkim, a następnie bardzo powolnym spadku naprężenia występującego w odkształconym elemencie danego materiału (bez zmiany wartości tego odkształcenia). Zjawisko relaksacji zachodzi na skutek płynięcia.

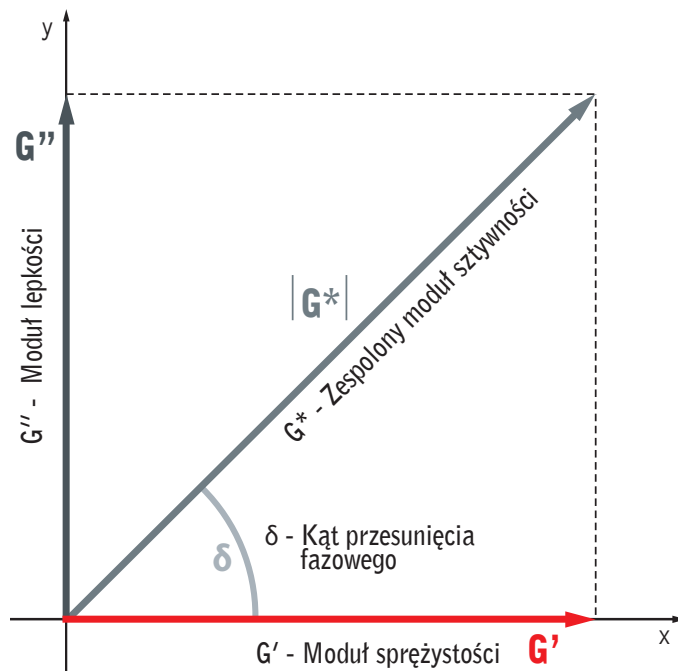
Procesy relaksacji naprężenia mają duże znaczenie w przypadku nawierzchni asfaltowych, np. jako jeden z czynników zmniejszający problem spękań niskotemperaturowych. Jeżeli rozpatrujemy mieszanki mineralno-asfaltowe jako materiały o cechach lepkosprężystych możemy mówić o relaksacji naprężenia np. w okresach zimowych, gdy warstwa ścieralna poddawana jest odkształceniom skurczowym. Dzięki zjawisku relaksacji może ona kompensować występujące naprężenia termiczne.

Wielkość zachodzącej relaksacji w danym materiale zależy od temperatury, czasu i poziomu powstałego naprężenia.

ZESPOLONY MODUŁ SZTYWNOŚCI $|G^*|$

Jest to miara całkowitej odporności lepiszcza na odkształcenia. Składa się on z części sprężystej i z części lepkiej, (rys. 3.2.).

Pożądane jest, aby część sprężysta lepiszcza – G' , była składową dominującą zespolonego modułu sztywności $|G^*|$.



Rys. 3.2.

Graficzna interpretacja zespolonego modułu sztywności $|G^*|$ [rys. własny]

Pełną charakterystykę danego lepiszcza asfaltowego uzyskuje się znając jednocześnie $|G^*|$ oraz δ , bowiem przy tej samej wartości $|G^*|$, lepiszcza mogą wykazywać różny udział części sprężystej i lepkiej. Obie wielkości są zależne od temperatury i czasu obciążenia próbki.

PRĘDKOŚĆ ŚCINANIA

Nazywana również szybkością odkształcenia lub szybkością deformacji jest definiowana jako szybkość zmian odkształcenia w czasie.

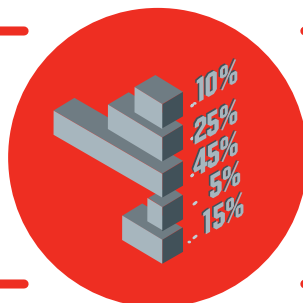
3.3. PROGRAM BADAŃ



W programie badawczym przeprowadzonym przez Biuro Badań, Rozwoju i Innowacji ORLEN Asphalt, do badań właściwości funkcjonalnych wykorzystano następujące rodzaje asfaltów:

- Asfalty drogowe:
20/30, 35/50, 50/70, 70/100,
- Asfalty modyfikowane polimerami:
ORBITON 25/55-60, ORBITON 45/80-55, ORBITON 45/80-65,
ORBITON 65/105-60,
- Asfalty wysokomodyfikowane polimerami:
ORBITON 25/55-80 HiMA, ORBITON 45/80-80 HiMA,
ORBITON 65/105-80 HiMA.

3.4. WYNIKI BADAŃ



3.4.1. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI NISKOTEMPERATUROWYCH



Do badań zachowania asfaltu w niskiej temperaturze wykorzystano reometr zginanej belki (BBR – *Bending Beam Rheometer*) – rys. 3.3. Badania wykonano wg normy PN-EN 14771:2012 oraz AASHTO T 313.



Rys.3.3.

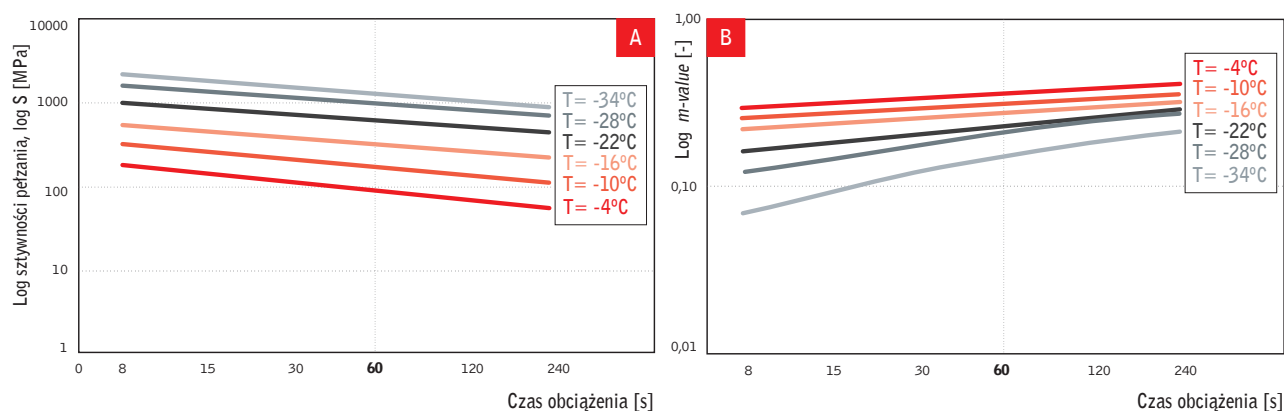
A) Reometr zginanej belki BBR, B) forma do przygotowania próbki (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o. dzięki uprzejmości ORLEN Laboratorium S.A.)

Dane otrzymane podczas badania w BBR wykorzystywane są do określenia zachowania asfaltu w niskiej temperaturze. Na podstawie badania BBR uzyskuje się następujące parametry:

- **sztywność pełzania $S(t)$ przy zginaniu**, w zależności od czasu obciążenia oraz temperatury pomiaru,
- **parametr m** , w zależności od czasu obciążenia oraz temperatury pomiaru.

Podczas badania próbka w postaci beleczki o wymiarach $127 \pm 5 \times 12,7 \pm 0,1 \times 6,4 \pm 0,1^1$ obciążana jest ze stałą siłą w środku rozpiętości, w stałej temperaturze. W określonych

odstępach czasu (po 8s; 15s; 30s; 60s; 120s i 240s) mierzone jest ugięcie próbki w wyniku pełzania lepszczu asfaltowego. Otrzymane wartości siły i przemieszczenia wykorzystywane są następnie do obliczenia sztywności próbki w każdym punkcie czasowym. Pozwala to na uzyskanie krzywej określającej zależność sztywności próbki w funkcji czasu obciążenia – $S(t)$. Wykonanie badania w kilku wartościach temperatury pozwala z kolei określić szereg krzywych $S(t)_{T_1, T_2, \dots}$ – czyli wrażliwość temperaturową sztywności danego lepszczu asfaltowego. Przykładowy wykres przedstawiający badanie w różnych wartościach temperatury przedstawiono na rysunku 3.4.



Rys.3.4.

Krzywe określające zależność: a) sztywności próbki w funkcji czasu obciążenia, b) parametru m w funkcji czasu obciążenia, wyniki PMB 25/55-60, próbka po RTFOT+PAV, [badania własne ORLEN Asphalt]

Można powiedzieć, że badaniem w BBR, oceniamy:

- stopień usztywnienia asfaltu w niskiej temperaturze (parametr sztywności S) – zbyt duża sztywność lepszczu jest niekorzystna, ponieważ wpływa na powstawanie spękań,
- zdolność asfaltu do relaksacji naprężenia (parametr m), przy założeniu, że optymalnie $m \geq 0,300$, ponieważ w asfaltach z wysokim parametrem m relaksacja naprężenia termicznego następuje bardziej efektywnie.

Oba parametry (S i m) powinno rozpatrywać się łącznie – nie można ich traktować osobno, ponieważ każdy z nich opisuje inne zachowanie lepszczu asfaltowego i każdy z nich jest istotny do oceny właściwości niskotemperaturowych.

Podsumowując, można powiedzieć, że w kontekście pożądanych właściwości niskotemperaturowych asfaltów, korzystna jest niższa wartość S i wyższa wartość parametru m .

W poprzednich wydaniach Poradnika Asfaltowego wyniki właściwości niskotemperaturowych podawano na podstawie metodyki *Performance Grade* stosowanej w USA. Za dolną temperaturę krytyczną (LCT) w tej metodzie przyjmuje się wyższą z dwóch wartości temperatury oznaczonych w 60. sekundzie obciążenia, w której:

- sztywność pełzania wynosi 300 MPa $\rightarrow T(S_{(60)} = 300 \text{ MPa})$,
- parametr m wynosi 0,300 $\rightarrow T(m_{(60)} = 0,300)$.

Dodatkowo, tzw. dolne PG ustala się pomniejszając LCT o 10°C , i zaokrąglając w górę do odpowiedniego szeregu funkcjonalnego, zgodnie z gradacją co 6°C , np. $LCT = -24^\circ\text{C} \rightarrow$ dolne PG $= -34^\circ\text{C}$ lub $LCT = -17^\circ\text{C} \rightarrow$ dolne PG $= -22^\circ\text{C}$ (typoszereg dolnego PG: -10, -16, -22, -28, -34, -40, -46).

1) Wymiary próbki podano w milimetrach, w kolejności: długość x wysokość x szerokość

W normalizacji europejskiej postanowiono wykorzystać doświadczenia amerykańskie i w projekcie normy prEN 14023 z 2020 r. wprowadzono badanie w BBR, jako badanie sprawdzające trwałość konsystencji w niskiej temperaturze eksploatacji asfaltów modyfikowanych. Trwałość ta jest określana za pomocą następujących parametrów:

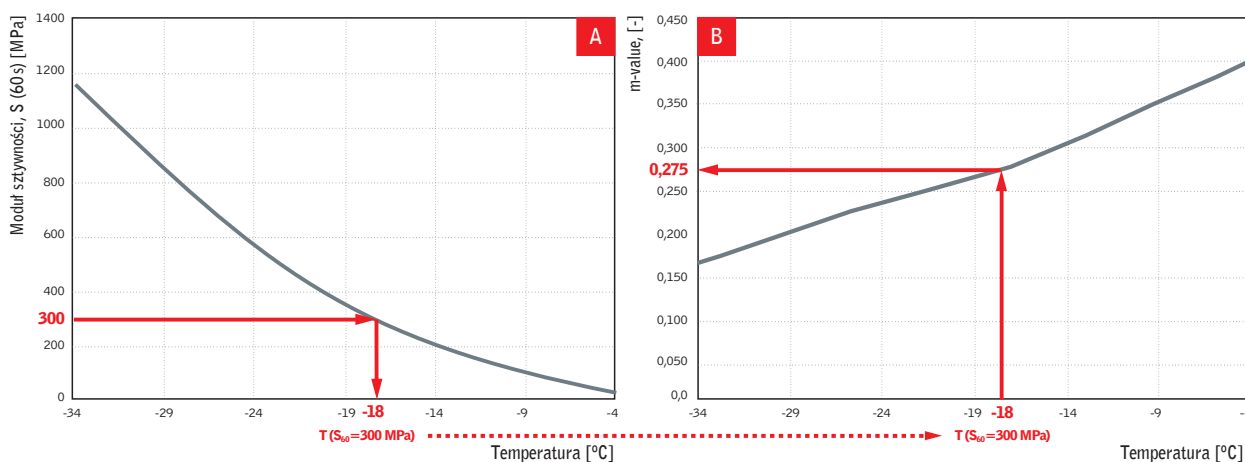
- temperatury T , w której sztywność pełzania wynosi 300 MPa $\rightarrow T(S_{(60)} = 300 \text{ MPa})$;
- parametru m w tej temperaturze $T(S_{(60)} = 300 \text{ MPa})$.

Jak można zauważyć, w obydwu przypadkach, tylko pierwsza część badania jest taka sama, tzn. określenie temperatury, w której asfalt ma sztywność $S_{(60)} = 300 \text{ MPa}$. W metodzie europejskiej, do klasyfikacji asfaltów modyfikowanych polimerami, wprowadzono zamiast temperatury, w której $m_{(60)} = 0,300$ wartość parametru m w tej samej temperaturze, w której $S_{(60)} = 300 \text{ MPa}$. Zarówno w metodzie amerykańskiej, jak i europejskiej wybór sposobu oceny niskotemperaturowych właściwości asfaltów modyfikowanych jest podobny, jednakże przyjęcie innej zasady

obliczania parametrów może prowadzić do znacząco różnych interpretacji wyników, na co należy zwrócić szczególną uwagę.

Temperaturę $T(S_{(60)} = 300 \text{ MPa})$ zgodnie z prPN-EN14023, wyznacza się poprzez interpolację krzywej zależności sztywności pełzania od temperatury, odczytanej w 60 sekundzie pomiaru. Praktycznie oznacza to, że z wykresu przedstawionego na rys. 3.4. należy odczytać wartość sztywności pełzania w 60 sekundzie pomiaru w każdej zastosowanej temperaturze badania, a uzyskane wartości nanieść na wykres obrazujący sztywność pełzania od temperatury, rys. 3.5a.

Schemat odczytu wartości temperatury $T(S_{(60)} = 300 \text{ MPa})$ oraz parametru m w temperaturze T przedstawiono na rysunku 3.5 a-b. Ocena wyniku parametru m wg propozycji w prEN 14023 sprowadza się do stwierdzenia, jaka jest jego wartość. Dla wtajemniczonych pozostaje sposób interpretacji, czy wartość parametru m jest większa czy mniejsza niż wartość graniczna tj. 0,300 oraz co to oznacza.

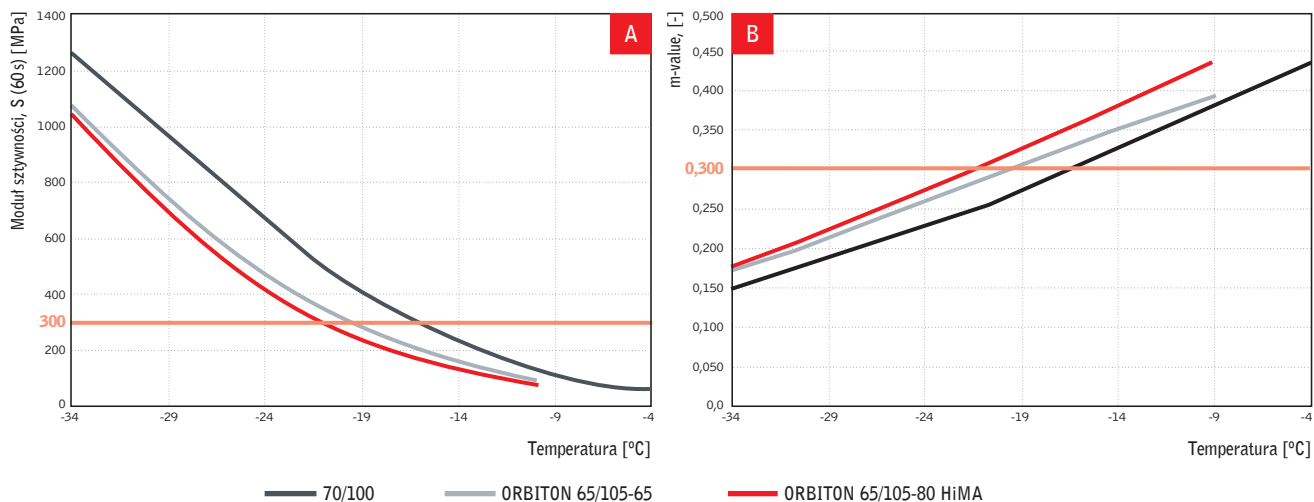
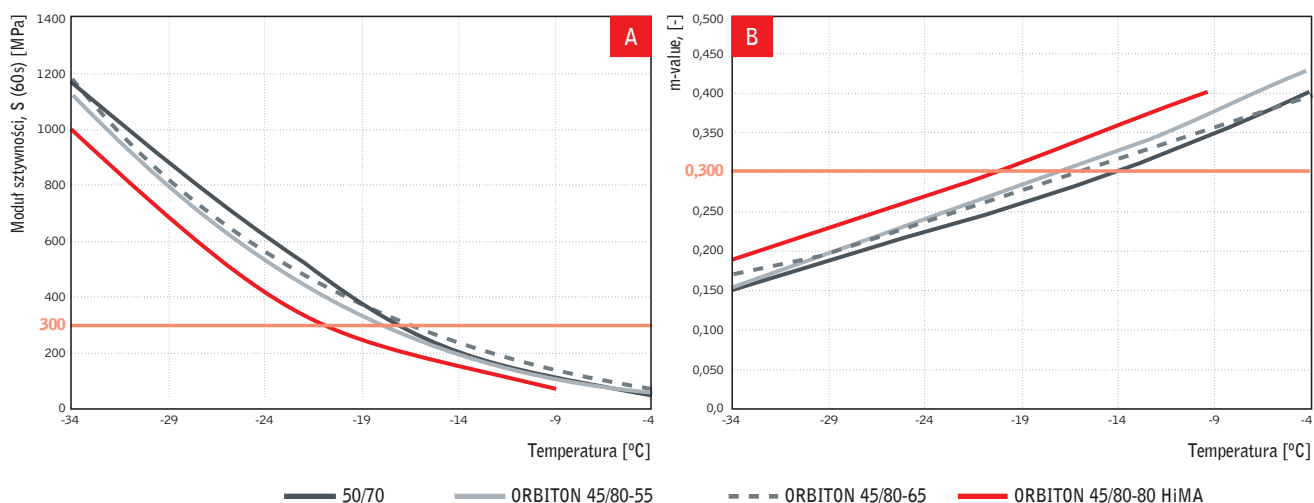
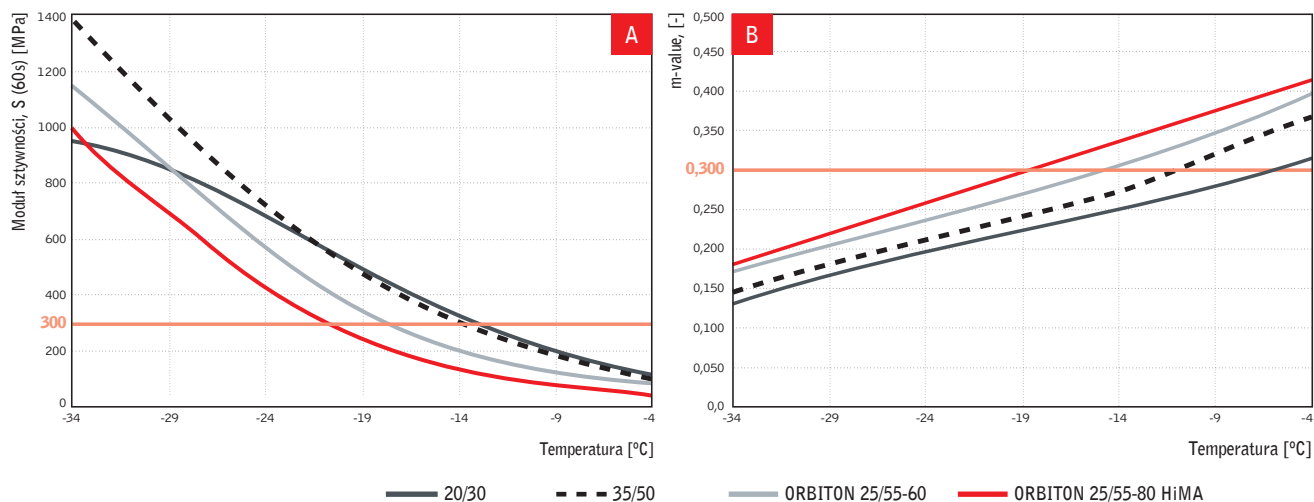


Rys.3.5.

Przykład wyznaczania a) temperatury $T(S_{(60)} = 300 \text{ MPa})$, b) parametru m przy $T(S_{(60)} = 300 \text{ MPa})$ [rys. na podstawie prEN 14023]

Na rys. 3.6.-3.8. przedstawiono porównanie zmiany sztywności oraz zmianę parametru m , w zależności od temperatury pomiaru, dla wszystkich badanych asfaltów. Badanie wykonano w zakresie temperatury od -4°C do -34°C. Próbkę przed badaniem poddano starzeniu metodami RTFOT oraz PAV.

Interpretacja wykresów: niższa wartość S = lepiej, większa wartość parametru m = lepiej. Pomarańczową linią zaznaczono sztywność przy $S_{(60)} = 300 \text{ MPa}$ oraz parametr $m_{(60)} = 0,300$.



W tabeli 3.1. przedstawiono wyniki badań niskotemperaturowych lepiszczy asfaltowych zgodnie z systemem amerykańskim

wg AASHTO M320/M332, oraz w oparciu o projekt normy prEN 14023 z 2020 r.

Tabela 3.1.

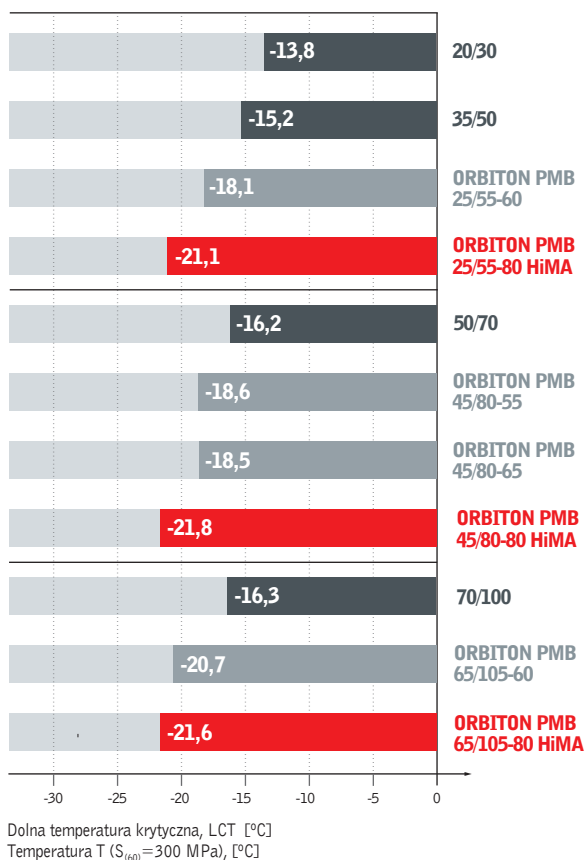
Wyniki badań właściwości niskotemperaturowych badanych asfaltów zgodnie z systemem *Superpave* oraz z prEN 14023 z 2020 r. [badania własne ORLEN Asphalt]

RODZAJ ASFALTU	System <i>Superpave</i>			prEN 14023	
	Dolna temperatura krytyczna LCT [°C]		Różnica LCT(S)-LCT(m)	Temperatura T_f w której sztywność pełzania wynosi 300 MPa	Wartość parametru m -value w temperaturze T_f
	Temperatura T_f w której sztywność pełzania wynosi 300 MPa	Temperatura T_f w której parametr m wynosi 0,300			
	$T(S_{(60)}=300 \text{ MPa})$, [°C]	$T(m_{(60)}=0,300)$, [°C]	ΔT_c	$T(S_{(60)}=300 \text{ MPa})$, [°C]	$m(T(S_{(60)}=300 \text{ MPa}))$, [-]
INTERPRETACJA	mniej = lepiej				informacyjnie
20/30	-13,8	-7,1	-6,8	-13,8	0,256
35/50	-15,2	-11,0	-4,3	-15,2	0,276
50/70	-16,2	-14,4	-1,7	-16,2	0,291
70/100	-16,3	-16,9	0,6	-16,3	0,314
ORBITON 25/55-60	-18,1	-15,1	-3,0	-18,1	0,283
ORBITON 45/80-55	-18,6	-16,9	-1,7	-18,6	0,290
ORBITON 45/80-65	-18,5	-15,9	-2,6	-18,5	0,284
ORBITON 65/105-60	-20,7	-20,0	-0,7	-20,7	0,295
ORBITON 25/55-80 HiMA	-21,1	-18,4	-2,7	-21,1	0,280
ORBITON 45/80-80 HiMA	-21,8	-20,1	-1,7	-21,8	0,288
ORBITON 65/105-80 HiMA	-21,6	-21,8	0,2	-21,6	0,304

$T(S_{(60)}=300 \text{ MPa})$ jest oznaczana w ten sam sposób

W celu łatwiejszej analizy powyższych danych, na rysunku 3.9. przedstawiono w sposób graficzny otrzymane wyniki temperatury T_f w której sztywność pełzania wynosi 300 MPa ($T(S_{(60)}=300 \text{ MPa})$), wg prEN 14023 z 2020 r.. Asfalty pogrupowano według zakresów penetracji odpowiadających grupom lepiszczy do konkretnych zastosowań drogowych.

Z kolei na rys. 3.10. przedstawiono wyniki temperatury, w której sztywność pełzania wynosi 300 MPa ($T(S_{(60)}=300 \text{ MPa})$), oraz odpowiadającą jej wartości parametru m .



Rys. 3.9.

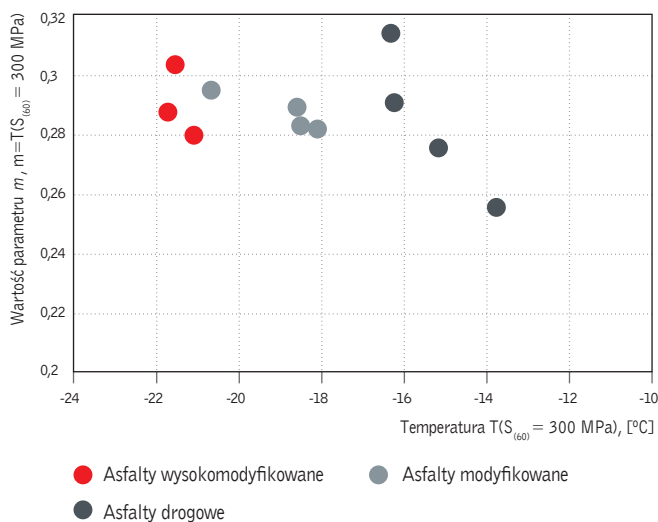
Prezentacja wyników temperatury T , w której sztywność pękania wynosi 300 MPa ($T(S_{60}) = 300 \text{ MPa}$). Asfalty po starzeniu RTFOT + PAV [badania własne ORLEN Asphalt]. Interpretacja wykresu: mniej = lepiej

W literaturze technicznej dotyczącej asfaltów i ich właściwości niskotemperaturowych pojawił się w ostatnim czasie nowy parametr ΔT_c . Parametr ΔT_c , definiowany jest wg metodyki amerykańskiej, jako różnica pomiędzy dolną temperaturą krytyczną, oznaczoną przy sztywności $S_{60} = 300 \text{ MPa}$, oraz dolną temperaturą krytyczną, w której wartość parametru m jest równa $m_{(60)} = 0,300$. Oblicza się go zgodnie ze wzorem [8]:

$$\Delta T_c = T_{c(S=300\text{MPa})} - T_{c(m=0,300)}$$

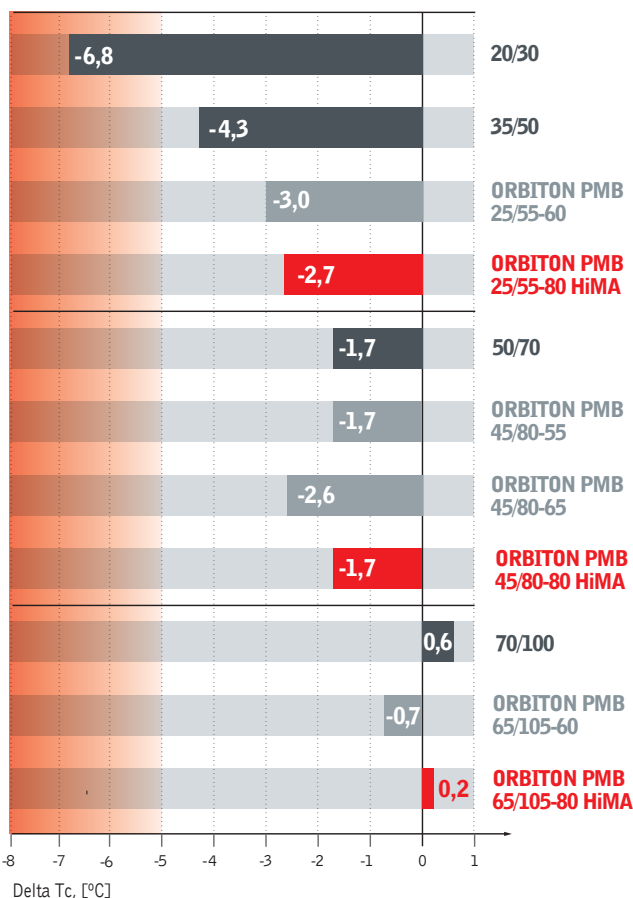
Parametr ΔT_c , służy do przewidywania podatności lepszycy asfaltowych na pękanie niskotemperaturowe. Oszacowano, że wartość parametru ΔT_c nie powinna być niższa niż -5°C , ponieważ poniżej tej wartości lepszy asfalt może charakteryzować się zwiększoną podatnością na pękanie i starzenie [8, 10].

Na rys. 3.11. przedstawiono wartość parametru ΔT_c dla badanych asfaltów. Kolorem pomarańczowym zaznaczono strefę o zwiększonej podatności na pękanie niskotemperaturowe.



Rys. 3.10.

Prezentacja wyników temperatury T , w której sztywność pękania wynosi 300 MPa ($T(S_{60}) = 300 \text{ MPa}$) oraz odpowiadająca jej wartość parametru m wg prEN 14023 z 2020 r. Asfalty po starzeniu RTFOT + PAV [badania własne ORLEN Asphalt]



Rys. 3.11.

Porównanie wartości parametru ΔT_c , obszar pomarańczowy oznacza zwiększone ryzyko pęknięć niskotemperaturowych [badania własne ORLEN Asphalt]. Interpretacja wykresu: mniej = lepiej

Ujemne wartości ΔT_c większości badanych asfaltów świadczą o tym, że jest to parametr kontrolowany przez wartość parametru $m_{(60)}$. Czyli kluczową właściwością badanych lepiszczy w zakresie odpor-

ności na spękania skurczowe jest zdolność do relaksacji naprężenia termicznego, a nie występowanie nadmiernego usztywnienia.

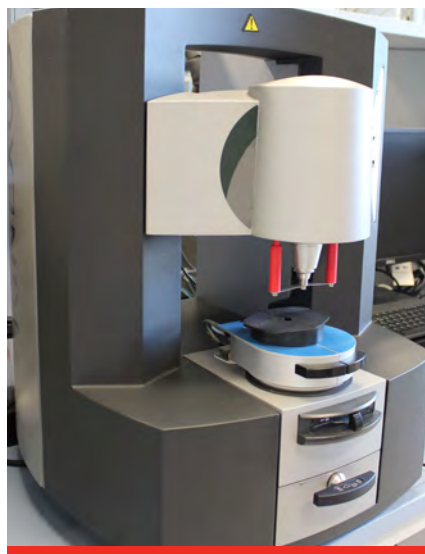
3.4.2. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI W REOMETRZE DYNAMICZNEGO ŚCINANIA

3.4.2.1. ZALEŻNOŚĆ ZESPOLONEGO MODUŁU SZTYWNOŚCI $|G^*|$ I KĄTA PRZESUNIĘCIA FAZOWEGO δ OD TEMPERATURY I CZASU OBCIĄŻENIA

Jak opisano we wcześniejszych rozdziałach, właściwości asfaltu jako materiału lepkosprężystego zależą od temperatury i czasu obciążenia. Narzędziem, które wykorzystuje się do badania zmian w zachowaniu lepiszczy asfaltowych jest reometr dynamicznego ścinania (DSR), rys. 3.12. Poniżej prezentowane wyniki badań wykonano w DSR w oparciu o normę PN-EN 14770:2012.

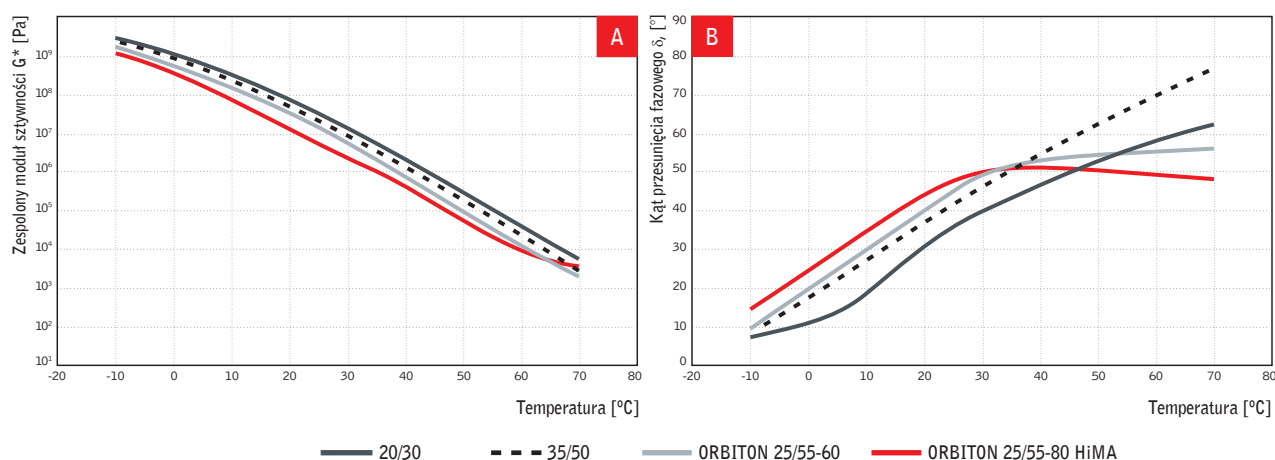
Podczas badania podstawowych właściwości lepiszczy asfaltowych za pomocą reometru dynamicznego ścinania, dla każdej próbki określa się zespolony moduł sztywności $|G^*|$ oraz kąt przesunięcia fazowego δ . Obie te wielkości zależą od rodzaju asfaltu, temperatury oraz czasu obciążenia.

Na rysunkach 3.13.-3.15. przedstawiono zależność zespolonego modułu sztywności oraz kąta przesunięcia fazowego lepiszczy asfaltowych od temperatury. Asfalty pogrupowano według zakresów penetracji odpowiadających grupom lepiszczy do konkretnych zastosowań drogowych.



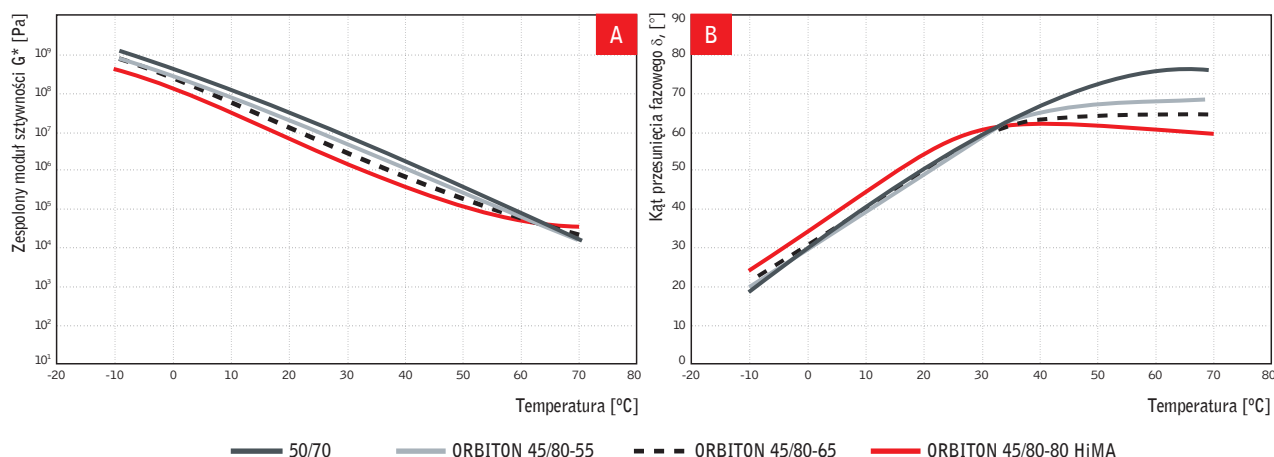
Rys.3.12.

Reometr dynamicznego ścinania DSR (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o. dzięki uprzejmości ORLEN Laboratorium S.A.)



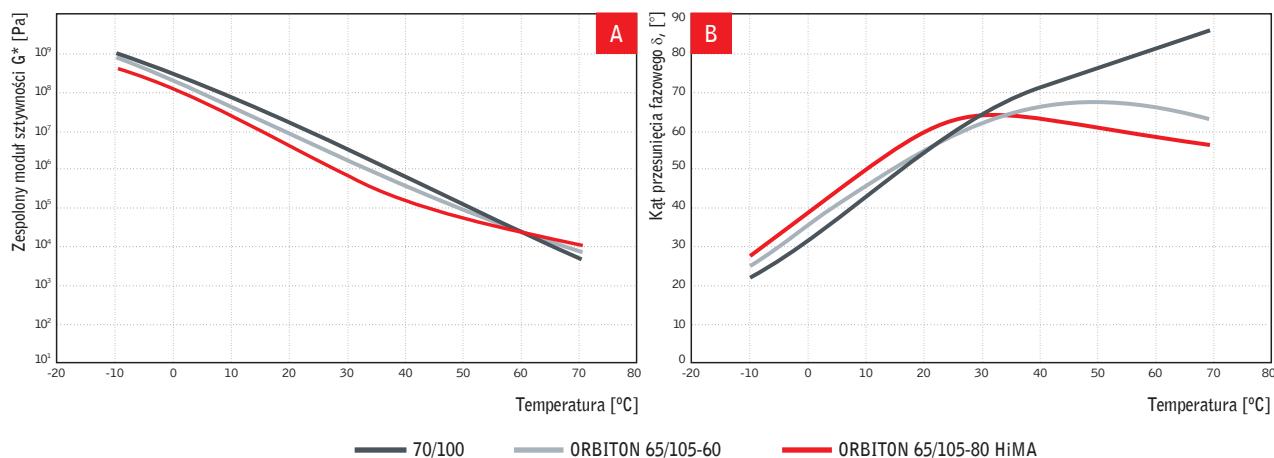
Rys. 3.13.

Zależność a) zespolonego modułu sztywności, b) kąta przesunięcia fazowego asfaltów 20/30, 35/50, PMB 25/55-60 oraz PMB 25/55-80 HiMA od temperatury. Asfalty po starzeniu met. RTFOT [źródło: badania własne ORLEN Asphalt]



Rys. 3.14.

Zależność a) zespolonego modułu sztywności, b) kąta przesunięcia fazowego asfaltów 50/70, PMB 45/80-55, PMB 45/80-65 oraz PMB 45/80-80 HiMA od temperatury. Asfalty po starzeniu met. RTFOT [źródło: badania własne ORLEN Asphalt]



Rys. 3.15.

Zależność a) zespolonego modułu sztywności, b) kąta przesunięcia fazowego asfaltów 70/100, PMB 65/105-60 oraz PMB 65/105-80 HiMA od temperatury. Asfalty po starzeniu met. RTFOT [źródło: badania własne ORLEN Asphalt]

Widzimy, że wraz ze wzrostem temperatury sztywność asfaltu maleje, z kolei kąt przesunięcia fazowego rośnie. **Rozpatrując to pod kątem pożądanych właściwości asfaltu oraz mieszanek mineralno-asfaltowych, można stwierdzić, że:**

a) w niskich wartościach temperatury:

- im niższa sztywność oraz wyższy kąt przesunięcia fazowego tym lepiej – przeciwdziałanie spękanom nawierzchni w zimie,

b) w wysokich wartościach temperatury:

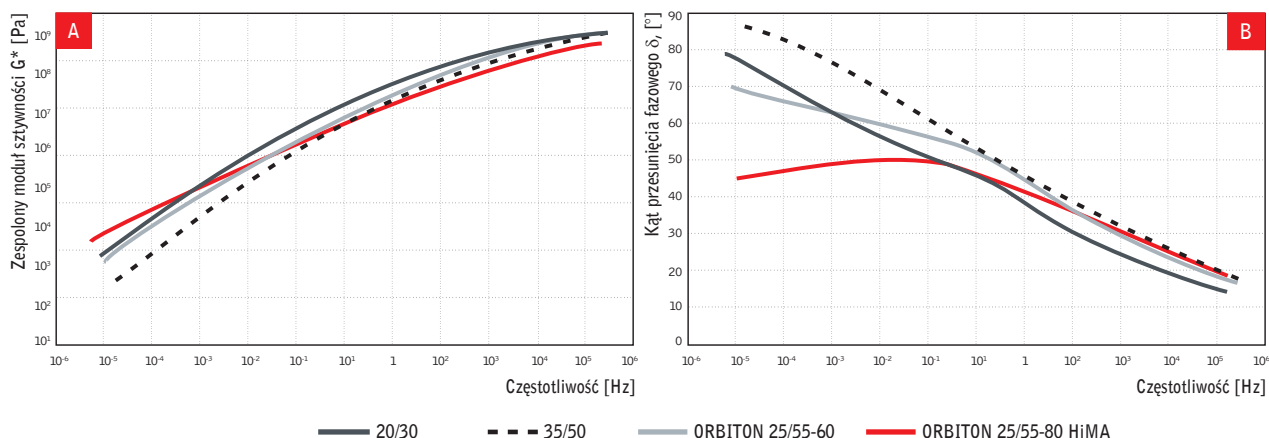
- im wyższa sztywność oraz niższy kąt przesunięcia fazowego tym lepiej – przeciwdziałanie koleinom lepkoplastycznym.

Spójrzmy na wykresy obrazujące charakterystykę asfaltu ORBITON 45/80-80 HiMA (rys. 3.14.) – możemy zaobserwować, że w temperaturze -10°C charakteryzuje się on najniższą sztywnością oraz najwyższym kątem przesunięcia fazowego. Niska sztywność oraz stosunkowo wysoki kąt przesunięcia fazowego oznacza, że dane lepiszcze posiada zdolność do relaksacji naprężenia powstającego w materiale pod wpływem działania niskiej temperatury – chroni go więc przed spękaniami niskotemperaturowymi. Z kolei analizując zachowanie tego asfaltu w temperaturze $+60^{\circ}\text{C}$ możemy zaobserwować, że charakteryzuje się on najwyższą sztywnością oraz najniższym kątem przesunięcia fazowego – oznacza to, że w przypadku rozgrzania nawierzchni do przykładowych $+60^{\circ}\text{C}$ lepiszcze asfaltowe jest w stanie przeciwdziałać powstawaniu kolein lepkoplastycznych.

Wśród zbadanych asfaltów, co nie jest zaskoczeniem, widoczne są różne zależności sztywności $|G^*|$ i kąta przesunięcia fazowego δ w funkcji temperatury. Asfalty drogowe charakteryzują się największym usztywnieniem wraz ze spadkiem temperatury, co z kolei prowadzi do zmniejszania się kąta δ . W asfaltach modyfikowanych polimerami PMB i HiMA charakterystyki $|G^*|$ i δ są zmienione, na co wpływa oczywiście obecność sieci polimerowej wewnątrz lepiszcza. Polimery SBS stosowane do modyfikacji asfaltów należą do grupy elastomerów, a więc zachowują elastyczność nawet w niskiej temperaturze. Pożądane właściwości charakteryzujące asfalty HiMA to – w niskich wartościach temperatury relatywnie niższa sztywność i wyższy kąt przesunięcia fazowego niż pozostałe lepiszcza.

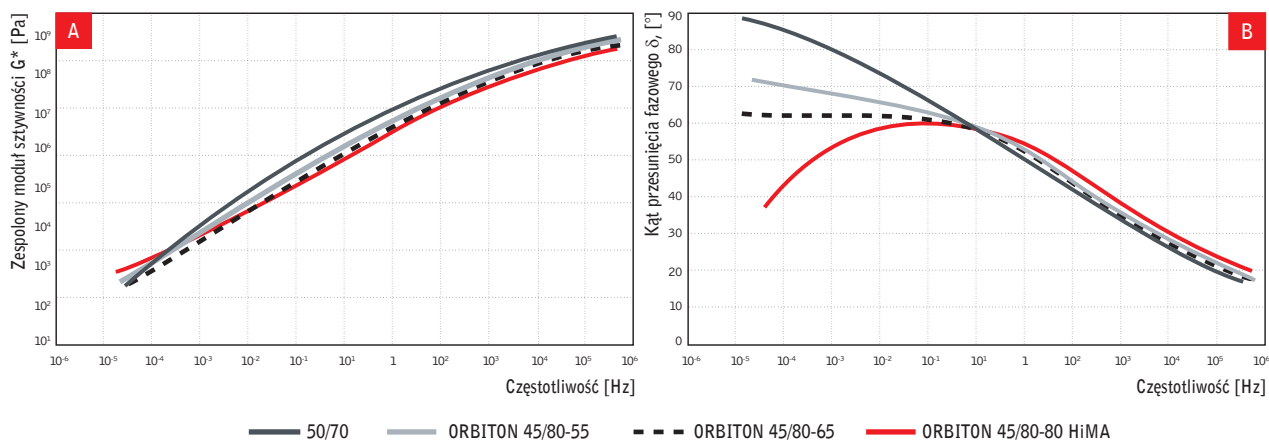
Z kolei w wysokich wartościach temperatury ich sztywność jest wyższa a kąt przesunięcia fazowego niższy w porównaniu do zwykłych PMB oraz asfaltów drogowych.

Na rysunkach 3.16. – 3.18. przedstawiono zależność zespolonego modułu sztywności $|G^*|$ oraz kąta przesunięcia fazowego δ w funkcji częstotliwości (inaczej mówiąc – w funkcji czasu obciążenia) dla wszystkich badanych lepiszczy asfaltowych. Pomiary wykonano w zakresie częstotliwości $0,1 \div 10$ Hz w temperaturze $-10, 0, 10, 25, 40, 60, 70^\circ\text{C}$, a następnie wykorzystując metodę superpozycji temperatury i częstotliwości otrzymano krzywe wiodące dla temperatury 25°C .



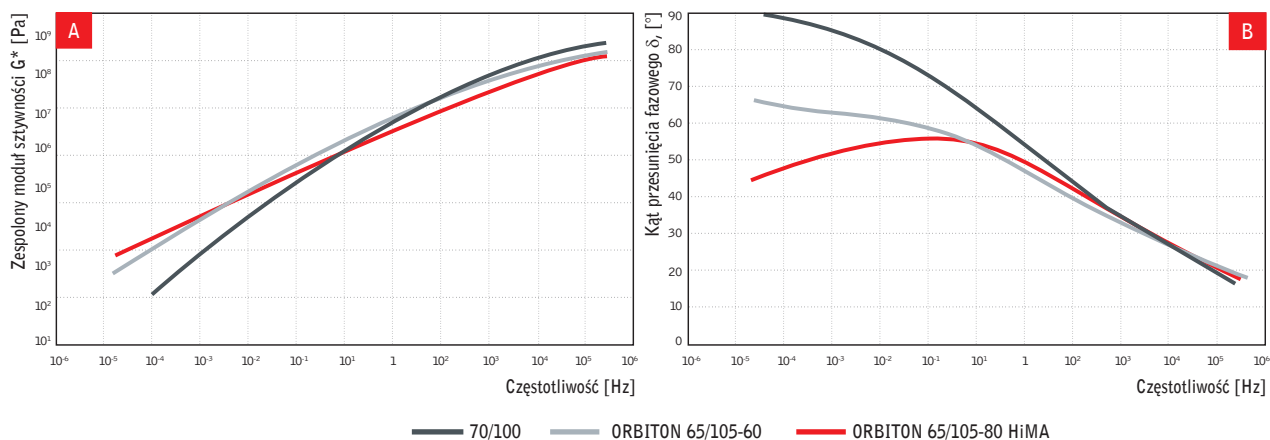
Rys. 3.16.

Zależność a) zespolonego modułu sztywności, b) kąta przesunięcia fazowego asfaltów 20/30, 35/50, PMB 25/55-60 oraz PMB 25/55-80 HiMA od częstotliwości. Asfalty po starzeniu met. RTFOT. Przemiatanie w zakresie częstotliwości od 0,1 do 10 Hz, temperatura referencyjna $T=25^\circ\text{C}$ [badania własne ORLEN Asfalt]



Rys. 3.17.

Zależność a) zespolonego modułu sztywności, b) kąta przesunięcia fazowego asfaltów 50/70, PMB 45/80-55, PMB 45/80-65 oraz PMB 45/80-80 HiMA od częstotliwości. Asfalty po starzeniu met. RTFOT. Przemiatanie w zakresie częstotliwości od 0,1 do 10 Hz, temperatura referencyjna $T=25^\circ\text{C}$ [badania własne ORLEN Asfalt]



Rys. 3.18.

Zależność a) zespolonego modułu sztywności, b) kąta przesunięcia fazowego asfaltów 70/100, PMB 65/105-60 oraz PMB 65/105-80 HiMA od częstotliwości. Asfalty po starzeniu met. RTFOT. Przemiatanie w zakresie częstotliwości od 0,1 do 10 Hz, temperatura referencyjna $T=25^\circ\text{C}$ [badania własne ORLEN Asphalt]

Można zauważyć, że wraz ze wzrostem częstotliwości (czyli wzrostem prędkości pojazdów → skróceniem czasu obciążenia) rośnie zespolony moduł sztywności oraz maleje kąt przesunięcia fazowego. **Biorąc pod uwagę pożądane właściwości asfaltów, a co za tym idzie – mieszanek mineralno-asfaltowych, korzystne jest, aby szczególnie przy niskich wartościach częstotliwości (przy długim czasie obciążenia) asfalt charakteryzował się wyższą sztywnością oraz niższym kątem przesunięcia fazowego.**

W takim układzie pracuje część sprężysta lepiszcza asfaltowego i wówczas jest on w stanie przeciwdziałać deformacjom nawierzchni w miejscach szczególnie narażonych na mniejszą prędkość przejeżdżających pojazdów, tj.: pasy ruchu powolnego, parkingi, strefy dojazdu do skrzyżowania. Przy wysokich wartościach częstotliwości (przy krótkim czasie obciążenia),

sztywność asfaltu nie ma już tak dużego znaczenia, ponieważ czas obciążenia nawierzchni przez przejeżdżający pojazd jest znacznie krótszy (np. przy prędkości 80 km/h).

Najlepszymi właściwościami pod kątem doboru lepiszczy asfaltowych do miejsc, w których występuje ruch powolny charakteryzują się asfalty PMB HiMA.

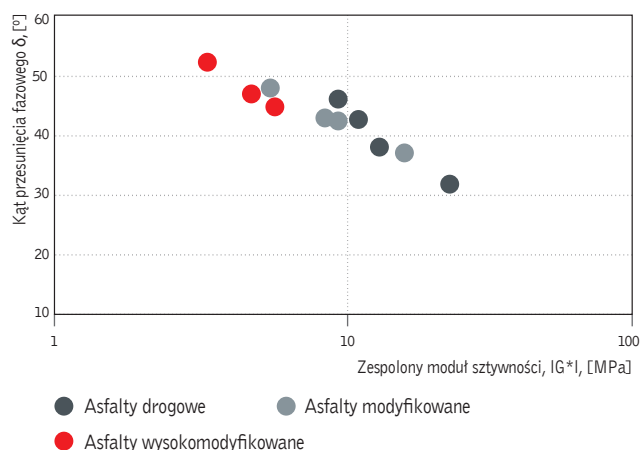
W tabeli 3.2. przedstawiono wartości zespolonego modułu sztywności oraz kąta przesunięcia fazowego lepiszczy asfaltowych, zbadanych w temperaturze $+10^\circ\text{C}$ przy częstotliwości 1 Hz (częstotliwość 1 Hz odpowiada ok. 7 km/h) oraz częstotliwości 10 Hz (częstotliwość 10 Hz odpowiada ok. 70 km/h).

Tabela 3.2.

Wyniki badań zespolonego modułu sztywności $|G^*|$ oraz kąta przesunięcia fazowego δ lepiszczy asfaltowych, próbki po RTFOT, temperatura 10°C , $f=1\text{Hz}$, 10Hz , [badania własne ORLEN Asphalt]

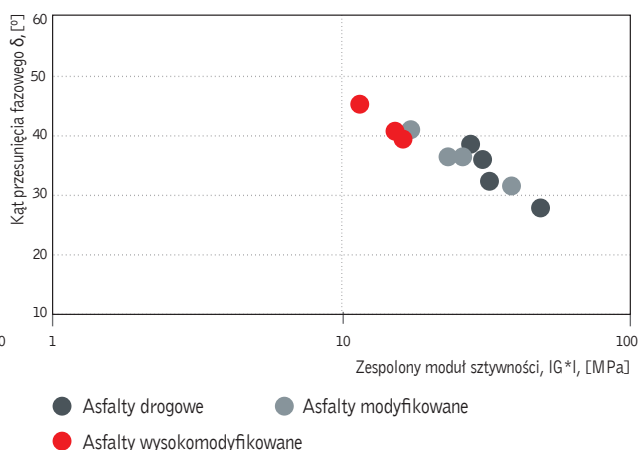
RODZAJ ASFALTU	Zespolony moduł sztywności $ G^* $; 10°C , 1 Hz $\approx$ 7 km/h	Kąt przesunięcia fazowego δ ; 10°C , 1 Hz $\approx$ 7 km/h	Zespolony moduł sztywności $ G^* $; 10°C , 10 Hz $\approx$ 70 km/h	Kąt przesunięcia fazowego δ ; 10°C , 10 Hz $\approx$ 70 km/h
	[MPa]	[°]	[MPa]	[°]
20/30	22,50	32,00	48,60	27,83
35/50	12,90	38,08	32,20	32,41
50/70	10,80	42,80	30,20	36,01
70/100	9,44	46,24	27,80	38,50
ORBITON 25/55-60	15,70	37,20	38,20	31,55
ORBITON 45/80-55	8,39	43,08	23,40	36,40
ORBITON 45/80-65	9,46	42,52	25,90	36,30
ORBITON 65/105-60	5,40	48,00	17,20	40,97
ORBITON 25/55-80 HiMA	5,56	44,71	16,40	39,61
ORBITON 45/80-80 HiMA	4,72	47,21	15,10	40,97
ORBITON 65/105-80 HiMA	3,32	52,24	11,50	45,31

Na rysunkach 3.19. oraz 3.20. przedstawiono porównanie tych właściwości w sposób graficzny.



Rys. 3.19.

Zespolony moduł sztywności $|G^*|$ i kąt przesunięcia fazowego δ badanych asfaltów, temperatura 10°C, **częstotliwość 1Hz**. Asfalty po starzeniu met. RTFOT [źródło: badania własne ORLEN Asphalt]



Rys. 3.20.

Zespolony moduł sztywności $|G^*|$ i kąt przesunięcia fazowego δ badanych asfaltów, temperatura 10°C, **częstotliwość 10Hz**. Asfalty po starzeniu met. RTFOT [źródło: badania własne ORLEN Asphalt]

3.4.2.2. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI WYSOKOTEMPERATUROWYCH

Badania właściwości wysokotemperaturowych lepischer asfaltowych wykonano wg normy AASHTO T315 oraz ASTM D7175. Prezentowane dalej wyniki są zgodne z wymaganiami amerykańskiej specyfikacji *Performance Grade* wg AASHTO M320.

Zgodnie z normą AASHTO M 320, wymagane jest, aby w określonej najwyższej temperaturze pracy asfaltu w nawierzchni (tzn. w „górnym PG”) asfalt charakteryzował się określonymi parametrami zbadanymi w DSR:

- $G^*/\sin\delta \geq 1,00$ kPa dla asfaltu przed starzeniem metodą RTFOT,
- $G^*/\sin\delta \geq 2,20$ kPa dla asfaltu po starzeniu metodą RTFOT.

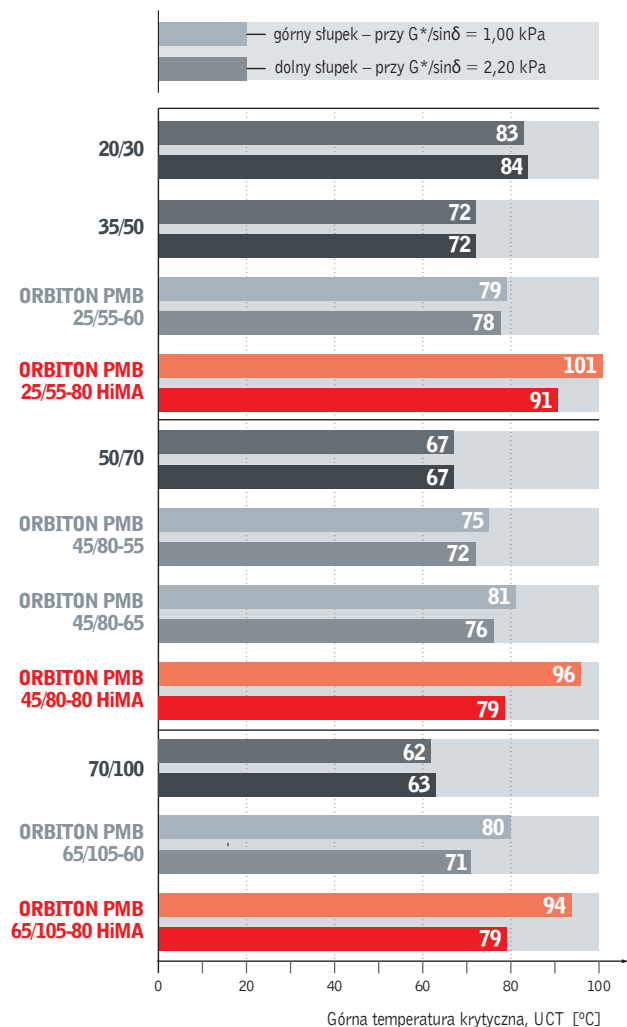
W tabeli 3.3. przedstawiono wyniki badań górnej temperatury krytycznej (UCT – *Upper Critical Temperature*) wyznaczonej przy $G^*/\sin\delta = 1,00$ kPa (próbki przed starzeniem RTFOT) oraz $G^*/\sin\delta = 2,20$ kPa (próbki po starzeniu RTFOT).

Tabela 3.3.

Wyniki badań właściwości wysokotemperaturowych badanych asfaltów: Górna temperatura krytyczna – UCT, oznaczona przy $G^*/\sin\delta = 1,00$ kPa oraz $G^*/\sin\delta = 2,20$ kPa [badania własne ORLEN Asphalt]

RODZAJ ASFALTU	GÓRNA TEMPERATURA KRYTYCZNA [°C] – UCT	
	$G^*/\sin\delta = 1,00$ kPa asfalt przed starzeniem RTFOT	$G^*/\sin\delta = 2,20$ kPa asfalt po starzeniu RTFOT
INTERPRETACJA	więcej = lepiej	
20/30	83,1	84,4
35/50	72,1	72,3
50/70	66,9	67,1
70/100	62,2	62,5
ORBITON 25/55-60	79,4	77,5
ORBITON 45/80-55	75,2	71,5
ORBITON 45/80-65	80,5	76,3
ORBITON 65/105-60	80,1	71,4
ORBITON 25/55-80 HiMA	100,5	90,9
ORBITON 45/80-80 HiMA	96,1	78,6
ORBITON 65/105-80 HiMA	93,5	79,0

W nowszej wersji specyfikacji, wg AASHTO M 332, zlikwidowano wymaganie $G^*/\sin\delta \geq 2,20$ kPa po RTFOT, zastępując je wymaganiami zgodnymi z metodą MSCR (patrz p. 3.4.2.3.). Na rys. 3.21. przedstawiono w sposób graficzny, otrzymane wyniki górnej temperatury krytycznej – UCT, oznaczonej przy $G^*/\sin\delta = 1,00$ kPa (górny słupek) oraz $G^*/\sin\delta = 2,20$ kPa (dolny słupek). Asfalty pogrupowano według zakresów penetracji odpowiadających grupom lepiszczy do konkretnych zastosowań drogowych.



Rys. 3.21.

Prezentacja wyników górnej temperatury krytycznej przy $G^*/\sin\delta = 1,00$ kPa – górny słupek (asfalty przed RTFOT) oraz przy $G^*/\sin\delta = 2,20$ kPa – dolny słupek (asfalty po RTFOT) [badania własne ORLEN Asphalt]. Interpretacja wykresu: więcej = lepiej

3.4.2.3. Test MSCR

Klasyfikacja lepiszczy asfaltowych oparta na wynikach górnej temperatury krytycznej UCT, mająca wskazywać na odporność danego asfaltu na deformacje trwałe okazała się nie do końca skuteczna, szczególnie w odniesieniu do asfaltów modyfikowanych polimerami [14]. W wyniku szeregu badań prowadzonych w USA, system klasyfikacji wysokotemperaturowej lepiszczy asfaltowych uzupełniono o badanie MSCR – *Multiple Stress Creep Recovery Test*, co znalazło swój finał w normie AASHTO M 332.

Zgodnie z projektem normy prEN 14023 z 2020 r., badanie MSCR zostało włączone do badań klasyfikacyjnych lepiszczy asfaltowych.

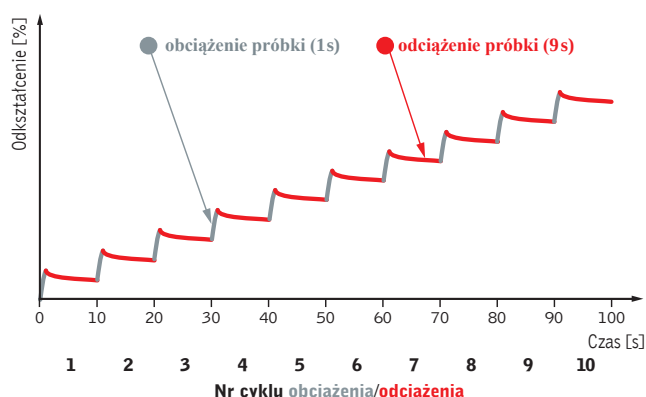
Badanie wykonuje się:

- w Europie, wg normy EN 16659,
- w USA, wg normy AASHTO T 350 lub ASTM D 7405.

Istotą wykonania badania MSCR jest pomiar właściwości lepiszcza w najwyższej oczekiwanej temperaturze pracy nawierzchni (wg standaryzacji amerykańskiej) lub w temperaturze 60°C – zgodnie z założeniami europejskimi.

Badanie przeprowadza się w reometrze dynamicznego ścinania DSR, na próbkach po starzeniu metodą RTFOT. **Wyniki badania określają wpływ danego asfaltu na odporność mieszanki mineralno-asfaltowej na koleinowanie oraz, w przypadku PMB, oceniany jest również poziom sprężystości (skuteczności modyfikacji) materiału.**

Badanie przeprowadza się przy dwóch wartościach przyłożonego naprężenia: 0,1 kPa oraz 3,2 kPa. Próbkę asfaltu zostaje poddana stałemu naprężeniu przez 1 sekundę, po czym odpręża się ją przez kolejne 9 sekund. Podczas jednego badania wykonuje się 10 cykli pełzania i odprężania przy niższej wartości naprężenia, a następnie procedurę powtarza się dla wyższej wartości naprężenia (rys. 3.22.). Łącznie wykonuje się więc 20 cykli.



Rys. 3.22.

Zasada wykonania testu MSCR (10 cykli pełzania i odprężenia) przy jednej wartości naprężenia ścinającego [rys. własny]

W rezultacie przeprowadzonego testu otrzymuje się następujące parametry:

- **J_{nr}** (ang. *non-recoverable creep compliance*) w [kPa^{-1}] – **nieodwracalna podatność na pełzanie** (w warunkach ścinania cyklicznego w DSR) – bezpośredni wskaźnik odporności lepiszcza asfaltowego na koleinowanie, określany dla dwóch poziomów naprężenia 0,1 kPa oraz 3,2 kPa;
- **procentowy nawrót R** w [%] – wskaźnik sprężystości lepiszcza w danej temperaturze, określony również dla dwóch poziomów naprężenia 0,1 kPa oraz 3,2 kPa.

Obydwa uzyskane parametry dostarczają cennych informacji na temat danego lepiszcza asfaltowego, jednak **kluczowy w klasyfikacji jest wynik $J_{nr,3,2}$ [kPa^{-1}], który określa odporność danego asfaltu na deformacje trwałe – im mniejsza wartość $J_{nr,3,2}$ [kPa^{-1}], tym potencjalnie większa odporność na koleinowanie mieszanki mineralno-asfaltowej z danym lepiszczem**. Procentowy nawrót sprężystości R dostarcza dodatkowych informacji o zachowaniu lepiszcza w określonej temperaturze i przy określonym obciążeniu.

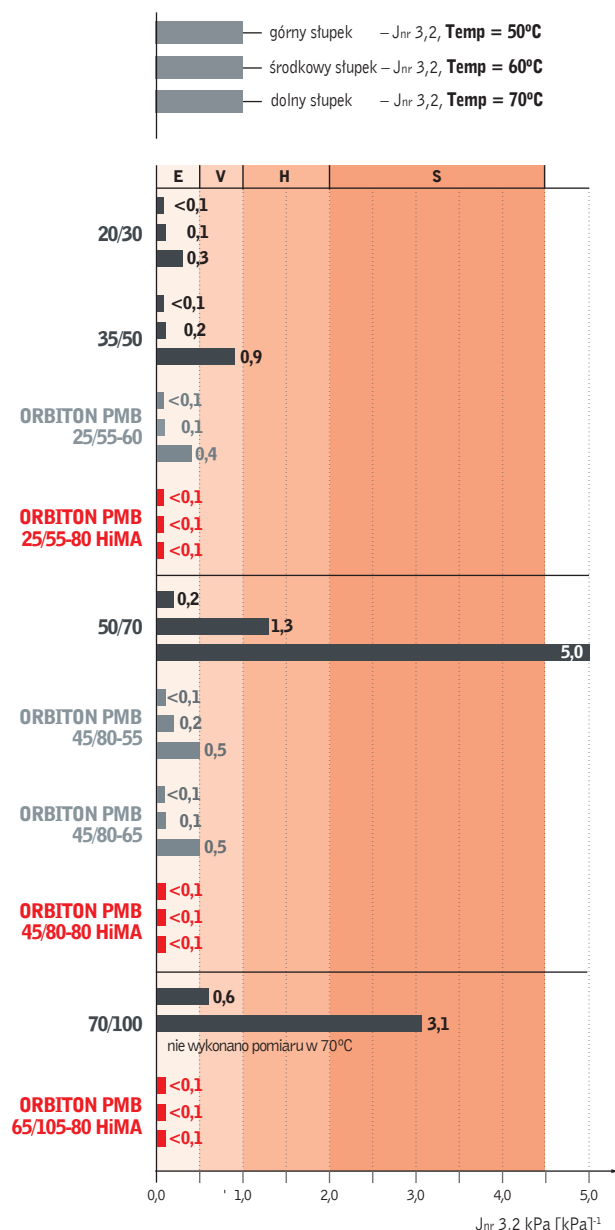
Dodatkowo, na podstawie wyników J_{nr} i R , można obliczyć dwa dodatkowe parametry – $J_{nr,diff}$ oraz R_{diff} – będące odpowiednio wskaźnikami wrażliwości lepiszcza asfaltowego na zwiększenie obciążenia oraz zmian sprężystości lepiszcza w warunkach zwiększenia obciążenia.

Wyniki badań MSCR przeprowadzone w temperaturze 50°C, 60°C oraz 70°C przedstawiono w tabeli 3.4. oraz na rysunkach 3.23. – 3.24. Wszystkie próbki asfaltów przed badaniem MSCR zostały poddane starzeniu metodą RTFOT. Dla asfaltów wysokomodyfikowanych ORBITON HiMA uzyskane wyniki J_{nr} są tak małe, że nie mieszczą się w precyzji metody MSCR, w związku z tym nie obliczano dla nich wartości $J_{nr,diff}$.

Tabela 3.4.

Wyniki badań testu MSCR – parametry: J_{nr} [kPa^{-1}] oraz R [%], otrzymane przy naprężeniu 0,1 oraz 3,2 kPa, w temperaturze 50°C, 60°C oraz 70°C, próbki po RTFOT. Interpretacja: im mniejsza wartość J_{nr} , tym większa odporność na koleinowanie, im większy nawrót R , tym bardziej sprężyste lepiszcze [badania własne ORLEN Asfalt]

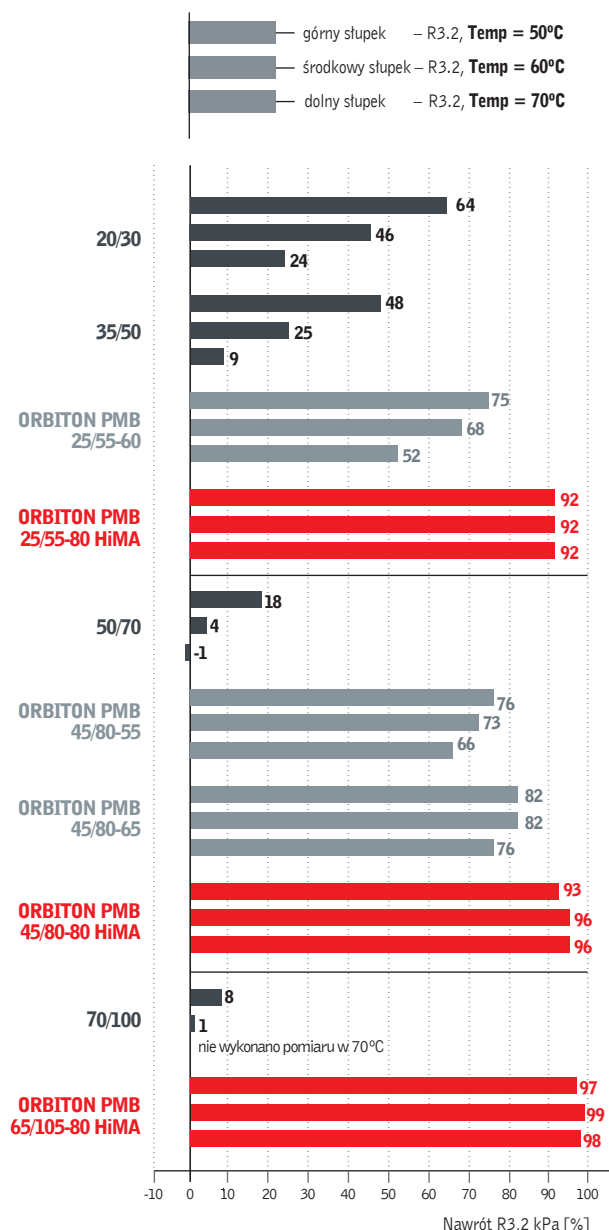
RODZAJ ASFALTU	TEMPERATURA 50°C						TEMPERATURA 60°C						TEMPERATURA 70°C					
	R 0,1	R 3,2	R_{diff}	$J_{nr,0,1}$	$J_{nr,3,2}$	$J_{nr,diff}$	R 0,1	R 3,2	R_{diff}	$J_{nr,0,1}$	$J_{nr,3,2}$	$J_{nr,diff}$	R 0,1	R 3,2	R_{diff}	$J_{nr,0,1}$	$J_{nr,3,2}$	$J_{nr,diff}$
	[%]	[%]	[%]	kPa	kPa	[%]	[%]	[%]	[%]	kPa	kPa	[%]	[%]	[%]	[%]	kPa	kPa	[%]
20/30	63,3	63,6	-0,3	<0,1	<0,1	—	47,2	45,9	2,9	0,1	0,1	2,2	31,1	23,9	23,4	0,3	0,3	12,3
35/50	48,3	47,8	1,0	<0,1	<0,1	—	29,0	25,4	12,5	0,2	0,2	5,5	16,5	8,7	47,6	0,8	0,9	14,8
50/70	19,3	17,9	7,4	0,2	0,2	1,8	9,8	3,7	62,9	1,2	1,3	11,7	3,2	-0,5	115,8	4,4	5,0	13,4
70/100	11,1	8,2	26,3	0,5	0,6	4,6	3,1	0,5	83,9	2,9	3,1	9,2	—	—	—	—	—	—
25/55-60	75,5	75,4	0,1	<0,1	<0,1	—	69,0	67,9	1,5	0,1	0,1	4,0	58,8	52,4	10,9	0,3	0,4	20,1
45/80-55	77,0	75,9	1,5	0,1	0,1	6,0	73,8	72,6	1,7	0,2	0,2	7,2	67,9	66,3	5,0	0,4	0,5	15,8
45/80-65	82,5	82,1	0,5	<0,1	<0,1	—	83,1	82,3	1,0	0,1	0,1	9,5	80,0	76,0	5,0	0,4	0,5	28,7
25/55-80 HiMA	93,4	91,6	1,9	<0,1	<0,1	—	92,8	92,1	0,8	<0,1	<0,1	—	92,9	92,4	0,6	<0,1	<0,1	—
45/80-80 HiMA	92,8	92,8	0,0	<0,1	<0,1	—	96,0	96,0	0,0	<0,1	<0,1	—	96,1	96,1	0,0	<0,1	<0,1	—
65/105-80 HiMA	96,2	96,8	-0,6	<0,1	<0,1	—	98,0	98,5	-0,6	<0,1	<0,1	—	98,3	98,4	-0,2	<0,1	<0,1	—



Rys. 3.23.

Prezentacja wyników parametru J_{nr} przy obciążeniu 3,2 kPa w temperaturze 50°C, 60°C, 70°C, dla badanych asfaltów. Oznaczone klasy obciążenia ruchem wg tab. 3.5. [badania własne ORLEN Asphalt]. Interpretacja wykresu: mniejsza wartość $J_{nr,3,2}$ = lepiej

Na podstawie wyników J_{nr} w normie AASHTO M 332, wprowadzono dodatkową klasyfikację, w której przy pomocy symboli literowych określa się, maksymalne obciążenie ruchem dla danego lepszca asfaltowego.



Rys. 3.24.

Prezentacja wyników nawrotu R przy obciążeniu 3,2 kPa w temperaturze 50°C, 60°C, 70°C, dla badanych asfaltów [badania własne ORLEN Asphalt]. Interpretacja wykresu: większa wartość R3,2 = lepiej

Przydatność asfaltu do danej kategorii obciążenia nawierzchni oceniana jest na podstawie parametru $J_{nr,3,2}$ [kPa⁻¹] oraz $J_{nr,diff}$. Klasyfikację wymagań dla badanych asfaltów przedstawiono w tabeli 3.5.

Tabela 3.5.

Klasyfikacja lepiszczy asfaltowych oraz wymagania w odniesieniu do obciążenia ruchem i jego charakterystyki wg AASHTO M 332 oraz AASHTO T 350

OZNACZENIE RUCHU (kod literowy)	OBCIĄŻENIE (liczba standardowych osi ekwiwalentnych i warunki ruchu)	WYMAGANIE DLA LEPISZCZA W GÓRNEJ TEMPERATURZE PG	
		Wymaganie dla $J_{nr, 3,2}$	Wymaganie dodatkowe dla $J_{nr, diff}$
S – standardowy (ang. <i>Standard</i>)	< 10 milionów osi (ESAL) i ruch standardowy (> 70 km/h)	≤ 4,5	≤ 75 %
H – ciężki (ang. <i>Heavy</i>)	10-30 milionów osi (ESAL) lub ruch powolny (20-70 km/h)	≤ 2,0	
V – bardzo ciężki (ang. <i>Very Heavy</i>)	> 30 milionów osi (ESAL) lub postój pojazdów (< 20 km/h)	≤ 1,0	
E – ekstremalnie ciężki (ang. <i>Extreme</i>)	> 30 milionów osi (ESAL) i postój pojazdów (< 20 km/h)	≤ 0,5	

*) wskaźnik wrażliwości asfaltu na zmiany naprężenia

ESAL – *Equivalent Single Axle Load* – os porównawcza w USA, o obciążeniu 80 kN (18,000 lbs) i kole bliźniaczym

W tabeli 3.6. pokazano klasyfikację lepiszczy asfaltowych po badaniu MSCR odnośnie przydatności do danej kategorii ruchu drogowego – opracowaną na podstawie danych z tabeli 3.4. oraz 3.5.

Tabela 3.6.

Klasyfikacja lepiszczy po badaniu MSCR według obciążenia ruchem, [badania własne ORLEN Asphalt]

RODZAJ ASFALTU	KOŃCOWA KLASYFIKACJA PRZYDATNOŚCI DLA RUCHU DROGOWEGO (W TEMPERATURZE BADANIA) WG. KLASYFIKACJI PG		
	TEMPERATURA 50°C	TEMPERATURA 60°C	TEMPERATURA 70°C
Drogowy 20/30	E	E	E
Drogowy 35/50	E	E	V
Drogowy 50/70	E	H	S
Drogowy 70/100	V	S	-
ORBITON 25/55-60	E	E	E
ORBITON 45/80-55	E	E	V
ORBITON 45/80-65	E	E	V
ORBITON 25/55-80 HiMA	E	E	E
ORBITON 45/80-80 HiMA	E	E	E
ORBITON 65/105-80 HiMA	E	E	E

E – ruch ekstremalny (ang. *Extreme*)V – ruch bardzo ciężki (ang. *Very Heavy*)H – ruch ciężki (ang. *Heavy*)S – ruch standardowy (ang. *Standard*)* wynik $J_{nr, 3,2}$ kPa poza klasyfikacją (> 4,5)

3.4.2.4. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI W POŚREDNICH WARTOŚCIACH TEMPERATURY

Do badań właściwości w temperaturach pośrednich tzw. właściwości zmęczeniowych wykorzystuje się reometr dynamicznego ścinania DSR. Badania wykonuje się zgodnie z normą AASHTO T315.

Badanie odporności lepiszczy asfaltowych na powstawanie spękań zmęczeniowych wykonywane jest w tzw. pośredniej temperaturze eksploatacji nawierzchni, uzależnionej od rodzaju PG danego asfaltu. Próbkę asfaltów zostają wcześniej poddane starzeniu metodą RTFOT oraz PAV. Zmęczeniową temperaturę krytyczną (FCCT – *Fatigue Cracking Critical Temperature*) można interpretować jako temperaturę, od której nawierzchnia

staje się na tyle sztywna, że zachodzi ryzyko powstawania spękań zmęczeniowych. Oznacza to, że **im niższa jest temperatura FCCT, tym dłużej lepiszcze zachowuje pożądane właściwości przeciwdziałania procesom zmęczeniowym.**

Wymagania systemu *Performance Grade* wg AASHTO M 332, ograniczają sztywność lepiszcza asfaltowego, określoną jako iloczyn parametrów: $G^* \cdot \sin \delta$ do maksimum 5000 kPa (dla ruchu S) i 6000 kPa (dla ruchu H, V, E) przy częstotliwości $f=10$ rad/s.

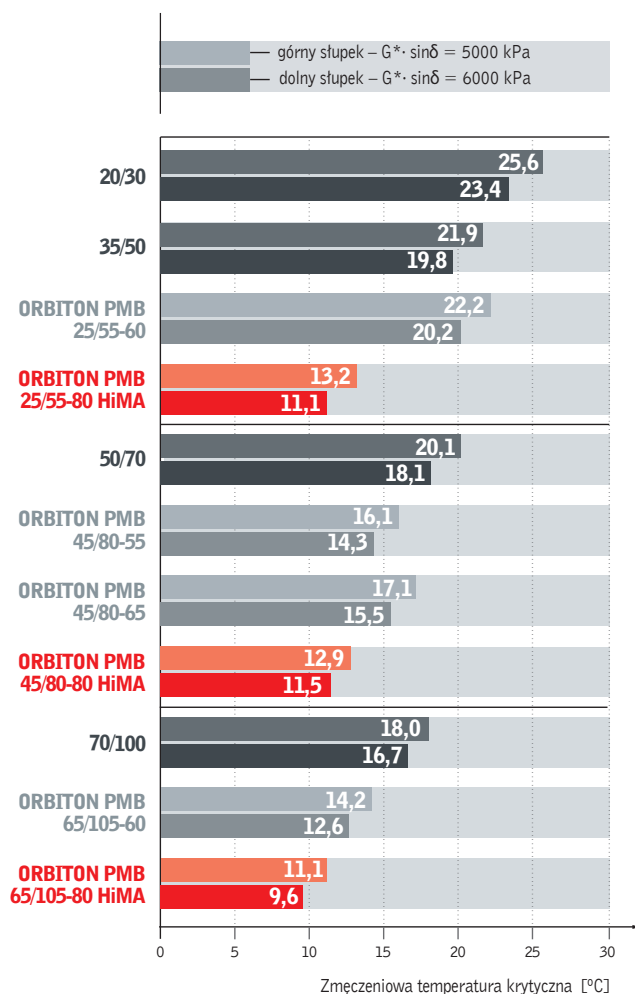
W tabeli 3.7. przedstawiono wyniki FCCT dla badanych asfaltów.

Tabela 3.7.

Wyniki badań umownej temperatury krytycznej ze względu na spękania zmęczeniowe badanych lepiszczy asfaltowych oznaczone przy $G^* \cdot \sin \delta = 5000$ kPa oraz $G^* \cdot \sin \delta = 6000$ kPa [badania własne ORLEN Asphalt]

RODZAJ ASFALTU	ZMĘCZENIOWA TEMPERATURA KRYTYCZNA – FCCT [°C]	
	$G^* \cdot \sin \delta = 5000$ kPa asfalt po starzeniu RTFOT+ PAV	$G^* \cdot \sin \delta = 6000$ kPa asfalt po starzeniu RTFOT + PAV
INTERPRETACJA	mniej = lepiej	
20/30	25,6	23,4
35/50	21,9	19,8
50/70	20,1	18,1
70/100	18,0	16,7
ORBITON 25/55-60	22,2	20,2
ORBITON 45/80-55	16,1	14,3
ORBITON 45/80-65	17,1	15,5
ORBITON 65/105-60	14,2	12,6
ORBITON 25/55-80 HiMA	13,2	11,1
ORBITON 45/80-80 HiMA	12,9	11,5
ORBITON 65/105-80 HiMA	11,1	9,6

Na rys. 3.25. przedstawiono porównanie właściwości w pośredniej temperaturze wszystkich badanych lepiszczy asfaltowych. W celu łatwiejszej analizy, asfalty pogrupowano wg zakresów penetracji.



Rys. 3.25.

Prezentacja wyników FCCT, przy $G^* \cdot \sin \delta = 5000 \text{ kPa}$ (górny słupek) oraz przy $G^* \cdot \sin \delta = 6000 \text{ kPa}$ (dolny słupek). Asfalty po starzeniu RTFOT + PAV, [badania własne ORLEN Asfalt]. Interpretacja wykresu: mniej = lepiej

Metoda sprawdzania zmęczeniowej temperatury krytycznej FCCT ma jednak charakter wyłącznie porównawczy. Udowodniono, że nie opisuje ona rzeczywistych zjawisk zmęczeniowych zachodzących w lepiszczach asfaltowych, między innymi takich jak: zmiany odkształcenia lub różny poziom częstotliwości przykładanego obciążenia [16,17]. W związku z tym na całym świecie trwają poszukiwania odpowiedniej metody, na podstawie której będzie można przewidywać właściwości zmęczeniowe lepiszczy asfaltowych. Jedną z takich metod jest badanie *Linear Amplitude Sweep Test*, opisane w rozdziale 4.

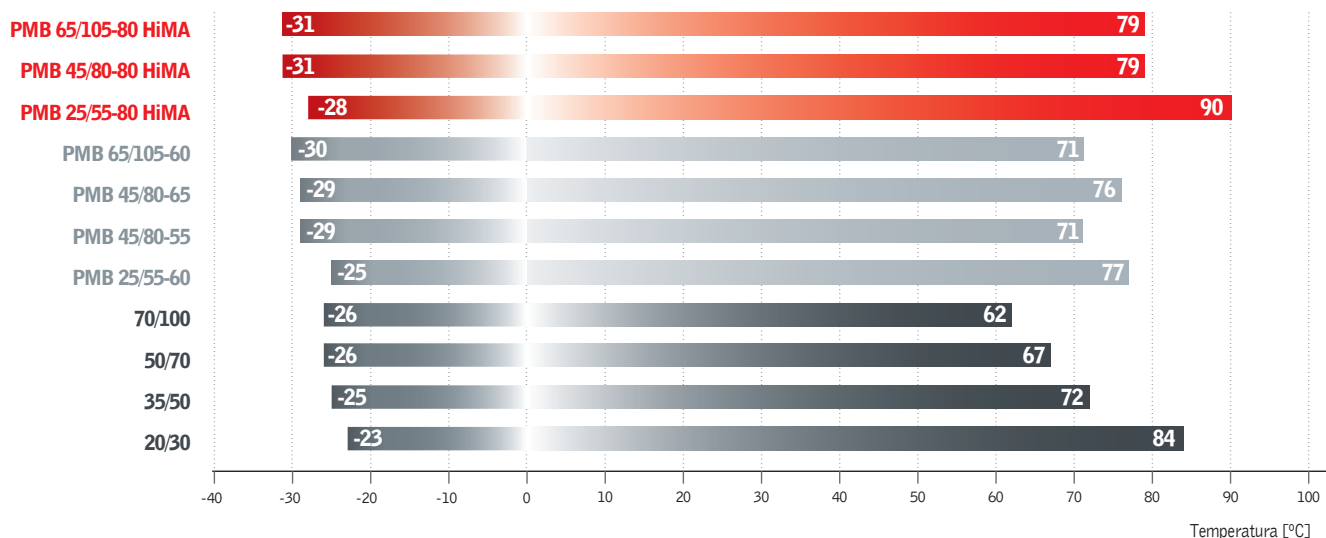
3.4.3. KLASYFIKACJA LEPISZCZY ASFALTOWYCH WG SYSTEMU *PERFORMANCE GRADE*

W tabeli 3.8. przedstawiono klasy badanych lepiszczy asfaltowych wg systemu *Performance Grade* na podstawie normy AASHTO M 320 (bez MSCR), natomiast w tabeli 3.9. klasy wg AASHTO M 332 (z uwzględnieniem MSCR).

Tabela 3.8.

Klasyfikacja badanych asfaltów wg *Performance Grade* system AASHTO M 320 [badania własne ORLEN Asphalt]

RODZAJ ASFALTU	RZECZYWISTE <i>PERFORMANCE GRADE</i> (real, continuous PG)	<i>PERFORMANCE GRADE</i> (PG)
20/30	84-23	82-22
35/50	72-25	70-22
50/70	67-26	64-22
70/100	62-26	58-22
ORBITON 25/55-60	77-25	76-22
ORBITON 45/80-55	71-29	70-28
ORBITON 45/80-65	76-29	76-28
ORBITON 65/105-60	71-30	70-28
ORBITON 25/55-80 HiMA	90-28	88-28
ORBITON 45/80-80 HiMA	79-31	76-28
ORBITON 65/105-80 HiMA	79-31	76-28



Rys. 3.26.

Graficzna prezentacja klasyfikacji lepiszczy asfaltowych – rzeczywiste PG wg AASHTO M 320 [badania własne ORLEN Asphalt]

Tabela 3.9.Klasyfikacja badanych asfaltów wg *Performance Grade* system AASHTO M 332 [badania własne ORLEN Asphalt]

RODZAJ ASFALTU	PERFORMANCE GRADE	ASFALTY SPEŁNIAJĄCE WYMAGANIA AASHTO M 332 W ZAKRESIE UCT ODPOWIADAJĄCEJ POLSKIM WARUNKOM KLIMATYCZNYM
20/30	82-22	50E-22, 60E-22, 70E-22
35/50	70-22	50E-22, 60E-22, 70V-22
50/70	64-22	50E-22, 60H-22, 70S-22
70/100	58-22	50V-22, 60S-22
ORBITON 25/55-60	76-22	50E-22, 60E-22, 70E-22
ORBITON 45/80-55	70-28	50E-28, 60E-28, 70V-28
ORBITON 45/80-65	76-28	50E-28, 60E-28, 70V-28
ORBITON 25/55-80 HiMA	88-28	50E-28, 60E-28, 70E-28
ORBITON 45/80-80 HiMA	76-28	50E-28, 60E-28, 70E-28
ORBITON 65/105-80 HiMA	76-28	50E-28, 60E-28, 70E-28

Przedstawiona w tabeli 3.9. paleta dostępnych lepiszczy asfaltowych z oferty Grupy ORLEN została określona na podstawie wymagań AASHTO M 332, w oparciu o zestaw wymagań uzupełniony o wyniki testu MSCR (tabela 3.6.). Kolumna *Performance Grade* reprezentuje nominalny zakres temperaturowy zastosowania danego lepiszcza, ustalony na podstawie dolnej (LCT) i górnej (UCT) temperatury krytycznej. W kolejnej kolumnie wymieniono dostępne lepiszcza w odniesieniu do warunków klimatycznych Polski, przy czym przyjęto, że zakres maksymalnej temperatury nawierzchni wynosi od 50°C do 70°C. Dla tego zakresu dopasowano lepiszcza podając ich PG uzupełnione o klasyfikację ruchu (S, H, V, E – na podstawie danych z tabeli 3.6.).

Oznacza to, że np. asfalt drogowy 50/70 w temperaturze nawierzchni do umownych +60°C jest odpowiedni do ruchu H (ciężkiego), ale jeżeli temperatura nawierzchni wzrośnie ponad +60°C to znajduje on zastosowanie już tylko do ruchu S (standardowego).

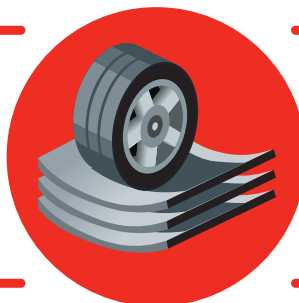
Dla zakresu temperatury nawierzchni od +50°C ÷ +60°C do ruchu E (ekstremalnego) może być zastosowanych większość asfaltów modyfikowanych. Spośród wszystkich przebadanych lepiszczy tylko asfalty wysokomodyfikowane ORBITON HiMA spełniają wymagania wobec ruchu E (ekstremalnego) w całym zakresie temperatury +50°C ÷ +70°C.

4. WŁAŚCIWOŚCI ZMĘCZENIOWE LEPISZCZY ASFALTOWYCH

Zjawisko zmęczenia jest jednym z głównych czynników wpływających na trwałość nawierzchni asfaltowych. Zależy ono od bardzo wielu czynników, między innymi takich jak skład i właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej oraz właściwości zastosowanego lepiszcza asfaltowego [1].

Badania zmęczeniowe mieszanek mineralno-asfaltowych są znormalizowane i opisane w normie PN-EN 12697-24, z kolei odporność na niszczenie zmęczeniowe lepiszczy asfaltowych można badać przy użyciu reometru dynamicznego ścinania (DSR). W niniejszym rozdziale zostaną omówione najnowsze wyniki badań zmęczeniowych lepiszczy asfaltowych przeprowadzone przez ORLEN Asphalt.

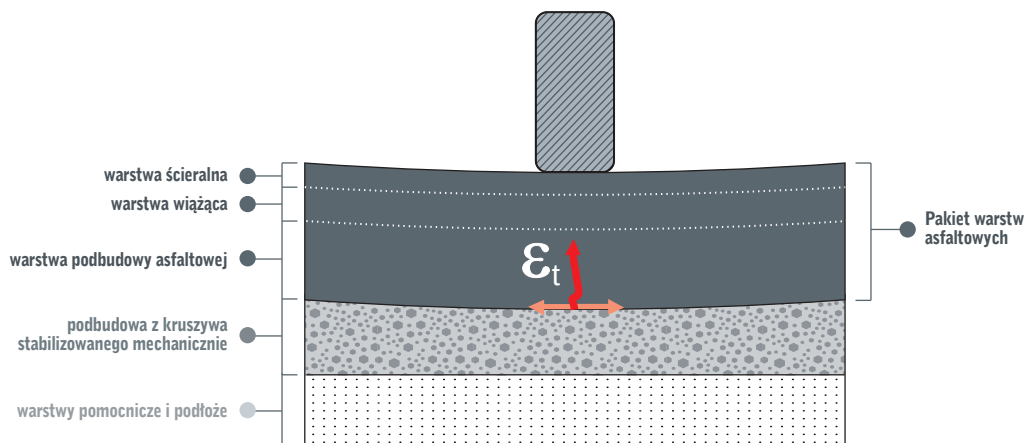
4.1. ZJAWISKO ZMĘCZENIA NAWIERZCHNI ASFALTOWEJ



Zjawisko zmęczenia nawierzchni asfaltowych jest jednym z kluczowych aspektów projektowania konstrukcji nawierzchni. Jest ono istotne nie tylko dla trwałości całej nawierzchni, liczonej w latach, ale także dla kosztów budowy i utrzymania dróg.

Klasyczny układ konstrukcji nawierzchni asfaltowej składa się z pakietu warstw asfaltowych (zwykle 2 ÷ 3, sporadycznie z 1): warstwy ścieralnej, wiążącej i podbudowy asfaltowej, leżących na podbudowie niezwiązanej z kruszywa lub związanej spoiwami hydraulicznymi, kolejnych warstwach dolnych oraz

przygotowanych warstwach podłoża gruntowego. W momencie obciążenia kołem pojazdu, następuje ugięcie całej konstrukcji, a w najniższej leżącej warstwie związanej lepiszczem asfaltowym występuje największa wartość odkształceń rozciągających (rys. 4.1.). Odkształcenia rozciągające w spodzie ostatniej, dolnej warstwy asfaltowej (zwykle podbudowy asfaltowej) uznawane są za odkształcenia krytyczne – ϵ_t , determinujące trwałość zmęczeniową całej konstrukcji nawierzchni. Nie bez znaczenia jest więc rodzaj lepiszcza asfaltowego jaki zostanie zastosowany w tej ostatniej warstwie.

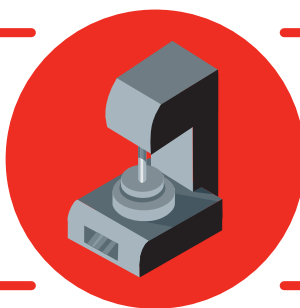


Rys. 4.1. Układ warstw obciążonej nawierzchni podatnej i miejsce powstawania krytycznych odkształceń rozciągających [rys. własny]

Zmęczenie nawierzchni asfaltowej jest spowodowane kumulacją jednostkowych odkształceń wywołanych poprzez obciążenia pochodzące od kół przejeżdżających pojazdów. Pojedyncze odkształcenie nie powoduje inicjacji pęknięcia w nawierzchni asfaltowej, dopiero skumulowanie bardzo wielu cykli obciążenia powoduje narastanie tzw. szkody zmęczeniowej w mieszance mineralno-asfaltowej, w końcu inicjację pęknięcia oraz rozpoczęcie procesu degradacji nawierzchni [3]. Pęknięcia zmęczeniowe mogą występować w obrębie lepiszcza asfaltowego lub na granicy faz asfalt-kruszywo [2].

Jest oczywiste, że im większe odkształcenia rozciągające powstają w zginanej nawierzchni, tym mniejsza liczba cykli obciążenia jest potrzebna do inicjacji pęknięcia podbudowy asfaltowej. Podczas projektowania konstrukcji nawierzchni, grubości warstw i charakterystyki materiałów dobiera się w taki sposób, aby występujące ugięcia były odpowiednio małe, co przekłada się na mniejsze krytyczne odkształcenia rozciągające i zarazem większą liczbę osi (liczbę ugięć), które może przenieść nawierzchnia w założonym okresie czasu. W ten właśnie sposób wymiaruje się układ warstwowy konstrukcji nawierzchni, aby zagwarantować wymagany okres eksploatacji podany w przepisach technicznych (zwykle 20 lub 30 lat).

4.2. BADANIA ZMĘCZENIOWE LEPISZCZY ASFALTOWYCH



W literaturze opisano wiele testów z wykorzystaniem reometru dynamicznego ścinania DSR, które mogą służyć do badania

trwałości zmęczeniowej lepiszczy asfaltowych. Poniżej przedstawiono opis kilku najpopularniejszych z nich.

4.2.1. ZMĘCZENIOWA TEMPERATURA KRYTYCZNA FCCT

Obecnie najbardziej znaną metodą badania trwałości zmęczeniowej lepiszczy asfaltowych jest metoda wyznaczania zmęczeniowej temperatury krytycznej FCCT (*Fatigue Cracking Critical Temperature*).

Badanie FCCT zostało opracowane w Stanach Zjednoczonych w ramach prac nad systemem *Superpave*. Wykorzystuje ono parametr $|G^*| \sin \delta$ do ilościowego określania wytrzymałości zmęczeniowej lepiszczy asfaltowych. Badanie wykonywane jest zgodnie z normą AASHTO T315, na próbkach starzonych w RTFOT i PAV, w tzw. pośredniej temperaturze eksploatacji nawierzchni, uzależnionej od rodzaju PG danego asfaltu. Test wykonuje się w DSR przy bardzo małej amplitudzie odkształcenia (1%), przy częstotliwości $f=10$ [rad/sec]. Zmęczeniową temperaturę krytyczną FCCT można interpretować jako temperaturę, od której nawierzchnia staje się na tyle sztywna, że zachodzi ryzyko

powstawania pęknięć zmęczeniowych. Oznacza to, że im niższa jest temperatura FCCT, tym dłużej lepiszcze zachowuje pożądane właściwości odnośnie przeciwdziałania procesom zmęczeniowym.

Wymagania systemu *Performance Grade* wg AASHTO M 332, ograniczają sztywność lepiszcza asfaltowego, określoną jako iloczyn parametrów $|G^*| \sin \delta$ do maksimum 5000 kPa (dla ruchu Standard) i 6000 kPa (dla ruchu: Heavy, Very heavy, Extreme).

Główną wadą testu FCCT jest to, że nie opisuje on rzeczywistych zjawisk zmęczeniowych zachodzących w lepiszczach asfaltowych, między innymi takich jak: zmieniające się odkształcenia czy różny poziom częstotliwości przykładanego obciążenia [4,5]. Bardziej szczegółowe informacje na temat metody FCCT, jak również wyniki badań można znaleźć w rozdziale 3 (zob. pkt. 3.4.2.4.).

4.2.2. TEST *TIME SWEEP*

Inną, szeroko stosowaną metodą pozwalającą na określenie właściwości zmęczeniowych lepiszczy asfaltowych jest test *time sweep*, który przeprowadza się również przy użyciu reometru dynamicznego ścinania (DSR).

Metoda badania *time sweep* polega na zastosowaniu cyklicznego obciążenia próbki lepiszcza asfaltowego przy stałej częstotliwości – z reguły 10 Hz oraz zmiennej amplitudzie odkształcenia.

Test *time sweep* został opracowany w ramach projektu *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP) [4], w celu poprawy metodyki badania trwałości zmęczeniowej opisanej w normie AASHTO T315.

Zaletą testu *time sweep* jest dowolność wyboru amplitudy odkształcenia, co pozwala między innymi na uwzględnienie struktury danej nawierzchni oraz występującego na niej obciążenia ruchem.

4.2.3. TEST LINIOWEGO PRZEMIATANIA AMPLITUDĄ (*LINEAR AMPLITUDE SWEEP TEST*)

Ze względu na ciągłą dyskusję w środowisku naukowym odnośnie adekwatności stosowania wyżej opisanych metod, w USA trwały prace mające na celu opracowanie nowej metody badania trwałości zmęczeniowej lepiszczy asfaltowych.

Wynikiem tych prac jest metoda opisana w normie AASHTO TP 101-14 - *Estimating Damage Tolerance of Asphalt Binders Using the Linear Amplitude Sweep* (w skrócie: LAS).

Test LAS wykonuje się przy użyciu reometru dynamicznego ścinania. Polega on na cyklicznym obciążaniu badanej próbki ze stałą częstotliwością i stopniowo zwiększającą się amplitudą, w celu wywołania uszkodzeń zmęczeniowych w próbce, w przyspieszonym tempie.

Badanie LAS rozpoczyna się od 100 cykli początkowych obciążenia sinusoidalnego przy amplitudzie 0,1% i częstotliwości 10 Hz. Częstotliwość 10 Hz pozostaje niezmienna podczas całego testu. Amplituda wzrasta z krokiem co 1%, aż do osiągnięcia poziomu 30%. Każdy poziom zwiększania amplitudy zawiera 100 cykli obciążających próbkę, przez co sumarycznie badany materiał jest poddawany 3100 cyklom obciążeniowym.

Jako wynik badania rejestruje się zespolony moduł sztywności $|G^*|$, kąt przesunięcia fazowego δ , naprężenia występujące w próbce oraz towarzyszące im odkształcenia. Trwałość zmęczeniowa określona jako N_f obliczana jest przy poziomie odkształcenia próbki, który odpowiada maksymalnej wartości występującego naprężenia [6,8].

Norma AASHTO TP101-14 zakłada, że można wybrać teoretycznie dowolną wartość odkształcenia γ_{max} i monitorować jego wpływ na wartość N_f . Ponieważ jednak wykazano, że odkształcenia występujące w lepiszczu asfaltowym są około 50 razy większe niż poziom odkształceń działających w mieszance mineralno-asfaltowej, zaleca się obliczanie parametru zmęczenia N_f dla dwóch poziomów odkształcenia: $\gamma=2,5\%$ oraz $\gamma=5,0\%$ [9].

Test LAS należy wykonać w temperaturze pośredniej, określonej zgodnie z rodzajem funkcjonalnym PG danego asfaltu. Próbkę do badań można poddać starzeniu metodą RTFOT lub RTFOT+PAV.

4.3. PROGRAM BADAŃ



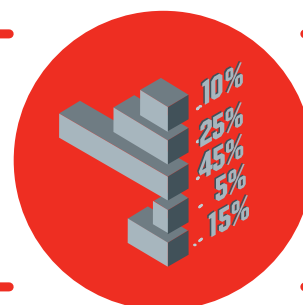
W programie badawczym przeprowadzonym przez Biuro Badań, Rozwoju i Innowacji ORLEN Asphalt w 2019 roku, do badań właściwości zmęczeniowych wykorzystano następujące rodzaje asfaltów:

- Asfalty drogowe:
35/50, 50/70,
- Asfalty modyfikowane polimerami:
ORBITON 25/55-60, ORBITON 45/80-55,

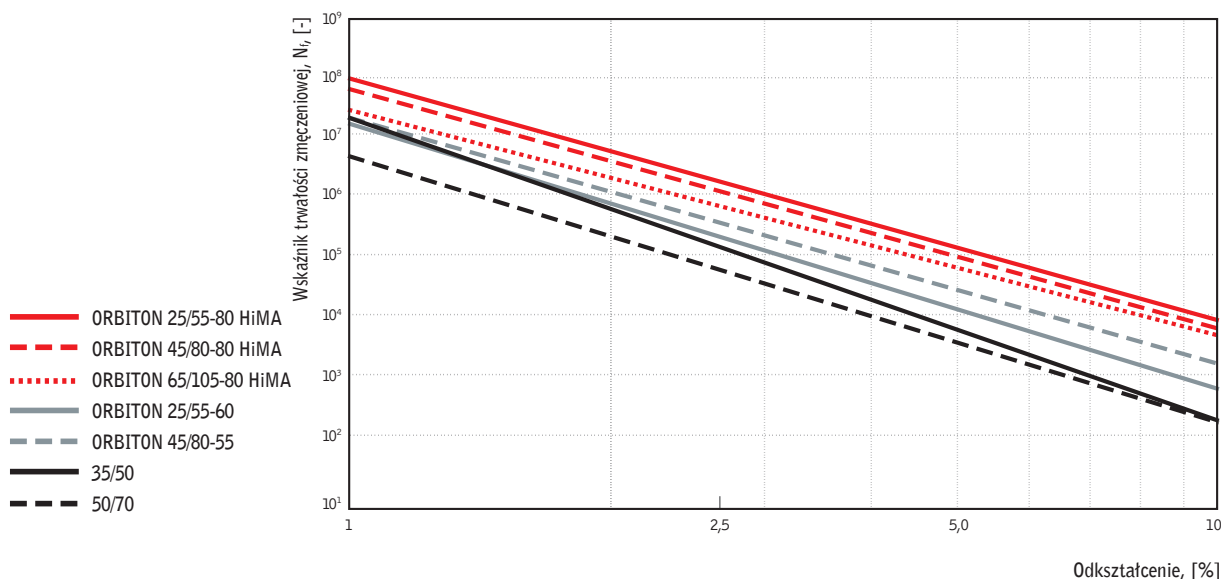
- Asfalty wysokomodyfikowane polimerami:
ORBITON 25/55-80 HiMA, ORBITON 45/80-80 HiMA,
ORBITON 65/105-80 HiMA.

Badania według metodologii LAS w temperaturze 10°C, na próbkach starzonych w RTFOT wykonano w Centrum Badawczo-Rozwojowym UniCRE w Czechach.

4.4. WYNIKI BADAŃ



W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano charakterystyki zmęczeniowe badanych lepischer asfaltowych, rys. 4.2. Wartość parametru N_f obliczono przy dwóch rekomendowanych poziomach odkształcenia: $\gamma=2,5\%$ oraz $\gamma=5,0\%$



Rys. 4.2.

Porównanie charakterystyk zmęczeniowych badanych lepischer asfaltowych, próbki po RTFOT, temperatura badania 10°C, [Źródło: badania własne ORLEN Asphalt]

Porównując krzywe zmęczeniowe badanych lepiszczy asfaltowych można zauważyć, że najlepszymi właściwościami zmęczeniowymi zarówno przy odkształceniu $\gamma=2,5\%$, jak i $\gamma=5,0\%$, charakteryzują się asfalty wysokomodyfikowane ORBITON HiMA. Zasadniczą rolę w takim zachowaniu lepiszczy HiMA odgrywa przewaga fazy polimerowej nad asfaltową i ciągłość sieci elastomerowej, która zasadniczo wzmacnia wytrzymałość tych lepiszczy na rozciąganie i w konsekwencji – zwiększa wytrzymałość zmęczeniową.

Zgodnie z oczekiwaniami, najsłabsze właściwości zmęczeniowe wykazują asfalty drogowe. Asfalty modyfikowane standardową ilością polimeru SBS charakteryzują się właściwościami pośrednimi.

Naukowcy z USA [11] zaproponowali włączenie wyników trwałości zmęczeniowej uzyskanych w badaniu metodą LAS jako dodatkowej właściwości klasyfikacyjnej lepiszczy asfaltowych

w systemie *Performance Grade*. Zaproponowali oni podział otrzymanych wyników w odniesieniu do grubości warstwy z mieszanki mineralno-asfaltowej, w której ma zostać zastosowane dane lepiszcze [11]. Na podstawie przeprowadzonych badań, stwierdzono, że:

- odkształcenie $\gamma=2,5\%$ - odpowiada nawierzchni asfaltowej o grubości $> 10\text{cm}$, tzw. *strong pavements*,
- odkształcenie $\gamma=5,0\%$ - odpowiada nawierzchni asfaltowej o grubości $< 10\text{cm}$, tzw. *weak pavements*.

Kolokwialnie rzecz ujmując, w Polsce powiedzielibyśmy, że chodzi o cienie ($\rightarrow$ weak) i normalne ($\rightarrow$ strong) pakiety warstw asfaltowych, czyli nominalnie wg Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych z 2014 są to KR1 i KR2-KR7.

Podsumowanie wymagań trwałości zmęczeniowej wg testu LAS w odniesieniu do obciążenia ruchem zawiera tabela 4.1.

Tabela 4.1.

Dodatkowa klasyfikacja lepiszczy asfaltowych oraz wymagania w odniesieniu do obciążenia ruchem i jego charakterystyki, w oparciu o test LAS [32]

OZNACZENIE RUCHU (kod literowy)	WYMAGANIE DLA LEPISZCZA W TEMPERATURZE BADANIA, WG TESTU LAS, AASHTO TP 101-14	
	N_f przy odkształceniu 2,5% dla warstw asfaltowych $> 10\text{ cm}$	N_f przy odkształceniu 5,0% dla warstw asfaltowych $< 10\text{ cm}$
S – standardowy	$> 15\ 000$	$> 15\ 000$
H – ciężki	$> 19\ 000$	$> 19\ 000$
V – bardzo ciężki E – ekstremalnie ciężki	$> 31\ 000$	$> 31\ 000$

W tabeli 4.2. przedstawiono klasyfikację zbadanych lepiszczy asfaltowych w odniesieniu ich przydatności do danej kategorii ruchu drogowego, opracowaną na podstawie danych z tabeli 4.1.

Tabela 4.2.

Klasyfikacja lepiszczy po badaniu LAS według obciążenia ruchem, [badania własne ORLEN Asphalt]

RODZAJ ASFALTU	KOŃCOWA KLASYFIKACJA PRZYDATNOŚCI DLA RUCHU DROGOWEGO WG KLASYFIKACJI PG, TEMPERATURA 10°C, PRÓBKİ PO RTFOT	
	N_f przy odkształceniu 2,5% dla warstw asfaltowych $> 10\text{ cm}$	N_f przy odkształceniu 5,0% dla warstw asfaltowych $< 10\text{ cm}$
Drogowy 35/50	V/E	•
Drogowy 50/70	V/E	•
ORBITON 25/55-60	V/E	•
ORBITON 45/80-55	V/E	H
ORBITON 25/55-80 HiMA	V/E	V/E
ORBITON 45/80-80 HiMA	V/E	V/E
ORBITON 65/105-80 HiMA	V/E	V/E

E – ruch ekstremalny (ang. *Extreme*); V – ruch bardzo ciężki (ang. *Very Heavy*); H – ruch ciężki (ang. *Heavy*); S – ruch standardowy (ang. *Standard*)
• wynik poza klasyfikacją

Analizując dane z tabeli 4.2. można stwierdzić, że w przypadku nawierzchni, w których grubość pakietu warstw z mieszanki mineralno-asfaltowej przekracza 10 cm (kryterium N_f dla odkształcenia $\gamma=2,5\%$) – badane asfalty spełniają założone kryteria dla ruchu bardzo ciężkiego oraz ekstremalnego. Jest to raczej oczywiste, ponieważ grube nawierzchnie są nawierzchniami o dobrej nośności i trwałości zmęczeniowej. Także asfalty drogowe, najłabsze zmęczeniowo, wykazują dobre wyniki w tak sformułowanych warunkach obciążenia.

W przypadku nawierzchni, w których grubość warstwy z mieszanki mineralno-asfaltowej nie przekracza 10 cm (kryterium N_f dla odkształcenia $\gamma=5,0\%$), a więc w przypadku dużych ugięć i dużego odkształcenia krytycznego, tylko asfalty z dodatkiem polimerów są w stanie wytrzymać takie obciążenie. Są to albo klasyczny asfalt modyfikowany

ORBITON 45/80-55 o średniej twardości, albo wszystkie asfalty wysokomodyfikowane ORBITON HiMA, które spełniają kryteria dla ruchu ekstremalnego. Warto zauważyć, że asfalt modyfikowany ORBITON 25/55-60 (twardy) nie spełnił warunków, ponieważ w tak cienkiej warstwie asfaltowej liczy się podatność i elastyczność, a to jest właściwość lepiszczy bardziej miękkich. Zależność ta nie wystąpiła w przypadku asfaltów wysokomodyfikowanych HiMA, które ze względu na odwróconą fazę zachowują elastyczność i podatność nawet przy niższej penetracji.

Potwierdza to wyniki uzyskiwane na torze doświadczalnym NCAT *Pavement Test Track* w USA, w których wykazano, że nawierzchnia o zmniejszonej grubości zaprojektowana z zastosowaniem asfaltu wysokomodyfikowanego HiMA jest odporna na pękanie zmęczeniowe [12, 13].

4.5. WNIOSKI



- Test liniowego przemiatania amplitudą (LAS) jest praktyczną metodą oceny trwałości zmęczeniowej lepiszczy asfaltowych. Dzięki tej metodzie możliwe jest oszacowanie złożonego zachowania lepiszczy asfaltowych w szerokim zakresie przykładanego obciążenia (amplitudy).
- Z przedstawionych wyników badań jednoznacznie można wywnioskować, że najlepszą trwałością zmęczeniową charakteryzują się asfalty wysokomodyfikowane polimerami ORBITON HiMA. Zgodnie z oczekiwaniami, najłabsze właściwości zmęczeniowe wykazują asfalty drogowe. Asfalty modyfikowane klasyczne charakteryzują się właściwościami pośrednimi.
- Wyniki testu LAS dla lepiszczy asfaltowych pokrywają się z wynikami uzyskanymi w badaniach porównawczych ORLEN Asfalt dla mieszanek mineralno-asfaltowych. Kolejność grup lepiszczy pozostała taka sama, od najlepszych HiMA przez klasyczne PMB do asfaltów drogowych niemodyfikowanych [3, 24].

5. | TECHNOLOGIA STOSOWANIA ASFALTÓW

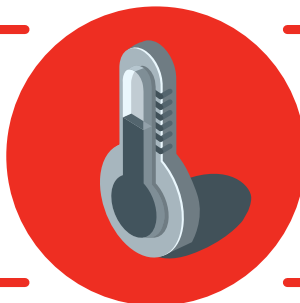
Lepiszczta asfaltowe są materiałem termoplastycznym czyli zmieniają swoją konsystencję wraz ze zmianami temperatury. Poprawne stosowanie asfaltów wymaga przede wszystkim wiedzy na temat optymalnej temperatury podczas całego procesu technologicznego, począwszy od dostawy asfaltu z rafinerii aż do wbudowania go w nawierzchnię drogową.

W następnych punktach niniejszego rozdziału, przedstawiono szereg ważnych informacji związanych między innymi

z temperaturą technologiczną stosowania asfaltów, prawidłowym postępowaniem z próbkami, czy sposobem magazynowania lepiszczy w zbiornikach. Należy zwrócić uwagę, że występują duże różnice między sposobem postępowania dotyczącym asfaltów drogowych (niemodyfikowanych), asfaltów modyfikowanych polimerami oraz asfaltów wysokomodyfikowanych.

Wszystkie przedstawione wskazówki dotyczą asfaltów wyprodukowanych w Grupie ORLEN i dostarczanych przez ORLEN Asfalt.

5.1. TEMPERATURY TECHNOLOGICZNE



Temperatury technologiczne, to zestaw trzech podstawowych wartości:

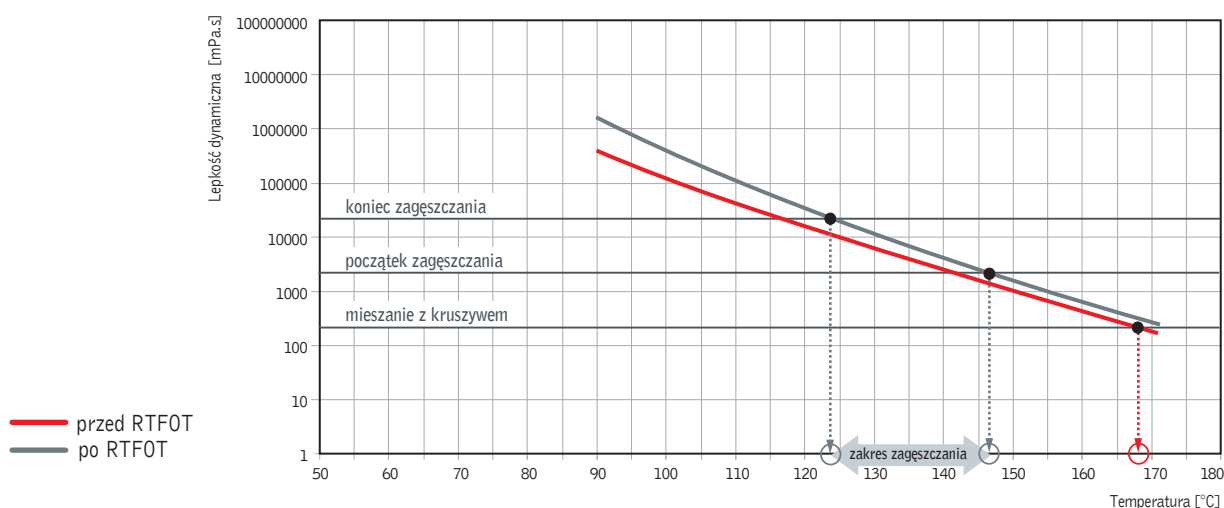
- **temperatura pompowania** – jest to temperatura, która określa dolną granicę pompowalności lepiszcza z autocystry do zbiornika na otaczarni; problemy z pompowaniem mogą pojawić się w przypadku, gdy dostarczony asfalt charakteryzuje się zbyt dużą lepkością i pojawiają się kłopoty z jego wyłoczeniem;
- **temperatura otaczania kruszywa** – jest to kluczowa informacja dla obsługi otaczarni, w celu skutecznego pokrycia ziaren kruszywa warstwą lepiszcza asfaltowego temperatura otaczania kruszywa (czyli produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej) nie może być ani za wysoka, ani za niska;
 - zbyt wysoka temperatura może spowodować zbyt niską lepkość lepiszcza i duże ryzyko jego spłynięcia z ziaren kruszywa oraz ryzyko „przepalenia” i nadmiernego starzenia,
 - zbyt niska temperatura może spowodować niejednorodne pokrycie ziaren kruszywa asfaltem, co może przełożyć się
- na pogorszoną jakość mieszanki mineralno-asfaltowej i np. zwiększy jej podatność na działanie wody i mrozu,
- **temperatura początku i końca zagęszczania** – temperatury zagęszczania są informacjami kluczowymi dla zespołu wbudowującego mieszankę mineralno-asfaltową; na tym etapie lepiszcze asfaltowe działa jako tzw. smar czyli musi zapewniać odpowiednią urabialność, lub inaczej poślizg pomiędzy ziarnami kruszywa, tak aby ułatwić ich poprawne przemieszczanie się w rozkładarce i ułożenie pod walcem;
 - zbyt wysoka temperatura lepiszcza asfaltowego może spowodować segregację mieszanki (rozdzielenie składników), ponieważ lepkość lepiszcza nie będzie zapewniać odpowiedniego „przytrzymania” ziaren (kohezji mieszanki),
 - zbyt niska temperatura lepiszcza jest równoznaczna z jego większą sztywnością, a efektem tego może być utrudnione przesuwanie się ziaren w mieszance i kłopoty z jej zagęszczaniem.

5.1.1. TEMPERATURY TECHNOLOGICZNE ASFALTÓW DROGOWYCH

Asfalty drogowe są lepiszczami relatywnie prostymi do oceny, ze względu na to, że w wysokiej temperaturze są cieczami Newtonowskimi, dla których lepkość nie zależy od prędkości ścinania.

Najprostszym i najdłużej stosowanym sposobem określania temperatury technologicznej dla asfaltów drogowych jest

zastosowanie metody równoważnych lepkości. Przyjmując odpowiednie wartości lepkości dla każdego procesu technologicznego opisanego w pkt 5.1. można na podstawie zależności lepkość-temperatura określić właściwy przedział temperatury, w którym dane lepiszcze będzie charakteryzowało się pożądanymi właściwościami – przykład przedstawiono na rys. 5.1.



Rys. 5.1.

Graficzna prezentacja interpretacji zakresów temperatury technologicznej dla asfaltów drogowych wg równoważnych lepkości [rys. własny ORLEN Asfalt]

Stosowane wartości graniczne lepkości dynamicznej do ustalania temperatury technologicznej asfaltów drogowych różnią się w dokumentach technicznych. W tabeli 5.1. przedstawiono zakresy lepkości dla temperatur technologicznych wg danych

z Shell [1], *Superpave* [2] oraz stosowane przez ORLEN Asfalt.

Krzywe zależności lepkość-temperatura dla każdego asfaltu drogowego zostały przedstawione w rozdziale 2.

Tabela 5.1.

Zakresy lepkości wg różnych koncepcji dla asfaltów drogowych

	RÓWNOWAŻNY ZAKRES LEPKOŚCI [Pa.s]		
	SHELL BITUMEN HANDBOOK 2015 [1]	SUPERPAVE [2]	ORLEN ASFALT
Temperatura pompowania	2,0	–	2,0
Temperatura mieszania z kruszywem (produkcja mma)	0,2 (lub $T_{PIK} + 110^{\circ}\text{C}$)	$0,17 \pm 0,02$	0,2
Dolna temperatura zagęszczania	30,0 (lub $T_{PIK} + 50^{\circ}\text{C}$)	$0,28 \pm 0,03$	20,0 (po RTFOT) *
Górna temperatura zagęszczania	5,0		2,0 (po RTFOT) *

* wyjaśnienie umieszczone w p. 5.1.3

5.1.2. TEMPERATURY TECHNOLOGICZNE ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH

W przypadku ustalania zakresów temperatur technologicznych dla asfaltów zawierających dodatki polimerowe (różnego typu) oraz dodatki innych substancji, sprawa staje się być bardziej skomplikowana. W tym przypadku na zmianę lepkości pod wpływem zmiany temperatury ma wpływ nie tylko charakter lepiszcza asfaltowego, ale także charakterystyka zastosowanych dodatków. Zachowanie lepiszcza modyfikowanego może więc znacząco odbiegać od typowych zależności, które funkcjonują w przypadku asfaltów drogowych. Asfalty modyfikowane, które stosujemy w Polsce, są cieczami pseudoplastycznymi, o zachowaniu nie-Newtonowskim, w których lepkość zależy od prędkości ścinania, innymi słowy są to lepiszcza rozrzedzane ścinaniem. Podczas mieszania asfaltu z kruszywem w mieszalniku otaczarki lepiszcze jest poddawane bardzo dużemu ścinaniu (podobny proces, choć w mniejszym stopniu, zachodzi również w czasie wbudowywania mieszanki), a więc temperatury technologiczne muszą zależeć od lepkości w danych warunkach ścinania.

W konsekwencji sposób ustalania temperatury technologicznej asfaltów modyfikowanych z wykorzystaniem temperatury równoważnej lepkości jest krytykowany i uznawany za nieadekwatny w przypadku lepiszczy modyfikowanych. Zauważono, że stosowanie metody równoważnej lepkości dla PMB/HiMA prowadzi do zawyżenia temperatur technologicznych, co z kolei przyczynia się do przegrzewania asfaltu na otaczarni i innych wynikających z takiego podejścia problemów [2,3].

Należy dodać, że zachowanie lepiszcza modyfikowanego nie jest zawsze takie samo, ponieważ – jak już wcześniej wspomniano – zależy ono od charakteru zastosowanego modyfikatora. Niektóre z dodatków nie wpływają na zmianę lepkości, inne ją obniżają,

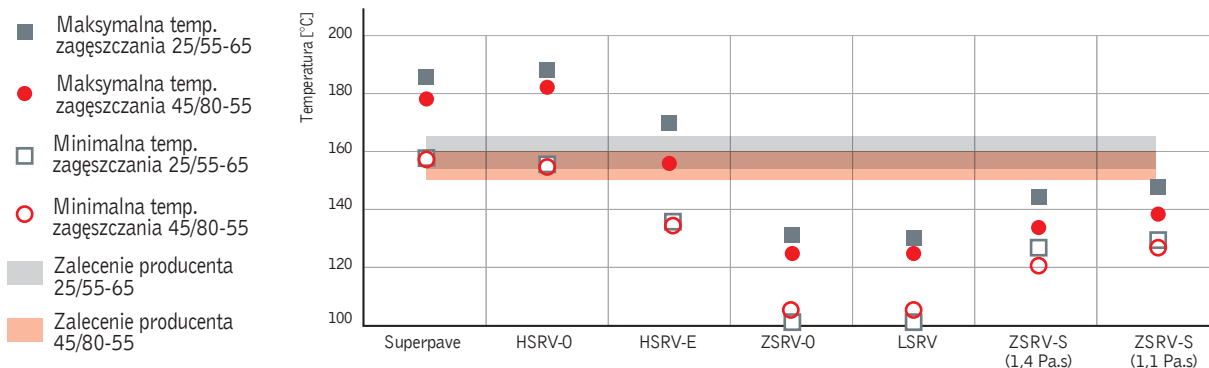
a jeszcze inne podwyższają. Ponadto, wpływ modyfikatora może nie być jednolity w zakresie temperatury 90°C ÷ 230°C.

Podsumowując, stosowanie koncepcji równoważnych lepkości do ustalania temperatur technologicznych asfaltów modyfikowanych napotyka na szereg trudności i problemów. W związku z tym od wielu lat, wraz ze zwiększaniem się popularności asfaltów modyfikowanych, prowadzono prace ukierunkowane na opracowanie odpowiedniej metody dedykowanej do tego typu lepiszczy. W ciągu ostatnich lat przetestowano kilka nowych metod [3], np.:

- *High Shear Rate Viscosity* (HRSV) w kilku wariantach,
- *Zero Shear Rate Viscosity* (ZSRV) w kilku wariantach,
- *Low Shear Rate Viscosity* (LSRV),
- *Steady Shear Flow Test* (SSFT),

wszystkie z nich wykorzystują zjawisko rozrzedzania ścinaniem do uchwycenia zmian w lepkości lub sztywności asfaltu modyfikowanego. Jednakże, również te metody generują bardzo rozbieżne wyniki, przykład analizy porównawczej dla PMB 25/55-65 oraz PMB 45/80-55 przedstawiono na rys. 5.2. (rysunek na podstawie publikacji [3]).

Podsumowując, obecne metody obliczeniowe nie pozwalają precyzyjnie określić optymalnych wartości temperatury technologicznej produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej (mieszania asfaltu z kruszywem) oraz poprawnych zakresów zagęszczania. Pozostaje więc kierować się doświadczeniem uzyskanym na budowach i odcinkach testowych. Dane podane w tabelach 5.7. i 5.8. pochodzą z doświadczeń i obserwacji zdobytych w ten sposób.



Rys. 5.2.

Porównanie obliczonych wartości temperatury zagęszczania dla PMB 25/55-65 oraz PMB 45/80-55 (rysunek na podstawie [3])

5.1.3. STARZENIE ASFALTU A TEMPERATURY TECHNOLOGICZNE

Lepiszczta asfaltowe, w zależności od konsystencji, pochodzenia, rodzaju i zawartości dodatków, różnią się zakresem lepkości w zakresie temperatury $60^{\circ}\text{C} \div 200^{\circ}\text{C}$. Ponadto, wyniki lepkości uzyskane dla asfaltu wyprodukowanego w rafinerii (nie poddanego starzeniu) będą zawsze różniły się od wyników asfaltów poddanych procesowi starzenia. W wyniku starzenia asfalt utwardza się, a jego lepkość wzrasta. Symulacja tego zjawiska w laboratorium w zakresie:

- starzenia technologicznego (krótkoterminowego) odbywa się w aparacie RTFOT,
- starzenia eksploatacyjnego (długoterminowego) prowadzona jest w aparacie PAV¹, po uprzednim kondycjonowaniu w aparacie RTFOT.

Ze względu na pewien stopień utwardzenia lepiszcza, krzywa zależności lepkość-temperatura po starzeniu (RTFOT lub RTFOT+PAV) nie pokrywa się z krzywą charakterystyczną dla asfaltu niestarzonego, jest przesunięta w kierunku wyższych lepkości. Oznacza to, że właściwa temperatura technologiczna powinna być określana na podstawie badania lepkości asfaltu zarówno przed jak i po starzeniu. Interesujące nas procesy technologiczne obejmują:

- pompowanie i otaczanie kruszywa – dotyczą asfaltu niestarzonego,

- zagęszczanie mieszanki lepiszcza i kruszywa – dotyczy asfaltu starzonego krótkoterminowo (po RTFOT).

Do oznaczenia temperatury pompowania i otaczania kruszywa asfaltem należy więc stosować wyniki badań asfaltu przed starzeniem, ponieważ te procesy technologiczne następują przed kontaktem cienkiej warstwy lepiszcza z powierzchnią gorącego kruszywa (przed rozpoczęciem zasadniczego starzenia technologicznego).

Z kolei, do oznaczania temperatury początku i końca zagęszczania mieszanki mineralno-asfaltowej na budowie należy kierować się wynikami badań lepkości asfaltu po starzeniu metodą RTFOT. W procesie produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej po etapie mieszania „na mokro” składników (kruszywa i asfaltu) następuje okres przechowywania gorącej mieszanki w silosie i jej transport na budowę - zwykle ten etap trwa od kilkunastu minut do kilku godzin. Przez ten czas asfalt znajduje się na gorącym kruszywie i następuje jego starzenie – odparowanie lżejszych składników i w konsekwencji jego utwardzenie. A zatem w momencie rozpoczęcia rozkładania mieszanki i jej zagęszczania lepiszcze asfaltowe znajdujące się w mieszance jest już po starzeniu technologicznym.

5.1.4. ADEKWATNOŚĆ TEMPERATURY PRZYGOTOWANIA PRÓBEK W LABORATORIUM

Wśród omawianych wartości temperatury technologicznej, szczególną uwagę należy zwrócić na prawidłowy dobór temperatury zagęszczania próbek w laboratorium (wg metody wybranej z PN-EN 13108-20 [4]).

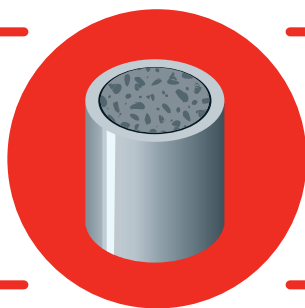
Temperatura przygotowywania próbek mieszanki mineralno-asfaltowej powinna odnosić się nie tylko do rodzaju lepiszcza, ale także do rzeczywistych warunków występujących na budowie. Przyjęcie zbyt wysokiej temperatury w laboratorium spowoduje osiągnięcie wysokich wartości gęstości objętościowej próbek mieszanek mineralno-asfaltowych i zaniżenie zawartości wolnych przestrzeni. Jeśli warunki na budowie będą znacząco różniły

się od przyjętych w laboratorium, tzn. temperatura mieszanki mineralno-asfaltowej podczas zagęszczania warstwy będzie dużo niższa, to praktycznie niemożliwe będzie osiągnięcie wymaganych wskaźników zagęszczenia warstwy, o ile bazą do obliczeń wskaźnika będą dane z Badania Typu mma. Przyjęcie zbyt niskiej temperatury w laboratorium będzie z kolei skutkowało przegęszczeniem warstwy na budowie – osiąganiem wskaźników zagęszczenia większych od 100% i zbyt małą zawartością wolnych przestrzeni w warstwie (co zwiększy ryzyko pojawienia się kolein). Dlatego też przyjęcie właściwej temperatury zagęszczania próbek na etapie projektowania mieszanki w laboratorium jest niezwykle ważne².

1) Skuteczność symulacji rzeczywistego starzenia długoterminowego asfaltów w aparacie PAV (*Pressure Ageing Vessel*) jest od jakiegoś czasu kwestionowana, szczególnie w kontekście starzenia asfaltów modyfikowanych.

2) Warto także pamiętać o pewnej nieporównywalności wyników parametrów objętościowych mma w ubijanych próbkach Marshalla z mieszanką wałowaną, wynikającą np. z innego ułożenia ziaren mieszanki mineralnej. Więcej informacji można znaleźć np. w [2].

5.2. PRÓBKII ASFALTÓW W LABORATORIUM



Sposób postępowania z próbkami asfaltów ma bardzo duży wpływ na otrzymywane wyniki badań zarówno samych asfaltów, jak i mieszanek mineralno-asfaltowych, dlatego też niezwykle ważne jest stosowanie się do podanych poniżej zasad.

Laboratoria drogowe otrzymują próbki lepiszczy asfaltowych od ORLEN Asfalt w opakowaniach metalowych (zamykanych puszkach) lub wyjątkowo – w specjalnych, małych opakowaniach tekturowych wyłożonych folią aluminiową (pojemność ok. 1 litra).

Należy pamiętać, że wielokrotnie rozgrzewana i/lub przegrzewana próbka asfaltu w suszarce może utwardzić się w dużym stopniu, przez co otrzymywane wyniki będą w znaczący sposób różniły się od wyników asfaltu niestarzonego. Dlatego też, podczas wykorzystywania próbek z lepiszczami asfaltowymi należy bezwzględnie unikać ich wielokrotnego rozgrzewania. Autorzy sugerują wykorzystywanie większej liczby małych próbek (do jednorazowego zużycia) zamiast jednego, dużego pojemnika z asfaltem.

W przypadku posiadania próbki asfaltu w jednym dużym pojemniku (np. 10 kg), zaleca się ostrożne rozgrzanie pojemnika z asfaltem pierwszy raz, **niezbędne ujednorodnienie** poprzez wymieszanie, a następnie rozlanie do kilku oznaczonych mniejszych pojemników, które będą wykorzystane w późniejszym terminie. Należy pamiętać, że pojemnik z asfaltem nie może być szczelnie zamknięty podczas rozgrzewania.

Sposób postępowania z próbkami do badań asfaltów określa norma PN-EN 12594:2014.

Rozgrzewanie próbek **asfaltów drogowych** w laboratorium wg procedury normowej:

- w żadnym przypadku próbki nie powinny być rozgrzewane w temperaturze przekraczającej 200°C,
- **pojemniki o objętości poniżej 1 litra**, czas rozgrzewania do 120 minut, temperatura rozgrzewania w suszarce: nie więcej niż 100°C ponad spodziewaną temperaturę mięknięcia asfaltu,
- **pojemniki o objętości 1÷2 litrów**, czas rozgrzewania do 3 godzin, temperatura rozgrzewania w suszarce: nie więcej niż temperatura mięknięcia asfaltu +100°C,
- **pojemniki o objętości 2÷3 litrów**, czas rozgrzewania do 3,5 godziny, temperatura rozgrzewania w suszarce: nie więcej niż temperatura mięknięcia asfaltu +100°C,
- **pojemniki o objętości 3÷5 litrów**, czas rozgrzewania do 4 godzin, temperatura rozgrzewania w suszarce: nie więcej niż temperatura mięknięcia asfaltu +100°C,
- **pojemniki o objętości większej niż 5 litrów**, czas rozgrzewania do 12 godzin, temperatura rozgrzewania w suszarce: nie więcej niż temperatura mięknięcia asfaltu +50°C, na ostatnie 2 godziny należy podnieść odpowiednio temperaturę.

W przypadku rozgrzewania próbek **klasycznych asfaltów modyfikowanych** należy zastosować procedurę przewidzianą przez dostawcę próbki. W przypadku ORLEN Asfalt rekomendowane jest ustawienie temperatury w suszarce w granicach od 160°C do 180°C, niezależnie od temperatury mięknięcia asfaltu.

W przypadku próbek **asfaltów wysokomodyfikowanych typu HiMA**, ze względu na ich szczególne właściwości, procedura nieco się różni – w tabeli 5.2. przedstawiono maksymalne temperatury rozgrzewania próbek tych asfaltów w laboratorium.

Tabela 5.2.

Temperatura rozgrzewania próbek ORBITON HiMA w laboratorium

WIELKOŚĆ PRÓBKII W POJEMNIKU	ORBITON 25/55-80 HIMA	ORBITON 45/80-80 HIMA	ORBITON 65/105-80 HIMA
Pojemnik do 1 litra pojemności, - czas rozgrzewania próbki max. 2 godziny	max. 170°C	max. 170°C	max. 170°C
Pojemnik 1 ÷ 2 litrów pojemności, - czas rozgrzewania próbki max. 3 godziny	max. 170°C	max. 170°C	max. 170°C
Pojemnik 2 ÷ 3 litrów pojemności, - czas rozgrzewania próbki max. 3,5 godziny	max. 170°C	max. 170°C	max. 170°C
Pojemnik 3 ÷ 5 litrów pojemności, - czas rozgrzewania próbki max. 4 godziny	max. 170°C	max. 170°C	max. 170°C
Pojemnik powyżej 5 litrów pojemności, - czas rozgrzewania próbki max. 8 godzin	max. 160°C	max. 150°C	max. 140°C

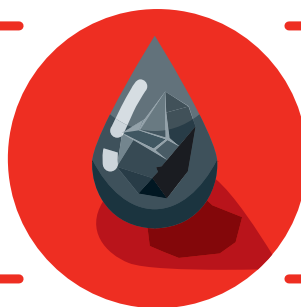
Postępowanie z próbkami po rozgrzaniu

- lepiszcza do wykonania próbek mieszanek mineralno-asfaltowych – po rozgrzaniu próbek asfaltu w pojemnikach należy je **ujednorodnić poprzez mieszanie**, pamiętając, aby nie wprowadzić pęcherzyków powietrza do próbki. Maksymalny czas mieszania (ujednorodnienia) wynosi 10 minut,
- w przypadku przeznaczenia próbek lepiszczy asfaltowych do badania ich właściwości, ORLEN Asphalt jako dostawca zaleca, zgodnie z zasadami podanymi w PN-EN 12594 p. 7.1., aby **po rozgrzaniu próbek i ich ujednorodnieniu wykonać przelew materiału przez rozgrzane sito metalowe o oczkach #0,5 mm**, w celu wyeliminowania ewentualnych zanieczyszczeń wpływających na wyniki badań.

Próbki asfaltów otrzymane w wyniku:

- wykonania ekstrakcji mieszanek mineralno-asfaltowej (wg norm PN-EN 12697-1, PN-EN 12697-2, PN-EN 12697-4), powinny być poddane badaniom natychmiast po odzyskaniu, tak aby uniknąć ich powtórnego rozgrzewania,
- badań odporności na twardnienie lub starzenie (zgodnie z PN-EN 12607-1, PN-EN 12607-2 i PN-EN 12607-3 lub PN-EN 14769 lub innej normy, która dotyczy twardnienia lub starzenia), należy przygotować i badać zgodnie z odpowiednimi metodami pobierania i badania.

5.3. PRZYPĘPNOŚĆ ASFALTU DO KRUSZYW MINERALNYCH



Przypępnosć (przyleganie) asfaltu do powierzchni ziaren kruszywa zależy od wielu czynników, w tym między innymi od rodzaju skały, z której wyprodukowano dane kruszywo. Ogólnie w technice drogowej wykorzystuje się pojęcia kruszywo „kwaśne” i „zasadowe”, co ma związek z dużą i małą zawartością

krzemionki (SiO₂) w skale. Przyjmuje się, że kruszywa „kwaśne” mają słabe powinowactwo z asfaltem i wymagają stosowania środków polepszających adhezję asfaltu. Kruszywa „zasadowe”, jak np. wapienie, charakteryzują się lepszą przypępnoscią asfaltu. Niemniej jednak wybór środka polepszającego adhezję

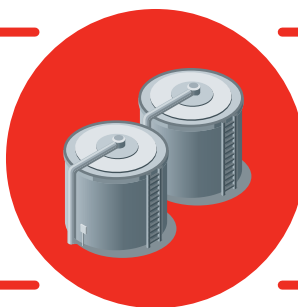
asfaltu do kruszywa wymaga każdorazowo przeprowadzenia badań sprawdzających w laboratorium, ze względu na to, że niektóre środki chemiczne pogarszają adhezję asfaltu do kruszywa. Dostępne na rynku środki adhezyjne oraz ich zawartość w asfalcie, należy odpowiednio dobierać do konkretnego lepiszcza asfaltowego i kruszywa z mieszanki mineralnej, pamiętając, że rzadko spotyka się uniwersalne produkty działające dobrze z każdą parą asfalt-kruszywo.

Obecnie do badania adhezji asfaltu do kruszywa oraz ogólnie – odporności mieszanki mineralno-asfaltowej na działanie wody i mrozu, wykorzystywane są dwie następujące normy: PN-EN 12697-11 oraz PN-EN 12697-12.

Ocenę przyczepności można przeprowadzić na wybranej frakcji mieszanki mineralnej na przykład na podstawie metod opisanych w normie PN-EN 12697-11, z których najpopularniejsza jest metoda A (metoda obracanej butelki). Przyczepność lepiszcza do kruszywa powinna wynosić co najmniej 80% po 6 godzinach rolowania.

Finalnym sprawdzeniem odporności mieszanki mineralno-asfaltowej na działanie wody i mrozu jest wskaźnik ITSR (ang. *Indirect Tensile Strength Ratio*) wg PN-EN 12697-12. Stosuje się różne wersje procedury badawczej, w zależności od dokumentu technicznego, np. WT-2 cz.1 2014 lub WTW BT MMA 2018 ZDW w Katowicach.

5.4. MAGAZYNOWANIE LEPISZCZY ASFALTOWYCH



5.4.1. UWAGI OGÓLNE

Lepiszczta asfaltowe należy magazynować w zbiornikach specjalnie do tego celu przeznaczonych.

Asfalt w zbiorniku roboczym powinien być ogrzewany w sposób pośredni, z układem termostutowania, zapewniającym utrzymanie określonej temperatury z tolerancją $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Oznacza to, że zbiornik magazynowy powinien być wyposażony w precyzyjne układy pomiarowe z lokalnym bądź zdalnym odczytem wskazań temperatury, umieszczonym w obszarze węzłownic grzewczych oraz poza tym obszarem, z możliwością łatwego demontażu w celu regularnego czyszczenia.

Według wymagań normy do Zakładowej Kontroli Produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych – PN-EN 13108-21 – temperatura asfaltu w zbiorniku, powinna być rejestrowana z częstotliwością raz dziennie.

Długotrwałe przetrzymywanie partii asfaltu w temperaturze zbliżonej do maksymalnej temperatury magazynowania, może spowodować po pewnym czasie powstawanie na dnie zbiornika osadów, złożonych z wytrąconych najcięższych frakcji asfaltu (tzw. koks). Im twardszy asfalt, tym prawdopodobieństwo tworzenia się koksu jest większe, dlatego podczas magazynowania asfaltów drogowych rodzaju 20/30 i 35/50 należy monitorować okresowo stan czystości zbiornika. Długotrwały brak oczyszczania zbiornika może spowodować po pewnym czasie przedostawanie się osadów do rur, zatykanie filtrów i blokowanie pomp.

Przechowywaniu asfaltów w zbiornikach magazynowych może towarzyszyć zjawisko starzenia powodowanego powolnym utlenianiem asfaltu oraz odparowaniem jego lżejszych składników. Proces starzenia asfaltu w zbiorniku jest procesem powolnym ponieważ powierzchnia kontaktu asfaltu z powietrzem jest niewielka. Niemniej jednak, przechowywanie niewielkich ilości asfaltu w zbiorniku w warunkach bardzo wysokiej temperatury może powodować przegrzewanie warstwy asfaltu na ścianach zbiornika lub na węzłownicach grzewczych. Powoduje to dodatkowe osadzanie koksu na dnie zbiornika

oraz pogarsza właściwości lepiszcza. Podobnie intensywne mieszanie w kontakcie z powietrzem może przyczynić się do nadmiernego starzenia lepiszcza.

Przykładowe czynniki wpływające na starzenie lepiszczy asfaltowych w zbiornikach magazynowych oraz sposoby ich ograniczania, przedstawiono w tabeli 5.3.

Szczegółowe informacje o magazynowaniu poszczególnych typów lepiszczy asfaltowych podano w kolejnych punktach rozdziału.

Tabela 5.3.

Starzenie asfaltu w zbiornikach magazynowych

PRZYCZYNY STARZENIA ASFALTU W ZBIORNIKU	CZYNNIKI OGRANICZAJĄCE STARZENIE
Długotrwałe magazynowanie asfaltu w wysokiej temperaturze	Należy unikać przechowywania asfaltu w podwyższonej temperaturze przez dłuższy okres czasu. W okresach przerw między produkcją mieszanki mineralno-asfaltowej, zaleca się obniżyć temperaturę asfaltu w zbiorniku do poziomu umożliwiającego późniejsze rozgrzanie.
Cyrkulacja asfaltu	Cyrkulacja asfaltu jest powszechnie stosowana, wykorzystuje się ją do ujednoludnienia asfaltu w zbiorniku. Jeśli asfalt magazynowany jest przez dłuższy okres, najlepiej jest ograniczyć cyrkulację lub włączać ją okresowo. Cyrkulacja jest szczególnie przydatna podczas przechowywania asfaltów modyfikowanych, jeśli zbiornik nie został wyposażony w mieszadło. Jej zastosowanie umożliwia osiągnięcie lepszej jednorodności lepiszcza po dłuższym czasie magazynowania. Wejście rurociągu powrotnego asfaltu cyrkulacyjnego do zbiornika powinno być poniżej górnej powierzchni cieczy, jaką tworzy lepiszcze w zbiorniku.
Budowa zbiornika	Najkorzystniej jest, gdy stosunek powierzchni asfaltu do jego objętości w zbiorniku jest mały. Dlatego też zbiorniki magazynowe asfaltu powinny być pionowe, gdzie stosunek wysokości do średnicy zbiornika jest duży.

5.4.2. MAGAZYNOWANIE ASFALTÓW DROGOWYCH

Magazynowanie krótkotrwałe w wysokiej temperaturze (do 10 dni)

Tabela 5.4.

Temperatury magazynowania asfaltów drogowych

LEPISZCZE ASFALTOWE	ZALECANA MAKSYMALNA TEMPERATURA KRÓTKOTRWAŁEGO MAGAZYNOWANIA (DO 10 DNI) ASFALTU, [°C]
Asfalt drogowy 20/30	≤185°C
Asfalt drogowy 35/50	≤185°C
Asfalt drogowy 50/70	≤185°C
Asfalt drogowy 70/100	≤180°C
Asfalt drogowy 100/150	≤180°C
Asfalt drogowy 160/220	≤180°C

Magazynowanie długotrwałe (powyżej 10 dni) w wysokiej temperaturze

Zaleca się unikania przechowywania asfaltów drogowych w wysokiej temperaturze przez długie okresy czasu. W przypadku konieczności magazynowania asfaltów w zbiorniku w wysokiej temperaturze (powyżej 150°C) przez ponad 10 dni zaleca się przeprowadzenie kontroli stopnia starzenia lepiszcza przed użyciem asfaltu do produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej.

Należy zbadać:

- penetrację w 25°C wg PN-EN 1426,
- temperaturę mięknięcia wg PN-EN 1427.

W przypadku nadmiernego zestarzenia lepiszcza należy rozpocząć proces kontrolowanego utylizowania produktu, zgodnie z procedurą ZKP wg normy PN-EN 13108-21.

W normalnym trybie przechowywania przez dłuższy czas (>10 dni) temperatura asfaltu powinna zostać obniżona poniżej 150°C.

Magazynowanie długotrwałe (powyżej 10 dni) w obniżonej temperaturze

W przypadku konieczności magazynowania asfaltów drogowych w znacznie dłuższym okresie czasu niż 10 dni zaleca się obniżenie temperatury asfaltu do zakresu 80°C ÷ 100°C i rozgrzanie go przed ponownym użyciem.

W przypadku planowanego bardzo długiego okresu przechowywania bez produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej dopuszczalne jest przechowywanie asfaltów drogowych w temperaturze otoczenia. Warunkiem takiego przechowywania jest wyposażenie zbiornika do magazynowania w odpowiedniej mocy urządzenia grzewcze gwarantujące późniejsze rozgrzanie, bez ryzyka miejscowego przepalenia lepiszcza podczas długotrwałego rozgrzewania.

Przed użyciem asfaltu do produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej, należy wykonać co najmniej badania podane powyżej. W takim przypadku należy wziąć pod uwagę możliwość bezpiecznego pobrania próbek asfaltu do badań z instalacji (np. poprzez dedykowane zawory).

5.4.3. MAGAZYNOWANIE ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH POLIMERAMI

Magazynowanie krótkotrwałe w wysokiej temperaturze (do 7 dni)

Tabela 5.5.

Temperatury magazynowania asfaltów modyfikowanych ORBITON

LEPISZCZE ASFALTOWE	ZALECANA TEMPERATURA MAGAZYNOWANIA ASFALTU, [°C]	OKRES PRZYDATNOŚCI ASFALTU DO PRODUKCJI mma
Asfalt modyfikowany ORBITON 10/40-65	160 ÷ 180°C	7 dni
Asfalt modyfikowany ORBITON 25/55-60	160 ÷ 180°C	7 dni
Asfalt modyfikowany ORBITON 45/80-55	160 ÷ 180°C	7 dni
Asfalt modyfikowany ORBITON 40/80-65	160 ÷ 180°C	7 dni
Asfalt modyfikowany ORBITON 65/105-60	160 ÷ 180°C	7 dni

Po upływie 5 dni zaleca się przeprowadzanie podstawowych badań kontrolnych właściwości asfaltu modyfikowanego w celu upewnienia się, że produkt nie stracił swoich właściwości na skutek utraty stabilności układu asfalt-polimer, tj. rozsegregowania składników.

Badania powinny być wykonywane po upływie 5-ciu dni magazynowania i co każde następne 2 dni (7-go dnia, 9-tego dnia itd.) lub w innych odstępach czasu w zależności od potrzeby:

- penetracja w 25°C wg PN-EN 1426,
- temperatura mięknięcia wg PN-EN 1427,
- nawrót sprężysty w 25°C wg PN-EN 13398.

Jeśli wytwórnia wyposażona jest w zbiorniki z mieszadłami należy okresowo mieszać asfalt w zbiorniku. Do tego celu można też użyć cyrkulacji.

Magazynowanie długotrwałe (powyżej 7 dni) w wysokiej temperaturze

Nie zaleca się magazynowania asfaltu modyfikowanego w okresie dłuższym niż 7 dni. W przypadku zaistnienia takiej konieczności zaleca się badać właściwości lepiszcza okresowo, np. co 2 dni (zakres badań podano obok). Pożądane jest także mieszanie asfaltu w zbiorniku co najmniej 6 godzin w ciągu doby.

Zalecana temperatura magazynowania: 130°C ÷ 160°C.

Magazynowanie długotrwałe (powyżej 7 dni) w obniżonej temperaturze

Nie zaleca się przechowywania asfaltów modyfikowanych polimerami schłodzonych do temperatury otoczenia (np. przez zimę), z powodu dużych trudności z ich upłynięciem i w konsekwencji zmianami właściwości użytkowych.

5.4.4. MAGAZYNOWANIE ASFALTÓW WYSOKOMODYFIKOWANYCH POLIMERAMI

Ze względu na szczególne właściwości asfaltów **ORBITON HIMA** zalecane jest bezpośrednie zużycie lepiszcza zaraz po jego dostarczeniu, bez zbędnego czasu przechowywania w zbiorniku.

Tabela 5.6.

Temperatury magazynowania asfaltów wysokomodyfikowanych ORBITON HiMA

LEPISZCZE ASFALTOWE	ZALECANA TEMPERATURA MAGAZYNOWANIA ASFALTU, [°C]
Asfalt wysokomodyfikowany ORBITON 25/55-80 HiMA	160 ÷ 170°C
Asfalt wysokomodyfikowany ORBITON 45/80-80 HiMA	160 ÷ 170°C
Asfalt wysokomodyfikowany ORBITON 65/105-80 HiMA	160 ÷ 170°C

Zalecana temperatura przechowywania ORBITON HiMA 160°C ÷ 170°C.

Magazynowanie długotrwałe (powyżej 3 dni) w wysokiej oraz w obniżonej temperaturze

Nie należy magazynować asfaltów wysokomodyfikowanych w okresie dłuższym niż 3 dni w wysokiej temperaturze (powyżej 170°C).

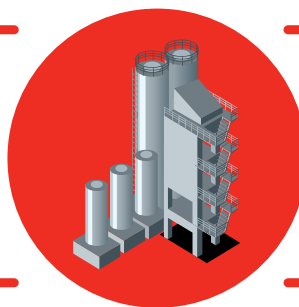
W przypadku konieczności dłuższego przechowywania zaleca się obniżenie temperatury do 160°C oraz ujednolnienie produktu poprzez okresowe mieszanie asfaltu. Wskazane jest więc, aby zbiornik wyposażony był w mieszadło. Zbyt długie przechowywanie (powyżej 3 dni) w wysokiej temperaturze (powyżej 180°C) może prowadzić do stopniowego przyrostu lepkości asfaltu wysokomodyfikowanego, ograniczając możliwości jego zastosowania.

5.4.5. INNE ZALECENIA

- W przypadku zmiany typu bądź rodzaju asfaltu w zbiorniku należy każdorazowo upewnić się, czy zbiornik magazynowy jest pusty.
- Nie należy mieszać asfaltów różnego typu, np. asfaltów drogowych z asfaltami modyfikowanymi polimerami. Takie mieszanie powoduje znaczące pogorszenie właściwości użytkowych lepiszcza i trwałość wykonanej nawierzchni.
- Mieszanie asfaltów tego samego typu, ale różnych rodzajów np. 50/70 z 70/100 odbywa się na wyłączną odpowiedzialność wykonawcy. Proces ten wymaga efektywnego systemu mieszającego w zbiorniku oraz kontroli laboratoryjnej. Nie zaleca się mieszania lepiszczy pochodzących od różnych producentów.
- Nie zaleca się wielokrotnego rozgrzewania i chłodzenia asfaltów modyfikowanych ORBITON oraz wysokomodyfikowanych ORBITON HiMA.
- Jeśli asfalt drogowy ma pozostać w zbiorniku otaczarni przez okres zimowy, należy obniżyć temperaturę w zbiorniku do temperatury otoczenia. W takich warunkach asfalt może być przechowywany przez kilka miesięcy. Należy pamiętać, że wiosną okres rozgrzewania kilkudziesięciu ton asfaltu może być dość długi i zależy od efektywności oraz budowy systemu grzewczego w zbiornikach. Po rozgrzaniu należy koniecznie zbadać właściwości lepiszcza. Uwaga – nie każdy typ i rodzaj lepiszcza można w ten sposób przechowywać – informacje powyżej.

- Temperatura asfaltów podczas magazynowania nie powinna przekraczać wartości podanych w tabelach 5.7. oraz 5.8.
- Nie należy mieszać asfaltów wysokomodyfikowanych HiMA z innymi asfaltami; takie mieszanie powoduje znaczące pogorszenie właściwości użytkowych lepiszcza oraz wpływa niekorzystnie na trwałość wykonanej nawierzchni.

5.5. PRODUKCJA MIESZANKI MINERALNO-ASFALTOWEJ



Asfalt dostarczony do wytwórni mieszanki mineralno-asfaltowej, powinien charakteryzować się odpowiednią temperaturą, aby było możliwe bezproblemowe rozładowanie go z autocysterny. Lepkość asfaltu wiąże się ściśle z jego temperaturą:

- dla asfaltów drogowych i modyfikowanych polimerami – im wyższa temperatura asfaltu tym lepkość jest mniejsza,
- dla asfaltów wysokomodyfikowanych, typu HiMA – lepkość maleje do pewnej temperatury, powyżej której zaczyna szybko wzrastać wraz z czasem przechowywania (proces szczególnie widoczny od 3 dnia magazynowania w temperaturze powyżej 180°C), dlatego też należy bezwzględnie przestrzegać wszystkich wskazówek dotyczących maksymalnej temperatury magazynowania oraz temperatur technologicznych podanych w tabeli 5.8.

W chłodnych porach roku, podczas transportu asfaltu z rafinerii należy monitorować temperaturę asfaltu w autocysternie.

Przegrzewanie mieszanki mineralno-asfaltowej podczas produkcji na otaczarni prowadzi do znacznego starzenia technologicznego asfaltu, co w konsekwencji zmniejsza trwałość nawierzchni asfaltowej. Dlatego też, nie należy przekraczać zalecanej maksymalnej temperatury produkcji, nawet w celu zapewnienia wymaganej urabialności i zagęszczalności mma na budowie.

Stosowanie zbyt gorącego lepiszcza do produkcji mma, ma również inne negatywne skutki, szczególne w przypadku produkcji mieszanek o nieciągłym uziarnieniu (SMA, BBTM, AUTL lub asfaltu porowatego PA), w których występuje zwiększone ryzyko spływania lepiszcza. Należy w takich wypadkach zastosować zwiększoną zawartość stabilizatora (np. włókien celulozowych)

oraz sprawdzić spływność metodą Schellenberga w wyższej temperaturze, wg normy PN-EN 12697-18.

Nie należy przegrzewać lepiszczy ORBITON HiMA – kierować się wskazaniami z tabeli 5.8. Podnoszenie temperatury ponad podane wartości zalecane może spowodować reakcje odwrotną – tzn. znaczne usztywnienie lepiszcza spowodowane przyrostem lepkości.

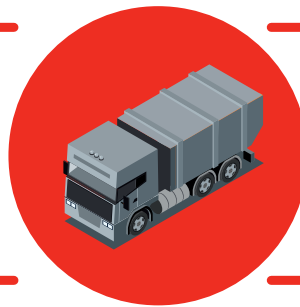
Podane w tabeli 5.7. oraz 5.8. wartości temperatury nie dotyczą mieszanek mineralno-asfaltowych, do których dodawany jest środek w celu obniżenia temperatury jej wytwarzania i wbudowania. W przypadku zastosowania innych środków, np. do WMA, ich stosowanie powinno być poprzedzone badaniami w laboratorium producenta mieszanki mineralno-asfaltowej.

W przypadku przechowywania świeżo wyprodukowanej mieszanki w silosie, należy zwracać uwagę na jej temperaturę. Wychłodzenie i usztywnianie mieszanki jest uzależnione od następujących czynników:

- temperatury produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej,
- rodzaju mieszanki i zawartości w niej lepiszcza oraz jego rodzaju (asfalt drogowy, modyfikowany, wysokomodyfikowany),
- obecności dodatków takich jak stabilizatory, modyfikatory, czy środki adhezyjne,
- stanu technicznego i wyposażenia silosów (izolacja termiczna, ogrzewanie),
- ilości mieszanki mineralno-asfaltowej w silosie.

W umieszczonych na końcu rozdziału tabelach 5.7. oraz 5.8. podano zalecane temperatury technologiczne stosowania lepiszczy asfaltowych oraz mieszanek mineralno-asfaltowych.

5.6. TRANSPORT MIESZANKI MINERALNO-ASFALTOWEJ



Należy zwrócić szczególną uwagę na czystość skrzyń ładunkowych (bez resztek starej mieszanki mineralno-asfaltowej) samochodów dostarczających mieszankę na budowę. Wewnętrzna część skrzyń powinna być zroszona (bez nadmiaru) specjalnym środkiem zabezpieczającym ściany i dno przed przyklejaniem się mma. Do zraszania skrzyń ładunkowych stosuje się tylko te środki antyadhezyjne, które nie działają szkodliwie na lepiszcze asfaltowe. Nie wolno stosować do zraszania skrzyń ładunkowych oleju napędowego ani innych olejów mineralnych.

Podczas transportu mieszanki należy bezwzględnie stosować przykrycie skrzyń ładunkowych plandekami. W warunkach obniżonej temperatury lub niekorzystnych warunków atmosferycznych zalecane jest stosowanie samochodów z izolowanymi skrzyniami ładunkowymi.

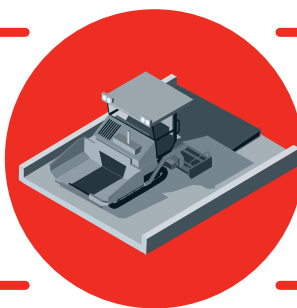
W przypadku konieczności prowadzenia prac w bardzo niekorzystnych warunkach atmosferycznych (temperatura $< +5^{\circ}\text{C}$, silny wiatr > 10 m/s, duże odległości transportu), należy rozważyć stosowanie, między rozkładarką a samochodem wyładowującym mieszankę, urządzeń pośrednich z dodatkowym mieszalnikiem i podgrzewaniem mieszanki (MTV, Shuttlebuggy). Pracę transportu należy zorganizować w taki sposób, aby zapewniona była ciągłość dostaw mieszanki na budowę (bez postojów rozkładarki).

Po załadunku mieszanki mineralno-asfaltowej na samochód należy dokonać kontroli temperatury mieszanki oraz jej wizualnej oceny. Warto zwrócić uwagę na:

- niebieski dym – unoszący się nad mieszanką – świadczy o jej znacznym przegrzaniu w czasie mieszania asfaltu z kruszywem (ponad 200°C). W zasadzie została ona zniszczona (przepalona) i po wbudowaniu będzie się wykruszać oraz będzie nieodporna na wodę i mróz;

- mieszanka „rozpyla się” w skrzyni samochodu dostawczego – prawdopodobne przyczyny:
 - a. nastąpiło uszkodzenie dozownika asfaltu i mieszanka jest przeasfaltowana,
 - b. nieprawidłowy skład mieszanki mineralnej – brak którejś frakcji przy prawidłowej zawartości asfaltu,
 - c. nieprawidłowy skład mieszanki mineralno-asfaltowej – projekt w laboratorium od razu zakładał zbyt dużą zawartość asfaltu,
 - d. nastąpiło przedozowanie środka adhezyjnego;
- po załadunku mieszanka tworzy ostry stożek, mieszanka ma kolor matowy, bez połysku – może świadczyć o zbyt niskiej temperaturze mieszanki lub zbyt małej zawartości asfaltu; w rezultacie mieszanka może nie mieć odpowiedniej urabialności i zagęszczalności na budowie; normalnie mieszanka po załadunku powinna formować się w kształcie kopuły;
- kruszywo nie jest otoczone całkowicie asfaltem – prawdopodobne przyczyny:
 - a. zbyt mało asfaltu w mieszance (błąd w projektowaniu),
 - b. uszkodzony dozownik asfaltu (błąd w produkcji mma),
 - c. zbyt niska temperatura asfaltu podczas otaczania kruszywa,
 - d. zbyt krótki czas mieszania „na mokro” w otaczarce;
- ziarna grysów pokryte są pęcherzykami asfaltu – zjawisko wygląda tak, jakby asfalt kipiał na powierzchni kruszywa; przyczyną jest znaczne zawilgocenie kruszywa, którego suszarka otaczarki nie była w stanie zlikwidować; zjawisko zdarza się częściej przy kruszywach o dużej nasiąkliwości i po dłuższych opadach deszczu.

5.7. WBUDOWYWANIE



Mieszanki betonu asfaltowego o wysokim module sztywności (AC WMS/AC EME) z asfaltami twardymi, należy wbudowywać z największą dopuszczalną technologicznie i projektowo grubością warstwy. Dzięki temu polepszone zostaną warunki temperaturowe zagęszczania.

Podczas wbudowywania mieszanek na podłożu o podwyższonej temperaturze (niedawno wbudowanej warstwie, czyli „gorące na ciepłym”) należy starannie kontrolować temperaturę w środku grubości wbudowywanej warstwy. Nie zaleca się stosowania termometrów bezkontaktowych, lecz termometry ze stalowym trzpieniem umożliwiające zagłębienie w głąb warstwy. W przypadku, gdy temperatura wbudowywanej mieszanki jest bardzo wysoka (a mieszanka stygnie bardzo powoli – jest podgrzewana od spodu) nie należy rozpoczynać wałowania aż do momentu spadku temperatury umożliwiającej rozpoczęcie zagęszczania. Podane zalecenia nie dotyczą technologii *Kompaktasphalt* (wbudowania dwóch warstw jednocześnie specjalną rozkładarką).

Mieszanka asfaltu lanego MA, ze względu na dużą lepkość, nie zawsze może być rozkładana ręcznie. Zalecane jest stosowanie mechanicznego sprzętu do wbudowywania oraz dodatków poprawiających urabialność. Należy zwracać uwagę na temperaturę i czas przechowywania mieszanki asfaltu lanego, wskazówki zamieszczono w tabelach 5.7. oraz 5.8.

Podczas wbudowywania mieszanek zawierających ORBITON HiMA należy stosować te same zasady, które są wykorzystywane przy klasycznych asfaltach modyfikowanych polimerami. Niemniej jednak liczba i rodzaj użytych walców oraz liczba przejazdów może być zwiększona, a finalne parametry należy dobrać na odcinku próbnym, biorąc pod uwagę grubość warstwy, temperaturę otoczenia i rodzaj mieszanki mineralno-asfaltowej. Kluczowym czynnikiem, na który należy zwracać uwagę jest odpowiednia temperatura produkcji i wbudowania mieszanki.

Podczas wbudowywania mma z ORBITON 25/55-80 HiMA oraz ORBITON 45/80-80 HiMA może być konieczne zwiększenie liczby walców, szczególnie, gdy następuje szybki spadek temperatury mma (okres jesieni). Podczas zagęszczania mieszanka może zachowywać się elastycznie i nieco przesuwać się pod walcami, szczególnie w pierwszej fazie zagęszczania w wysokiej temperaturze. W czasie dotychczasowych doświadczeń nie obserwowano kłopotów z zagęszczaniem warstw zawierających ORBITON 65/105-80 HiMA.

Po zakończeniu prac nawierzchniowych, zaleca się bezzwłoczne oczyszczanie sprzętu (głównie rozkładarki) z resztek mieszanki, dopóki jest gorąca – uwaga dotyczy szczególnie asfaltów wysokomodyfikowanych.

5.8. SORBENTY DO ZBIERANIA ROZLANEGO OLEJU NA PODŁOŻU



Zgodnie z definicją, sorbenty są to substancje, które mają zdolność pochłaniania innych substancji. Znalazły one także zastosowanie w drogownictwie jako substancje bardzo pomocne do zbierania rozlanych plam oleju czy paliwa na powierzchni warstwy. Należy pamiętać, że szybkość usunięcia takiej plamy z drogi to jeden z najważniejszych czynników dla późniejszej trwałości nawierzchni asfaltowej. Substancje ropopochodne powodują rozpuszczanie asfaltu, przenikają do kolejnych warstw przez co powodują trwałe zniszczenia.

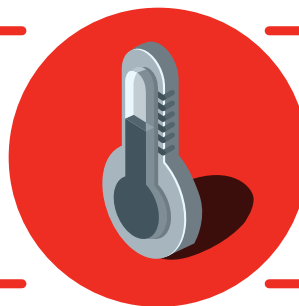
Dawniej do usuwania substancji ropopochodnych z powierzchni stosowano piasek lub trociny. Sorbenty celulozowe: trociny, drewno, papier, ze względu na ich małą gęstość (są dość lekkie i wrażliwe na podmuchy wiatru), mogą być stosowane do wchłaniania wycieków olejowych, jednak wyłącznie przy bezwietrznej pogodzie. Należy pamiętać, że sorbenty tego rodzaju chłoną także wodę. Na rynku dostępne są także specjalnie przetworzone sorbenty celulozowe, w których wyeliminowano problem chłonięcia wody.

Do zastosowań na drogach utwardzonych przeznaczone są również sorbenty polimerowe syntetyczne (np. sorbenty poliuretanowe). Można spotkać sorbenty lekkie i wtedy zachowują się one jak wcześniej wspomniane sorbenty celulozowe, ale są także sorbenty specjalnie przetworzone o wyższej gęstości, co umożliwia ich stosowanie w różnych warunkach pogodowych (wiatr).

O zastosowaniu danego sorbentu na nawierzchni drogowej, powinny decydować następujące czynniki:

- duża i szybka chłonność sorbentu,
- brak negatywnego wpływu na nawierzchnię asfaltową,
- uniwersalność,
- możliwość stosowania w każdych warunkach pogodowych:
 - hydrofobowość (deszcz, śnieg)
 - odpowiedni ciężar (niepodatny na wiatr)
- po zastosowaniu łatwy do usunięcia (nie tworzy mazi),
- w miarę możliwości antypoślizgowy.

5.9. TEMPERATURY TECHNOLOGICZNE – PODSUMOWANIE



W tabelach 5.7. oraz 5.8. podano minimalną oraz maksymalną temperaturę technologiczną stosowania asfaltów oraz mieszanek mineralno-asfaltowych w laboratorium, na otaczarni oraz na budowie.

Podane wartości temperatury nie dotyczą mieszanek mineralno-asfaltowych, do których dodawany jest środek w celu obniżenia temperatury jej wytwarzania i wbudowania (tzw. mieszanki „na ciepło” – *Warm Mix Asphalt*).

Tabela 5.7.

Minimalna oraz maksymalna temperatura asfaltów i mieszanek mineralno-asfaltowych w zależności od rodzaju lepiszcza

RODZAJ ASFALTU	ASFALTY DROGOWE			ASFALTY MODYFIKOWANE POLIMERAMI				
	ASFALT 20/30	ASFALT 35/50	ASFALT 50/70	ORBITON 10/40-65	ORBITON 25/55-60	ORBITON 45/80-55	ORBITON 45/80-65	ORBITON 65/105-60
	TEMPERATURA, [°C]							
Laboratorium:								
Temperatura zagęszczania próbek Marshalla/w prasie żyrowej	155-160	140-145	135-140	150-155	145-150	145-150	150-155	145-150
Temperatura składników na otaczarni:								
Pompowanie asfaltu	> 145	> 140	> 130	> 150	> 150	> 150	> 150	> 150
Magazynowanie asfaltu na otaczarni krótkotrwałe (do 3 dni)	< 185	< 185 do 200 ^{d)}	< 185 do 200 ^{d)}	< 185	< 185	< 185	< 185	< 185
Magazynowanie asfaltu na otaczarni 3-7 dni	< 175	< 175	< 175	< 170	< 170	< 170	< 170	< 170
Temperatura gotowej mieszanki mineralno-asfaltowej w mieszalniku otaczarki:								
Beton asfaltowy, AC	< 185	< 180	< 175	< 185	< 185	< 185	< 185	< 185
SMA, BBTM, AUTL	–	–	<175	–	< 185	< 185	< 185	< 185
Asfalt porowaty, PA	–	–	–	–	–	< 185	< 185	< 185
Asfalt lany, MA	< 220 ^{a)}	< 220 ^{a)}	–	–	< 230 ^{b)}	–	–	–
Temperatura na budowie:								
Minimalna temperatura dostarczonej mieszanki na budowę w koszu rozładarki	150	145	140	160	155	155	160	160
Temperatura końca efektywnego zagęszczania	> 120	> 115	> 110	> 125	> 125	> 120	> 125	> 120

a) czas przebywania mieszanki asfaltu lanego MA, w kotle w podanej temperaturze do 6 h, dopuszcza się wyższą temperaturę asfaltu lanego, do 230°C, jeśli czas przebywania w kotle nie przekroczy 2 h

b) czas przebywania mieszanki asfaltu lanego MA, w kotle w podanej temperaturze do 4 h, dopuszcza się wyższą temperaturę asfaltu lanego, do 230°C jeśli czas przebywania w kotle nie przekroczy 2 h

c) maksymalna temperatura w zbiorniku 200°C tylko w wyjątkowych przypadkach dostaw z rafinerii asfaltu o takiej temperaturze

Tabela 5.8.

Minimalna i maksymalna temperatura lepiszcza i mieszanek mineralno-asfaltowych w zależności od rodzaju asfaltu wysokomodyfikowanego

RODZAJ ASFALTU	ORBITON 25/55-80 HIMA	ORBITON 45/80-80 HIMA	ORBITON 65/105-80 HIMA
Laboratorium:			
Zalecana temperatura zagęszczania próbek w ubijaku Marshalla/w prasie żyratorowej	145-150°C*	145-150°C*	145°C*
Temperatura składników na otaczarni:			
Pompowanie asfaltu	>150°C	> 140°C	> 130°C
Magazynowanie asfaltu na otaczarni krótkotrwałe (do 3 dni)	zalecane < 170°C	zalecane < 170°C	zalecane <170°C
Magazynowanie asfaltu na otaczarni długotrwałe (powyżej 3 dni), z okresowym mieszaniem lub cyrkulacją	150-160°C	150-160°C	150-160°C
Temperatura gotowej mieszanki mineralno-asfaltowej w mieszalniku otaczarki:			
Beton asfaltowy, AC	< 180°C	< 180°C	< 175°C
SMA	< 180°C	< 180°C	< 175°C
Asfalt porowaty, PA	< 180°C	< 180°C	< 175°C
Asfalt lany, MA	—	< 180°C	< 180°C
Temperatura na budowie:			
Minimalna temperatura dostarczonej mieszanki na budowę (w koszu rozkładarki)	160°C	160°C	150°C
Temperatura końca efektywnego zagęszczania warstwy	> 130°C	> 125°C	> 120°C

* nie dotyczy mieszanek SMA 16 i SMA 22, dla których należy przyjmować temperaturę ubijania 160°C

UWAGA

Podane w tabeli 5.8 dane temperaturowe zostały określone na podstawie wniosków z różnego rodzaju zastosowań asfaltów typu HiMA. W następstwie zdobywania kolejnych doświadczeń mogą one ulec zmianie.

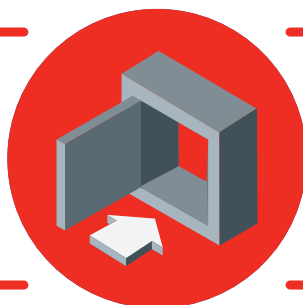
6. ZALECENIA PROJEKTOWANIA MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH Z ORBITON HiMA

W latach 2017-2019¹ w Biurze Badań, Rozwoju i Innowacji firmy ORLEN Asfalt zrealizowano pracę badawczą, która miała na celu uchwycenie różnic w procesie projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych z asfaltami wysokomodyfikowanymi ORBITON HiMA w porównaniu z tradycyjnymi lepiszczami. Do badań wykorzystano najbardziej popularne mieszanki do warstw klasycznej konstrukcji nawierzchni dróg o dużym obciążeniu ruchem: AC 22 P, AC 16 W, SMA 8 S.

Wszystkie badania zostały wykonane we współpracy z laboratorium Instytutu Badawczego Dróg i Mostów, laboratorium Wydziału Budownictwa i Nauk o Środowisku Politechniki Białostockiej oraz Laboratorium Drogowym W. Bogacki w Rzgowie.

Poniżej zawarto syntezę informacji i wniosków z pracy badawczej. Przedstawione wnioski zostały opracowane na podstawie badań własnych ORLEN Asfalt jak również obserwacji i doświadczeń zebranych na odcinkach terenowych.

6.1. WPROWADZENIE



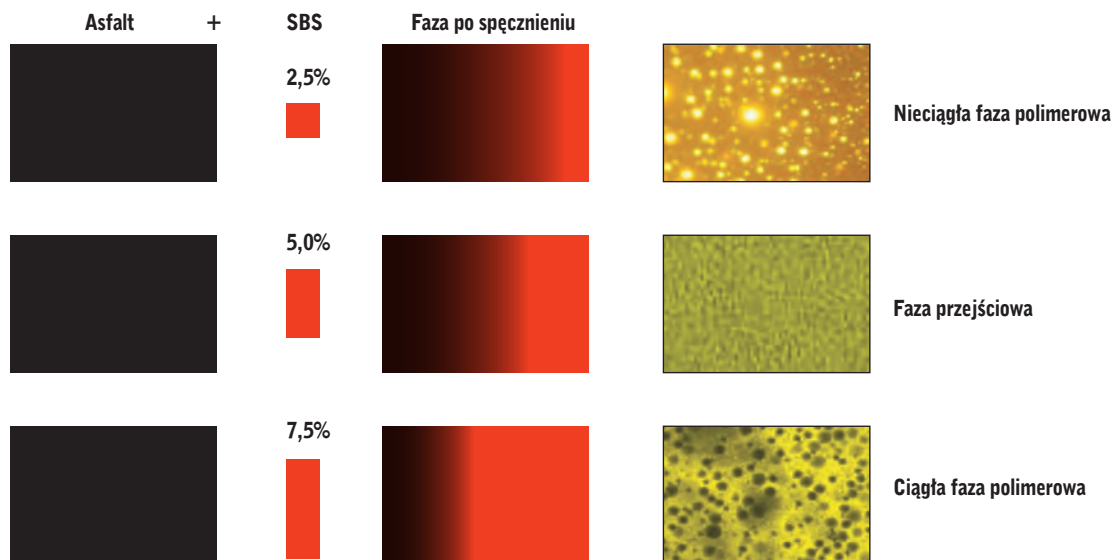
Lepiszczka wysokomodyfikowane ORBITON HiMA pomimo tego, że wyglądem i konsystencją przypominają klasyczne asfalty modyfikowane, w gruncie rzeczy są całkowicie odmiennym materiałem. Zastosowanie polimeru SBS (styren-butadien-styren) w ilości powyżej 7% (m/m) powoduje odwrócenie faz w mieszaninie asfalt – polimer, co sprawia, że lepiszcza wysokomodyfikowane charakteryzują się niespotykanymi dotąd właściwościami. Na rys. 6.1. przedstawiono ewolucję powstawania sieci polimerowej w asfalcie podczas dodawania coraz większej ilości elastomeru SBS.

W sensie strukturalnym warstwy nawierzchni z ORBITON HiMA zachowują bardzo dużą tolerancję na zwiększenie odkształceń rozciągających (tzw. zmęczeniowych), co przy zachowaniu identycznej grubości z konstrukcjami zaprojektowanymi

z klasycznymi lepiszczami umożliwia wydłużenie trwałości zmęczeniowej konstrukcji z ORBITON HiMA lub, alternatywnie, umożliwia pewne zmniejszenie grubości pakietu warstw asfaltowych w nawierzchni przy zachowaniu trwałości zmęczeniowej osiąganą przez grubszą konstrukcję z asfaltami klasycznymi.

Odpowiednio zaprojektowane mieszanki mineralno-asfaltowe z asfaltami wysokomodyfikowanymi ORBITON HiMA są materiałami o ponadstandardowych właściwościach. Aby jednak wykorzystać maksimum możliwości, jakie daje zastosowanie ORBITON HiMA, należy zastosować nieco inne podejście do projektowania i stosowania tych lepiszczy w mieszankach mineralno-asfaltowych (mma).

1) Więcej informacji czytelnik może znaleźć w [1].



Rys. 6.1.

Proporcje objętościowe pomiędzy asfaltem a polimerem w typowym asfalcie modyfikowanym polimerem (2,5 ÷ 5,0% m/m) i w asfalcie wysokomodyfikowanym typu HiMA (7,5% m/m) [2]

6.2. PROGRAM BADAŃ



W programie badawczym przeprowadzonym przez ORLEN Asphalt, do badań właściwości mma z ORBITON HiMA wykorzystano:

- beton asfaltowy do warstwy podbudowy – AC 22 P,
- beton asfaltowy do warstwy wiążącej – AC 16 W,
- mastyks grysowy do warstwy ścieralnej – SMA 8 S.

Do badań właściwości betonów asfaltowych do warstw wiążącej i podbudowy, wykorzystywano następujące lepiszcza:

- asfalt drogowy 35/50,
- asfalt modyfikowany polimerami ORBITON 25/55-60,
- asfalt wysokomodyfikowany polimerami ORBITON 45/80-80 HiMA.

Z kolei, do badań właściwości mastyksu grysowego SMA 8 do warstwy ścieralnej wykorzystano:

- asfalt drogowy 50/70,
- asfalt modyfikowany polimerami ORBITON 45/80-55,
- asfalt wysokomodyfikowany polimerami ORBITON 65/105-80 HiMA.

Dla każdej mieszanki mineralno-asfaltowej wykonano zestaw badań w funkcji zawartości lepiszcza:

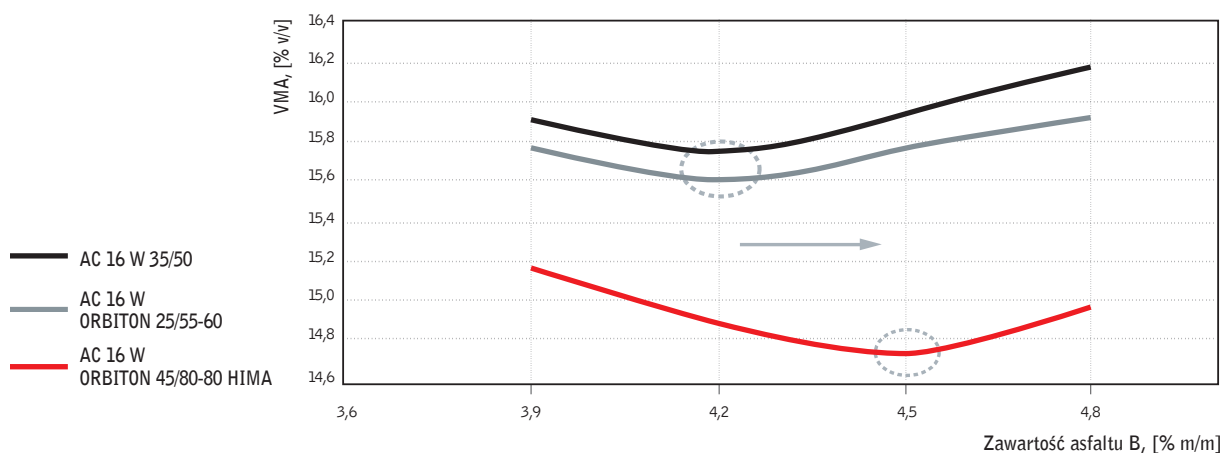
- Gęstość wg PN-EN 12697-5 metoda A,
- Gęstość objętościowa wg PN-EN 12697-6, metoda B,
- Zawartość wolnych przestrzeni – V_m wg PN-EN 12697-8,
- Zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej – VMA wg PN-EN 12697-8,
- Zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej wypełnionych lepiszczem – VFB wg PN-EN 12697-8,
- Koleinowanie wg PN-EN 12697-22, mały aparat, metoda B w powietrzu,
- ITSR wg PN-EN 12697-12 (procedura kondycjonowania z jednym cyklem zamrażania wg WT-2 2014),
- Dodatkowo, dla SMA 8 – TSRST wg PN-EN 12697-46.

Próbki przygotowywano metodą ubijania, z energią 2x75 uderzeń dla AC 16 W i AC 22 P, a dla SMA 8 z energią 2x50 uderzeń.

6.3. PODSUMOWANIE I WNIOSKI Z PRZEPROWADZONYCH BADAŃ



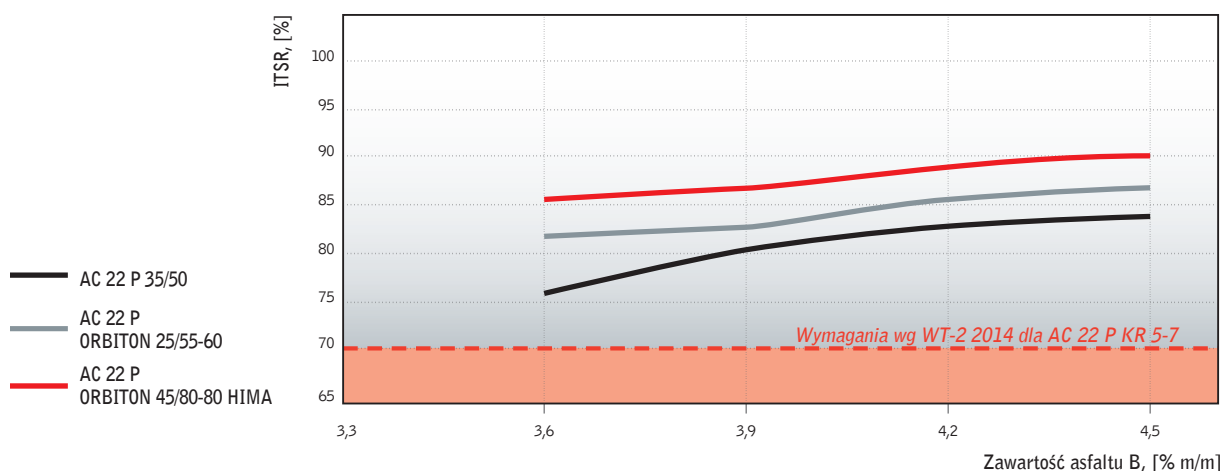
- Podczas projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych z asfaltami wysokomodyfikowanymi warto wrócić do stosowania metody Marshalla i analizy parametrów objętościowych mma. Warto pamiętać, że minimalne zawartości asfaltu (B_{min}) podane w dokumentach technicznych, zostały opracowane na podstawie badań i doświadczeń z asfaltami drogowymi, względnie modyfikowanymi, a nie wysokomodyfikowanymi (chyba, że wyraźnie tak zostało zapisane).
- Zaobserwowano, że mieszanki z asfaltami wysokomodyfikowanymi wymagają większej ilości lepiszcza (mieszanki na odcinkach drogowych wydają się „zbyt suche”). Obecnie zakładamy hipotezę, że lepiszcza HiMA są absorbowane przez mieszanke mineralną w znacznie większym stopniu niż klasyczne asfalty modyfikowane i asfalty drogowe – potwierdzają to wyniki dla trzech zbadanych mma – AC 22 P, AC 16 W oraz SMA 8 S.
- Zwiększona absorpcja lepiszcza HiMA w mieszanekach mineralno-asfaltowych prowadzi w konsekwencji do konieczności zwiększenia ilości lepiszcza, w celu osiągnięcia odpowiedniego poziomu zawartości asfaltu efektywnego:
 - w mieszanekach betonu asfaltowego do warstwy wiążącej i warstwy podbudowy asfaltowej (AC 16 i AC 22) konieczne jest zwiększenie zawartości asfaltu wysokomodyfikowanego o 0,2÷0,3 pp. w porównaniu do zawartości klasycznych lepiszczy, co widoczne jest w wartościach optymalnych zawartości wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej VMA (rys. 6.2. – przykładowe dane dla AC 16 W);
 - w mieszance o nieciągłym uziarnieniu (SMA 8) do warstwy ścieralnej konieczne jest zwiększenie zawartości asfaltu wysokomodyfikowanego o 0,1 ÷ 0,2 pp. w stosunku do mma z klasycznymi lepiszczami; w przypadku tej mieszanki nie zaobserwowano różnic w wartościach optymalnych VMA dla mma z poszczególnymi lepiszczami.



Rys.6.2.

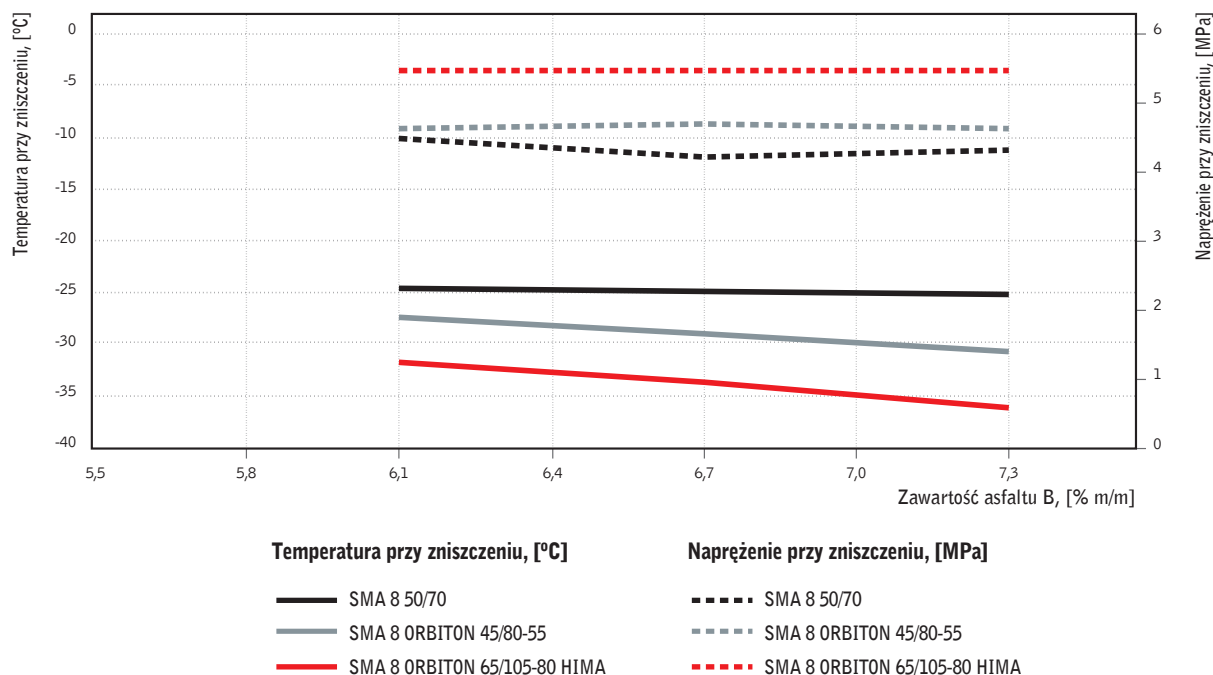
Zawartość wolnych przestrzeni w mm VMA w funkcji zawartości asfaltu dla AC 16 W [1]

- Temperatura zagęszczania próbek do badań z asfaltami wysokomodyfikowanymi powinna wynosić:
 - dla ORBITON 65/105-80 HiMA $T = 145^{\circ}\text{C}$,
 - dla ORBITON 45/80-80 HiMA $T = 145 \div 150^{\circ}\text{C}$,
 - dla ORBITON 25/55-80 HiMA $T = 150^{\circ}\text{C}$.
- Standardowa temperatura $T=160^{\circ}\text{C}$ dla PMB HiMA jest zbyt wysoka, w wyniku czego próbki mogą osiągać zbyt wysoką gęstość, która będzie niemożliwa do osiągnięcia na rzeczywistym odcinku drogowym; może to powodować problemy z osiągnięciem odpowiedniego wskaźnika zagęszczenia wymaganego do odbioru wykonanej warstwy.
 - w przypadku mieszanek SMA 16 i SMA 22 z lepiszczami ORBITON HiMA należy przyjąć temperaturę zagęszczania próbek $T=160^{\circ}\text{C}$.
- Mieszanki mineralno-asfaltowe z lepiszczami modyfikowanymi polimerami charakteryzują się wyższą odpornością na działanie wody i mrozu (ITSR) w stosunku do mma z asfaltami drogowymi w każdym z trzech rodzajów przebadanych mieszanek (co zostało przykładowo zobrazowane na podstawie danych dla AC 22 P na rys. 6.3.). W badaniach uzyskano zależność wskaźnika ITSR od zawartości lepiszcza w mieszance.



Rys. 6.3.
Wskaźnik ITSR w funkcji zawartości asfaltu dla AC 22 P [1]

- Projektowanie mieszanki SMA 8 S, jak i innych mieszanek o nieciągłym uziarnieniu, powinno opierać się na zrozumieniu wpływu przebiegu krzywej uziarnienia na ułożenie ziaren mieszanki, co przekłada się np. na wodoprzepuszczalność mma.
- Mieszanka SMA 8 S z lepiszczem wysokomodyfikowanym charakteryzuje się najniższą temperaturą pękania w wyniku skurczu termicznego w stosunku do przebadanych mma z asfaltem modyfikowanym i drogowym (rys.6.4.).
- Odporność na pękanie w wyniku skurczu termicznego rośnie wraz ze zwiększeniem ilości asfaltu modyfikowanego polimerami w mieszance, dla asfaltu drogowego nie zaobserwowano takiej zależności (rys.6.4.).
- Mieszanki mineralno-asfaltowe z lepiszczami modyfikowanymi polimerami są bardziej odporne na deformacje trwałe w stosunku do mieszanek z asfaltami drogowymi. W przypadku stosowania asfaltów PMB HiMA można zauważyć małą wrażliwość parametrów WTS i PRD na zawartość lepiszcza – wszystkie mieszanki, niezależnie od zawartości asfaltu w mma charakteryzowały się bardzo dobrymi wynikami WTS i PRD.



Rys. 6.4.

Odporności na spękania niskotemperaturowe w funkcji zawartości asfaltu [1]

- Mieszanki zawierające asfalty wysokomodyfikowane tworzą znacznie trwalszą powłokę na powierzchni ziaren kruszywa, co z jednej strony chroni mieszankę mineralną, a z drugiej strony wymaga stosowania posypki z kruszywa na powierzchni warstwy ścieralnej, aby zapewnić odpowiedni współczynnik tarcia w fazie użytkowania nawierzchni tuż po jej wykonaniu.

Czytelników zainteresowanych szczegółowymi wynikami badań zachęcamy do zapoznania się z informacjami zawartymi w książce „Mieszanki i nawierzchnie z ORBITON HiMA” dystrybuowanej przez ORLEN Asphalt sp. z o.o. Publikacja w wersji elektronicznej PDF jest dostępna na stronie internetowej: www.orlden-asfalt.pl

7. OMÓWIENIE PROJEKTU NORMY prEN 14023

Produkowane przez Grupę ORLEN asfalty drogowe oraz modyfikowane polimerami spełniają wymagania polskich norm, odpowiednio **PN-EN 12591** oraz **PN-EN 14023**. Wymienione normy są częścią pakietu norm europejskich dotyczących lepiszczy asfaltowych.

7.1. NOWY ZAŁĄCZNIK KRAJOWY DO NORMY PN-EN 14023



W trakcie prac nad Poradnikiem Asfaltowym 2021, trwały działania w Podkomitecie ds. Asfaltów KT222 Polskiego Komitetu Normalizacyjnego związane z przygotowaniem zmian w Załączniku Krajowym NA do normy PN-EN 14023. Załącznik ten został opublikowany razem z oryginalną normą w 2011 r., następnie był rozszerzony w 2014 r. (Ap1:2014) i w latach 2019-2020 przygotowano jego kolejną nowelizację. Zgodnie z zasadami normalizacyjnymi, Załącznik Krajowy do normy EN zawiera uzgodnione właściwości i poziomy wymagań dla asfaltów modyfikowanych polimerami stosowanych w Polsce.

Prace te zakończyły się opublikowaniem poprawki do normy Ap2:2020-02 (więcej informacji można znaleźć w rozdziale 1). W nowelizacji Załącznika Krajowego z 2020 r. wykorzystano wnioski z programu badawczego RID (NCBiR i GDDKiA) oraz wyniki badań różnych ośrodków naukowych i producentów lepiszczy asfaltowych.

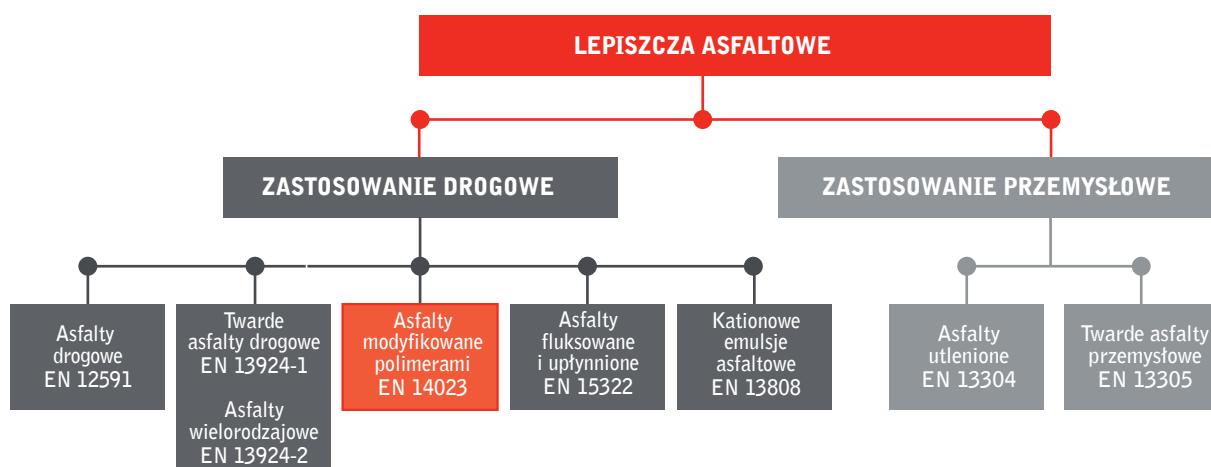
Nowy Załącznik Krajowy z 2020 r. przedstawiono w rozdziale 1, w tabelach 1.7. (asfalty modyfikowane) i 1.11. (asfalty wysokomodyfikowane).

7.2. PROJEKT NOWELIZACJI NORMY EN 14023



W ostatnim czasie ukazały się także przygotowane przez Europejski Komitet Normalizacyjny CEN (*European Committee for Standardization*) projekty nowych norm, zarówno wobec asfaltów drogowych jak i modyfikowanych.

W niniejszym rozdziale omówiono zmiany znajdujące się w projekcie Normy Europejskiej dotyczącej asfaltów modyfikowanych polimerami - prEN 14023, wersja z wiosny 2020 roku.



Rys. 7.1.

Przyporządkowanie norm europejskich do różnych rodzajów lepiszczy. Kolorem czerwonym została oznaczona norma, której projekt będzie omawiany [na podstawie prEN 14023 z 2020 r.]

Omawiana wersja projektu normy prEN 14023 przygotowanej przez CEN ukazała się w kwietniu 2020 roku. Podobnie jak poprzednia wersja normy, zawiera ona zasady wyboru właściwości oraz odpowiednie metody badań asfaltów modyfikowanych polimerami. Dodatkowo przedstawia informacje odnośnie systemu oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych (AVCP – *System of Assessment and Verification of Constancy of Performance*). W projekcie normy uwzględniono również zmiany konieczne do zapewnienia zgodności z Rozporządzeniem dotyczącym wyrobów budowlanych – CPR.

Główne zmiany dotyczące właściwości lepiszczy asfaltowych oraz poziomów wymagań tych właściwości, pojawiające się w projekcie normy prEN 14023 z 2020 r., w stosunku do wersji z 2010 r. są następujące:

- dodanie nowych klas właściwości dla miękkich asfaltów modyfikowanych, w zakresie badania penetracji w 15°C oraz temperatury mięknięcia;
- **dodanie do zasadniczych charakterystyk zachowania lepko-sprężystego, odporności na płynięcie i odkształcenie, wrażliwości termicznej i stałości zachowania lepko-sprężystego;**
- **określenie niskotemperaturowych właściwości oznaczonych na próbkach lepiszczy po starzeniu długoterminowym przy użyciu metody BBR zamiast stosowanego**

do tej pory pomiaru temperatury łamliwości wg Fraassa na lepiszczach nie poddanych starzeniu, a także określenie odpowiednich poziomów wymagań;

- zmiana w prezentowaniu zasadniczych charakterystyk dotyczących kohezji oznaczanej metodą siły rozciągania z duktylometrem, poprzez dodanie poziomów dla minimalnej energii kohezji oraz dodanie wydłużenia jako wartości deklarowanej (DV – *Declared Value*);
- dodanie dodatkowych poziomów minimalnej energii kohezji z wykorzystaniem metody rozciągania oraz możliwości badania w innych wartościach temperatury;
- dopisanie dodatkowych minimalnych poziomów wyników kohezji metodą testu wahadłowego;
- usunięcie właściwości po starzeniu metodą RTFOT: pozostałej penetracji igłą, zmiany temperatury mięknięcia po starzeniu;
- usunięcie przedziału plastyczności;
- dodanie poziomów różnicy penetracji w badaniu stabilności magazynowania;
- usunięcie załącznika A i załącznika B;
- dodanie nowego załącznika A;
- aktualizacja rozdziału dotyczącego systemu oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych AVCP oraz załącznika ZA.

Najbardziej istotne zmiany wprowadzają tabele 1 i 2, w których wprowadzono nowe właściwości. Zostały one ujęte dodatkowo w załączniku A, w którym opisany został sposób określania nowych właściwości asfaltów modyfikowanych polimerami za pomocą pomiarów reologicznych, tj. BBR i DSR, które będą wykorzystywane w ocenie ich właściwości użytkowych.

Właściwości te zostały określone w większości jako tzw. „wartości deklarowane”, które dostawca lepiszcza powinien udostępnić jako pojedynczą wartość DV (*Declared Value* – Deklarowana Wartość). Wartości deklarowane (DV), należy traktować jako typowe,

pojedyncze wartości, które nie są przeznaczone do stosowania jako wymagania oraz nie powinny być interpretowane jako wartości graniczne.

Według projektu normy, wartości te należałoby udostępniać i aktualizować, przy każdym nowym badaniu typu, a w przypadku jego braku, przynajmniej raz w roku.

Parametry reologiczne uwzględnione w projekcie normy prEN 14023 z 2020 r. obejmują właściwości lepkosprężyste ($|G^*|$, δ), badanie MSCR oraz badanie w BBR.

7.2.1. WŁAŚCIWOŚCI LEPKOSPŘŻYSTE: $|G^*|$ ORAZ δ

Właściwości odnoszące się do **wrażliwości temperaturowej asfaltów** oraz **właściwości lepko-sprężystych**, badane przy użyciu **reometru dynamicznego ścinania DSR** wg EN 14770, ze stałą częstotliwością 1,59 Hz, na próbkach lepiszczy asfaltowych:

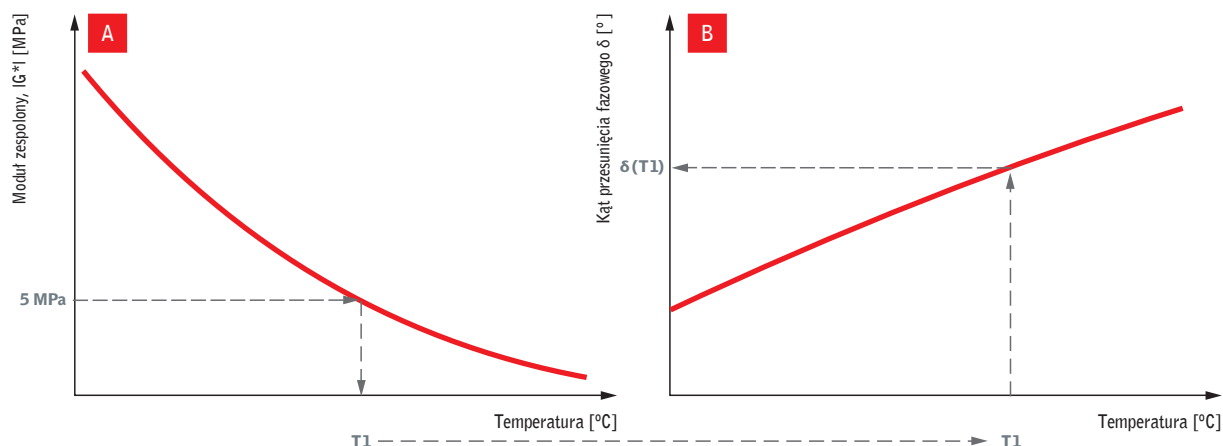
- nie poddanych starzeniu:
 - temperatura **T0** [°C], w której wartość modułu zespolonego **$|G^*| = 15 \text{ kPa}$** ,
 - wartość kąta przesunięcia fazowego δ [°] w temperaturze T0.
- po starzeniu krótkoterminowym, metoda RTFOT wg PN-EN 12607-1 (75 min; 163°C):
 - temperatura **T1** [°C], w której wartość modułu zespolonego **$|G^*| = 5 \text{ MPa}$** ,
 - wartość kąta przesunięcia fazowego δ [°] w temperaturze T1,
 - temperatura **T2** [°C], w której wartość modułu zespolonego **$|G^*| = 15 \text{ kPa}$** ,
 - wartość kąta przesunięcia fazowego δ [°] w temperaturze T2.
- po starzeniu długoterminowym, metoda RTFOT wg PN-EN 12607-1 (75 min; 163°C), a następnie metoda PAV wg PN-EN 14769 (20h; 2,1 MPa; 100°C):
 - temperatura **T3** [°C], w której wartość modułu zespolonego **$|G^*| = 5 \text{ MPa}$** ,
 - wartość kąta przesunięcia fazowego δ [°] w temperaturze T3,
 - temperatura **T4** [°C], w której wartość modułu zespolonego **$|G^*| = 15 \text{ kPa}$** ,
 - wartość kąta przesunięcia fazowego δ [°] w temperaturze T4.

Powyższe poziomy sztywności tj. 15 kPa oraz 5 MPa, zostały wybrane w taki sposób, aby odnosiły się do właściwości użytkowych lepiszcza w poszczególnych krytycznych etapach jego eksploatacji:

- wartości temperatury, w której $|G^*| = 15 \text{ kPa}$, reprezentują właściwości lepko-sprężyste lepiszcza w wysokiej temperaturze eksploatacji, w których lepiszcze osiąga niskie wartości sztywności;
- wartości temperatury, w której $|G^*| = 5 \text{ MPa}$, związane z właściwościami lepko-sprężystymi lepiszcza w pośrednich oraz bardziej typowych temperaturach użytkowania.

Temperatury T0-T4 wyznacza się poprzez interpolacje krzywych w oparciu o dane z co najmniej trzech punktów pomiarowych zmierzonych wartości $|G^*|$. Każdy punkt pomiarowy odpowiada innej temperaturze. Na rysunku 7.2. zaprezentowano zależność pomiędzy temperaturą T a modułem zespolonym $|G^*|$ oraz kątem przesunięcia fazowego δ , oraz metodykę wyznaczania przykładowej temperatury T1 oraz kąta przesunięcia fazowego δ w T1 (w taki sam sposób wyznacza się pozostałe wartości temperatury T0, T2, T3 i T4).

Dodatkowe informacje dotyczące konfiguracji reometru DSR określono w prEN 14023 z 2020 r.

**Rys. 7.2.**

Przykład wyznaczenia (A) temperatury T_1 w zależności od wartości $|G^*|$ (skala log) oraz (B) kąta przesunięcia fazowego δ w T_1 , [rys. własny na podstawie prEN 14023]

Przykładowe wyniki parametrów reologicznych – temperatury T0-T4 oraz δ przy (T0-T4), dla asfaltów modyfikowanych dostarczanych przez ORLEN Asphalt przedstawiono w tabeli 7.1.

Tabela 7.1.

Właściwości asfaltów modyfikowanych wg prEN 14023 T0-T4 [°C] oraz δ przy (T0-T4) [°] [badania własne ORLEN Asphalt z 2020 r.]

RODZAJ LEPISZCZA	PARAMETRY REOLOGICZNE prEN 14023 – T0-T4 ORAZ δ (T0-T4)									
	G* =15 [kPa]		G* =5 [MPa]		G* =15 [kPa]		G* =5 [MPa]		G* =15 [kPa]	
	ASFALT PRZED STARZENIEM		ASFALT PO STARZENIU RTFOT				ASFALT PO STARZENIU RTFOT+PAV			
	T0 [°C]	δ (T0) [°]	T1 [°C]	δ (T1) [°]	T2 [°C]	δ (T2) [°]	T3 [°C]	δ (T3) [°]	T4 [°C]	δ (T4) [°]
ORBITON 25/55-60	46,4	65,0	22,0	46,3	52,0	62,1	26,2	41,3	61,2	59,2
ORBITON 45/80-55	40,0	65,6	16,7	48,5	43,7	64,6	21,8	44,4	51,5	62,0
ORBITON 45/80-65	41,4	62,9	17,8	48,4	44,8	61,9	22,4	44,3	51,8	59,4
ORBITON 65/105-60	35,9	65,0	12,7	49,4	39,4	63,1	17,6	46,0	48,8	61,2
ORBITON 25/55-80 HiMA	43,5	55,4	13,9	45,6	48,1	52,5	19,0	41,6	57,6	49,2
ORBITON 45/80-80 HiMA	35,4	61,2	12,6	47,7	39,9	58,7	16,4	43,8	48,8	53,5
ORBITON 65/105-80 HiMA	31,8	61,7	8,9	50,5	38,6	57,2	14,7	45,9	47,0	53,5

7.2.2. Badanie MSCR

Właściwości otrzymane na podstawie **testu MSCR** (EN 16659), wykonywanego także przy użyciu reometru dynamicznego ścinania (więcej informacji na temat testu MSCR można znaleźć w rozdziale 3). Po wykonaniu badania MSCR zgodnie z EN 16659, w wybranej temperaturze, na próbce poddanej starzeniu krótkoterminowemu RTFOT, wyznaczane są następujące właściwości, zgodnie z definicją podaną w normie:

- **nawrót procentowy [%] – R**
- **nieodwracalna podatność na pękanie [kPa^{-1}] – J_{nr}**

Oba parametry związane są z odpornością lepiszcza na płygnięcie oraz odkształcenie i mogą dostarczać cennych informacji na temat wpływu danego asfaltu na koleinowanie mieszanek mineralno-asfaltowych, zwłaszcza w przypadku kiedy zostają oznaczone w wysokich wartościach temperatury. Obecnie w projekcie

normy jest mowa o wykonywaniu badania w temperaturze 60°C . W projekcie założono również, że w przypadku lepiszczy dla których nie jest możliwe przeprowadzanie badania MSCR w 60°C , można zastosować inną wartość temperatury. Należy ją wówczas zadeklarować. Obecnie w CEN trwają dyskusje, czy jedna wartość temperatury (60°C) jest odpowiednia dla całej Europy, więc sposób wyznaczenia parametrów badania MSCR w finalnej wersji normy może jeszcze ulec zmianie.

W tabeli 7.2. przedstawiono wyniki badań testu MSCR w temperaturze 60°C dla asfaltów modyfikowanych dostarczanych przez ORLEN Asphalt. Można zauważyć, że przynajmniej część asfaltów modyfikowanych powinna zostać zbadana w wyższej temperaturze niż 60°C , ponieważ wynik $J_{nr,3,2}$ znajduje się poniżej wartości granicznej $0,1 \text{ kPa}^{-1}$. Więcej wyników badań wykonanych metodą MSCR podano w rozdziale 3.

Tabela 7.2.

Wyniki badań testu MSCR – parametry: J_{nr} [kPa^{-1}] oraz R [%], otrzymane przy naprężeniu $3,2 \text{ kPa}$, w temperaturze 60°C , próbki po RTFOT

Interpretacja: im mniejsza wartość J_{nr} , tym większa odporność na koleinowanie, im większy nawrót R, tym bardziej sprężyste lepiszcze [badania własne ORLEN Asphalt]

RODZAJ ASFALTU	MSCR WG prEN 14023	
	60°C, PRÓBKII PO RTFOT	
	$J_{nr,3,2}$ [kPa^{-1}]	R 3,2 [%]
Interpretacja	<i>mniej=lepiej</i>	<i>więcej=lepiej</i>
ORBITON 25/55-60	0,1	67,9
ORBITON 45/80-55	0,2	72,6
ORBITON 45/80-65	0,1	82,3
ORBITON 65/105-60	<0,1	92,1
ORBITON 25/55-80 HiMA	<0,1	96,0
ORBITON 45/80-80 HiMA	<0,1	98,5

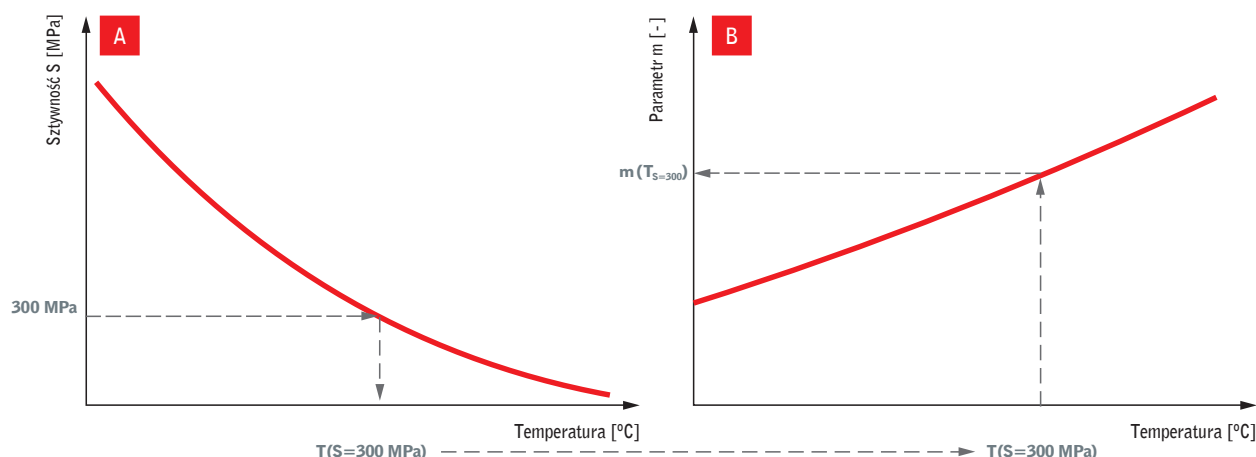
7.2.3. Badanie w BBR

Właściwości dotyczące **zachowania lepiszczy asfaltowych w niskiej temperaturze**, bada się przy użyciu **reometru zginanej belki BBR** zgodnie z normą EN 14771, na próbkach asfaltów poddanych wcześniej starzeniu metodą RTFOT wg EN 12607-1 oraz metodą PAV (kondycjonowanie 100°C przez 20 h ± 10 min) wg EN 14769. Parametry otrzymywane z reometru BBR to:

- Temperatura [°C], przy $S = 300 \text{ MPa}$ – $T(S_{(60)}=300 \text{ MPa})$
- Parametr m [-] przy temperaturze $T(S_{(60)}=300 \text{ MPa})$

Temperaturę $T(S_{(60)}=300 \text{ MPa})$ wyznacza się poprzez interpolację krzywej zależności sztywności pełzania od temperatury, w oparciu o dane z co najmniej trzech punktów pomiarowych (trzy wartości temperatury różniące się o minimum 6°C, które będą obejmowały swoim zakresem oczekiwaną temperaturę $T(S_{(60)}=300 \text{ MPa})$). Analogicznie dla każdej badanej próbki należy wyznaczyć wartość parametru m .

Sposób wyznaczania temperatury $T(S_{(60)}=300 \text{ MPa})$ oraz parametru m dla $T(S_{(60)}=300 \text{ MPa})$ przedstawiono na rysunku 7.3.



Rys. 7.3.

Przykład wyznaczenia (A) temperatury $T(S_{(60)}=300 \text{ MPa})$ oraz (B) parametru m w $T(S_{(60)}=300 \text{ MPa})$, [rys. własny na podstawie prEN 14023]

Tabela 7.3.

Wyniki badań właściwości niskotemperaturowych asfaltów modyfikowanych i wysokomodyfikowanych zgodnie z prEN 14023 [badania własne ORLEN Asphalt]

RODZAJ ASFALTU	PARAMETRY REOLOGICZNE prEN 14023 – BBR	
	TEMPERATURA T , W KTÓREJ SZTYWNOŚĆ PEŁZANIA WYNOŚI 300 MPa	WARTOŚĆ PARAMETRU m -value W TEMPERATURZE T
	$T(S_{(60)}=300 \text{ MPa}), [^{\circ}\text{C}]$	$m(T(S_{(60)}=300 \text{ MPa}), [-]$
Interpretacja	<i>mniej=lepiej</i>	<i>więcej=lepiej</i>
ORBITON 25/55-60	-18,1	0,283
ORBITON 45/80-55	-18,6	0,290
ORBITON 45/80-65	-18,5	0,284
ORBITON 65/105-60	-20,7	0,295
ORBITON 25/55-80 HiMA	-21,1	0,280
ORBITON 45/80-80 HiMA	-21,8	0,288
ORBITON 65/105-80 HiMA	-21,6	0,304

7.3. PODSUMOWANIE



Wyjaśnienie zapisów i wymagań oraz sposób wyznaczania powyższych właściwości uzyskanych na podstawie badań w DSR i BBR zostanie szczegółowo opisany w załączniku krajowym NA do znowelizowanej normy, prawdopodobnie w 2021 lub 2022 r.

Z chwilą opublikowania przez Polski Komitet Normalizacyjny zmienionej normy PN-EN 14023 w języku polskim wraz z załącznikiem NA, będącym krajowym dokumentem aplikacyjnym,

producenci asfaltów modyfikowanych polimerami zobowiązani będą do wprowadzenia na rynek wyrobów zgodnych z nowymi wymaganiami podanymi w Załączniku Krajowym NA.

Należy pamiętać, że powyższe zapisy dotyczą projektu normy, a finalna wersja dokumentu obowiązującego do stosowania może się różnić. Obecnie cały czas trwają prace nad ustaleniem ostatecznych zapisów w nowej wersji normy EN 14023.

8. BEZPIECZEŃSTWO PRACY Z ASFALTAMI I OCHRONA ŚRODOWISKA

Asfalty w postaci stałej nie są klasyfikowane jako substancje niebezpieczne, jednak kiedy występują w postaci lepkiej cieczy to ze względu na wysoką temperaturę przechowywania, magazynowania i transportu, przy pracy z nimi mogą występować pewne zagrożenia.

W niniejszym rozdziale przedstawiono najważniejsze zagadnienia dotyczące szeroko rozumianego BHP podczas pracy z lepiszczami asfaltowymi. Omawiane kwestie, dotyczą asfaltów pochodzenia naftowego, stosowanych w budownictwie drogowym, dystrybuowanych przez ORLEN Asphalt.

8.1. ASFALTY – INFORMACJE OGÓLNE



Asfalt naftowy - jest nietłymym materiałem, otrzymywanym z przerobu ciężkich frakcji ropy naftowej. Jest substancją o bardzo wysokiej lepkości lub prawie stałej konsystencji w temperaturze otoczenia. Jest hydrofobowy, całkowicie lub prawie całkowicie rozpuszczalny w toluenie. Asfalty stosowane są jako materiał do budowy dróg lub do zastosowań przemysłowych, takich jak produkcja pap i innych materiałów hydroizolacyjnych.

Asfalty do budownictwa drogowego są wyrobami budowlanymi, w związku z czym podlegają Rozporządzeniu Parlamentu

Europejskiego i Rady UE nr 305/2011 (tzw. Rozporządzenie CPR), które określa zharmonizowane warunki wprowadzania ich do obrotu na rynek europejski [1].

Rozporządzenie CPR, nakłada na producentów lepiszczy asfaltowych obowiązek stosowania systemu oceny zgodności 2+, w tym utrzymywania Zakładowej Kontroli Produkcji (ZKP) potwierdzonej odpowiednimi certyfikatami, wydanymi przez jednostkę notyfikowaną. Numery certyfikatów ZKP dla wszystkich ośrodków produkcyjnych w Grupie ORLEN zawarto w rozdziale 1.

8.2. KLASYFIKACJA ASFALTÓW ZGODNIE Z ROZPORZĄDZENIEM REACH



Rozporządzenie REACH (ang. **R**egistration, **E**valuation, **A**uthorisation and **R**estriction of **C**hemicals – *Rejestracja, ocena, udzielanie zezwoleń i stosowanie ograniczeń w zakresie chemikaliów* [2]), nakłada na przedsiębiorców szereg obowiązków, związanych z zapewnieniem przez nich maksimum bezpieczeństwa podczas użytkowania produkowanych lub dystrybuowanych przez nich substancji chemicznych.

Zgodnie z wymaganiami Rozporządzenia REACH, producenci chemikaliów podlegają obowiązkowi rejestracji swoich substancji w Europejskiej Agencji Chemikaliów (ECHA – **E**uropean **C**hemicals **A**gency).

Asfalty dystrybuowane przez ORLEN Asphalt zgodnie z powyższymi przepisami, zostały zarejestrowane w ECHA. Dane rejestracyjne, przedstawiono w tabeli 8.1.

Tabela 8.1.
Dane dotyczące rejestracji REACH

	ZAKŁAD PRODUKCYJNY W PŁOCKU PRODUCENT: PKN ORLEN S.A.	ZAKŁAD PRODUKCYJNY W TRZEBINI PRODUCENT: ORLEN ASFALT SP. Z O.O.
Asfalty drogowe o Pen25 < 160 [0,1mm]		
Numer CAS	64742-93-4	64742-93-4
Numer WE	265-196-4	265-196-4
Numer rejestracji REACH	01-2119498270-36-0067	01-2119498270-36-0005
Asfalty drogowe o Pen25 > 160 [0,1mm]		
Numer CAS	8052-42-4	8052-42-4
Numer WE	232-490-9	232-490-9
Numer rejestracji REACH	01-2119480172-44-0080	01-2119480172-44-0010

Zgodnie z Rozporządzeniem REACH, lepiszcza asfaltowe nie zostały sklasyfikowane jako substancje niebezpieczne dla środowiska naturalnego.

Biorąc to pod uwagę nie ma np. formalnego wymagania dotyczącego sporządzania oraz dostarczania wszystkim użytkownikom w łańcuchu dostaw aktualnych kart charakterystyki lepiszczy asfaltowych (MSDS – **M**aterial **S**afety **D**ata **S**heet)¹.

Pomimo tego, ORLEN Asphalt zgodnie z obowiązującą praktyką branżową udostępnia wszystkim zainteresowanym aktualne karty charakterystyki oraz karty informacyjne dotyczące swoich produktów na stronie internetowej spółki – www.orlen-asfalt.pl.

1) art. 31 ust. 5 Rozporządzenia REACH

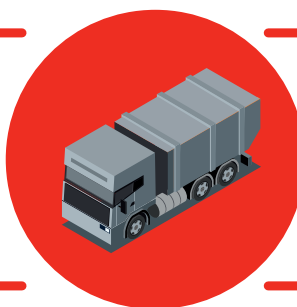
8.3. KLASYFIKACJA ASFALTÓW ZGODNIE Z ROZPORZĄDZENIEM CLP



Rozporządzenie CLP (ang. **C**lassification, **L**abelling, **P**ackaging), dotyczy stosowania na terenie całej Unii Europejskiej jednolitego systemu klasyfikacji, pakowania i oznakowania substancji niebezpiecznych i ich mieszanin.

Zgodnie z Rozporządzeniem CLP, lepiszcza asfaltowe nie zostały sklasyfikowane jako substancje niebezpieczne, w związku z tym, wszystkie miejsca przechowywania, magazynowania oraz ich transportu nie muszą być oznakowane specjalnymi piktogramami, określającymi konkretne zagrożenia [3].

8.4. TRANSPORT ASFALTU ZGODNIE Z RID ORAZ ADR



Transport asfaltów podlega międzynarodowym przepisom dotyczącym przewozu substancji niebezpiecznych, w których **asfalty sklasyfikowano jako niebezpieczne z powodu ich wysokiej temperatury podczas transportu**. Z tego powodu, na środkach transportu powinny znajdować się piktogramy, przedstawiające ostrzeżenia przed wysoką temperaturą.

Większość produktów ORLEN Asphalt przewożona jest cysternami samochodowymi lub kolejowymi.

Transport drogowy substancji niebezpiecznych reguluje międzynarodowe porozumienie **ADR** (z fr. *L'Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route*) [4].

Przewóz towarów niebezpiecznych koleją, odbywa się z kolei zgodnie z przepisami Regulaminu **RID** (z fr. *Reglement concernant le transport Internationale ferroviaire des marchandises Dangereuses*) [5].



Rys. 8.1.

Cysterna samochodowa ORLEN Asphalt (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o.)

8.5. POTENCJALNE ZAGROŻENIA DLA ZDROWIA PODCZAS STOSOWANIA LEPISZCZY ASFALTOWYCH



Poniżej przedstawiono, najbardziej niebezpieczne i prawdopodobne zagrożenia mogące wystąpić podczas pracy z **gorącymi lepiszczami asfaltowymi**.

8.5.1. POŻAR ASFALTU

DZIAŁANIA ZAPOBIEGAWCZE

Aby nie dopuścić do wybuchu pożaru w zbiornikach magazynowych, lepiszcza asfaltowe należy przechowywać w temperaturze min. 30°C poniżej ich temperatury zapłonu.

Temperatura zapłonu asfaltów drogowych, badana w tyglu otwartym metodą Clevelanda wynosi z reguły ponad 300°C. Obecne normy asfaltowe nie wymagają badania temperatury zapłonu w tyglu zamkniętym, metodą Martensa-Pensky'ego, ale można przyjąć, że będzie ona niższa od temperatury zapłonu otrzymanej z badania w tyglu otwartym.

Podczas eksploatacji zbiorników magazynowych należy pamiętać o możliwości odkładania się na ściankach i dachach osadów asfaltowych, które w obecności tlenu mogą być źródłem samo-zapłonu. Zalecana jest okresowa kontrola stanu zbiorników i w przypadku stwierdzenia osadów wykonanie oczyszczania przez specjalistyczną firmę.

W przypadku znacznego przegrzania asfaltu w zbiorniku istnieje duże prawdopodobieństwo powstawania łatwopalnych produktów rozkładu, które również zwiększają ryzyko wystąpienia pożaru, a nawet wybuchu. W celu minimalizowania ryzyka powstawania oparów, należy unikać przegrzewania asfaltu, na skutek którego dochodzi także do utraty deklarowanych przez producenta właściwości produktu.

Nie należy również używać otwartego ognia w bezpośredniej odległości zbiorników magazynowych, oraz podczas załadunku

i rozładunku asfaltu – takie działania mogą także przyczynić się do powstania pożaru lub wybuchu.

Warto jednak zaznaczyć, że **zgodnie z kartą bezpieczeństwa chemicznego przygotowaną przez CONCAWE (*Conservation Of Clean Air And Water In Europe*) asfalty w postaci własnej, nie są uważane za substancje wybuchowe** na podstawie rozważań strukturalnych oraz bilansu tlenowego [7].

GASZENIE POŻARU ASFALTU

Podstawową zasadą dotyczącą postępowania w przypadku wszystkich pożarów jest stosowanie odpowiednich środków gaśniczych.

Podczas gaszenia pożaru asfaltu pod żadnym pozorem nie należy stosować zwartych strumieni wody skierowanych na powierzchnię płynnego asfaltu, ponieważ istnieje bardzo duże zagrożenie gwałtownych rozprysków gorącego materiału. Woda może zostać użyta jedynie do chłodzenia gorących powierzchni.

Pożary asfaltów powinny być gaszone środkami gaśniczymi w taki sposób, aby odciąć dopływ tlenu. Odpowiednimi środkami gaśniczymi są zatem:

- koc piankowy,
- gaśnica zawierająca dwutlenek węgla,
- gaśnica proszkowa,
- gaśnica pianowa,
- piasek,
- rozproszone prądy wodne.

Należy pamiętać, że podczas pożaru asfaltu wydzielające się gazy i opary są cięższe od powietrza i mogą gromadzić się w zagłębieniach terenu, rozprzestrzeniać się tuż nad ziemią w pewnej odległości od źródła ognia i tym samym stwarzać zagrożenie ponownego zapłonu.

W środowisku pożaru powstają również szkodliwe tlenki węgla, złożona mieszanina organicznych produktów rozkładu asfaltu oraz niewielkie ilości tlenków siarki, tlenków azotu oraz tlenków metali.

POSTĘPOWANIE W PRZYPADKU POŻARU ASFALTU:

- w każdym przypadku należy natychmiast zawiadomić najbliższą jednostkę straży pożarnej,
- jeśli nie zagraża to naszemu bezpieczeństwu należy:
 - wyłączyć podgrzewanie asfaltu,
 - wyłączyć pompy cyrkulacyjne oraz inne urządzenia elektryczne,
 - zamknąć zawory, co może przyczynić się do ograniczenia rozprzestrzeniania się pożaru.

8.5.2. OPARZENIA GORĄCYM ASFALTEM

Temperatura podczas pracy z lepiszczami asfaltowymi z reguły przekracza 100°C. Dlatego też, najistotniejszym zagrożeniem mogącym wystąpić podczas pracy z asfaltami są oparzenia termiczne (do poparzeń trzeciego stopnia włącznie).

Do oparzeń może dojść w różnych sytuacjach: podczas normalnej pracy (np. poboru próbek, rozładunku cysterny, pracach remontowych itp.), ale także podczas zdarzeń awaryjnych, takich jak: niekontrolowany wyciek gorącego asfaltu na skutek rozszczelnienia zbiornika, pęknięcia węża załadunkowego, czy nieprawidłowej pracy armatury odcinającej.

Aby zminimalizować ryzyko oparzeń, należy zawsze stosować środki ochrony osobistej oraz przestrzegać procedur BHP.

Podstawowe środki ochrony indywidualnej, które należy stosować bezwzględnie w każdej sytuacji, przedstawiono na rys. 8.2.

PIERWSZA POMOC W PRZYPADKU OPARZEŃ GORĄCYM ASFALTEM:

- należy natychmiast schładzać oparzone miejsce bieżącą, zimną wodą przez co najmniej 15 minut, zapobiegając w ten sposób dalszym uszkodzeniom skóry,
- pod żadnym pozorem, nie należy próbować usuwać asfaltu z obszaru oparzenia, ponieważ może to doprowadzić do dalszego uszkodzenia skóry, a w konsekwencji do poważnych powikłań,
- zanieczyszczone ubranie można zdjąć pod warunkiem, że nie przywarło ono do skóry,
- w każdym przypadku należy natychmiast wezwać pomoc lekarską.



Kask ochronny zapewniający osłonę twarzy i karku



Kombinezon ochronny ognioodporny, najlepiej odbłaskowy



Rękawice ochronne, odporne na działanie wysokiej temperatury



Obuwie ochronne, najlepiej łatwo ściągalne

Rys. 8.2.

Podstawowe środki ochrony indywidualnej, [źródło: <http://www.eurobitume.eu>]

8.5.3. NARAŻENIE NA OPARY ASFALTÓW

Lepiszczta asfaltowe podgrzane do temperatury powyżej 100°C mogą wydzielać opary. Opary asfaltowe składają się z fazy gazowej oraz fazy aerozolowej. Od wielu lat przemysł asfaltowy wspiera badania naukowe dotyczące potencjalnego ryzyka zawodowego wynikającego z narażenia pracowników na opary asfaltowe. Wyniki takich badań publikowane są na bieżąco na stronie internetowej Eurobitume [8].

W Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej [9,10] w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, podane zostały graniczne wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń substancji szkodliwych. Zostały one oznaczone jako:

- **NDS** – najwyższe dopuszczalne stężenie – wartość średnia ważona stężenia, którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego dobowego i przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, przez okres jego aktywności zawodowej nie powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń,

- **NDSch** – najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe – wartość średnia stężenia, które nie powinno spowodować ujemnych zmian w stanie zdrowia pracownika, jeżeli występuje w środowisku pracy nie dłużej niż 15 minut i nie częściej niż 2 razy w czasie zmiany roboczej, w odstępie czasu nie krótszym niż 1 godzina;
- **NDSP** – najwyższe dopuszczalne stężenie pułapowe – wartość stężenia, która ze względu na zagrożenie zdrowia lub życia pracownika nie może być w środowisku pracy przekroczona w żadnym momencie.

Na podstawie Rozporządzenia REACH oraz Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej [9,10] opracowano limity maksymalnego narażenia pracowników mających kontakt z oparami asfaltowymi w miejscu pracy. Dane przedstawiono w tabeli 8.2. oraz 8.3.

Tabela 8.2.

Limity maksymalnego narażenia na opary asfaltów, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Społecznej [9]

CZYNNIK SZKODLIWY	NAJWYŻSZE DOPUSZCZALNE STĘŻENIE W ZALEŻNOŚCI OD CZASU NARAŻENIA W CIĄGU ZMIANY ROBOCZEJ		
	NDS	NDSch	NDSP
Asfalt naftowy - frakcja wdychalna [8052-42-4]	5 mg/m ³	10 mg/m ³	—

Tabela 8.3.

Limity maksymalnego narażenia na opary asfaltów, zgodnie z Rozporządzeniem REACH [2]

PARAMETR	WYJAŚNIENIE	DOPUSZCZALNY LIMIT
DNEL_{pracownik} (ang. derived no-effect level)	Przewidywany poziom narażenia na substancję chemiczną, poniżej którego nie jest spodziewany negatywny wpływ na zdrowie człowieka	2,9 mg/m ³ /8h
DNEL_{konsument} (ang. derived no-effect level)		0,6 mg/m ³ /24h
PNEC (ang. predicted no-effect concentration)	Przewidywany poziom narażenia na substancję chemiczną, poniżej którego nie jest spodziewane wystąpienie negatywnego wpływu na badany obszar środowiska	Brak – substancja nie stwarza zagrożenia dla środowiska

Jednymi ze szkodliwych substancji, które teoretycznie mogą znaleźć się w oparach asfaltów są węglowodory aromatyczne. W latach 2018/2019 roku spółka ORLEN Asphalt zrealizowała program badawczy dotyczący oznaczania zawartości węglowodorów aromatycznych z grupy BTEX w asfaltach drogowych oraz asfaltach przemysłowych produkowanych przez Grupę ORLEN.

BTEX jest skrótem stosowanym dla grupy lotnych związków organicznych takich jak: **benzen**, **toluen**, **etylobenzen** oraz **ksylen**. Węglowodory aromatyczne BTEX uważane są za szczególnie niebezpieczne dla zdrowia człowieka oraz stanowią poważne zagrożenie dla środowiska naturalnego. Limity stężeń poszczególnych związków na stanowiskach pracy podane w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej [9] przedstawiono w tabeli 8.4.

Tabela 8.4.

Limity maksymalnego narażenia na węglowodory BTEX, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Społecznej [9]

CZYNNIK SZKODLIWY	NAJWYŻSZE DOPUSZCZALNE STĘŻENIE W ZALEŻNOŚCI OD CZASU NARAŻENIA W CIĄGU ZMIANY ROBOCZEJ		
	NDS	NDSCh	NDSP
Benzen [71-43-2]	1,6 mg/m ³	—	—
Toluen [108-88-3]	100 mg/m ³	200 mg/m ³	—
Etylobenzen [100-41-4]	200 mg/m ³	400 mg/m ³	—
Ksylen (mieszanina izomerów) [95-47-6], [108-38-3], [106-42-3], [1330-20-7]	100 mg/m ³	200 mg/m ³	—

Analizę zawartości węglowodorów BTEX w lepiszczach asfaltowych przeprowadzono metodą chromatografii gazowej sprzężonej ze spektrometrią mas – GC/MS, rys. 8.3. Badania wykonano w centrum badawczo-rozwojowym UniCRE Grupy Unipetrol w Czechach. Otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 8.5.

Tabela 8.5.

Wyniki badań zawartości węglowodorów BTEX w próbkach lepiszczy asfaltowych [badania własne ORLEN Asphalt]

LEPISZCZE ASFALTOWE	BENZEN	TOLUEN	ETYLOBENZEN	KSYLEN (MIESZANINA IZOMERÓW)
Asfalt drogowy 20/30	< 2 mg/kg	< 2 mg/kg	< 2 mg/kg	< 2 mg/kg
Asfalt drogowy 50/70	< 2 mg/kg	< 2 mg/kg	< 2 mg/kg	< 2 mg/kg
Asfalt drogowy 160/220	< 2 mg/kg	< 2 mg/kg	< 2 mg/kg	< 2 mg/kg
Asfalt przemysłowy 95/35	< 2 mg/kg	< 2 mg/kg	< 2 mg/kg	< 2 mg/kg

* Granica oznaczalności metody LOQ² = 2 mg/kg

2) Granica oznaczalności (ang. *Limit of Quantification* - LOQ) – najmniejsza ilość lub najmniejsze stężenie substancji, możliwe do ilościowego oznaczenia za pomocą danej procedury analitycznej z założoną dokładnością i precyzją.



Rys. 8.3.

Chromatografy gazowe, widok ogólny (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o. dzięki uprzejmości Unipetrol vyzkumně vzdělavací centrum, a.s.)

W wyniku przeprowadzonych badań nie stwierdzono obecności węglowodorów BTEX w badanych próbkach lepiszczy asfaltowych. W każdym przypadku wyniki były poniżej granicy oznaczalności metody (tj. poniżej 2 mg/kg).

Dodatkowo, aby potwierdzić brak obecności węglowodorów aromatycznych BTEX w badanych lepiszczach asfaltowych, zastosowano bardzo dokładną technikę służącą zarówno identyfikacji (oznaczenie jakościowe) jak i analizie ilościowej lotnych i średnio-lotnych związków organicznych – mikroekstrakcję do fazy stacjonarnej SPME-GC/MS. **Podobnie jak w przypadku analizy metodą GC/MS, nie stwierdzono obecności BTEX w badanych próbkach asfaltów.**

Pomimo wszystko, przy pracach z gorącymi asfaltami należy unikać wdychania oparów oraz mgły rozgrzanego produktu. Długotrwałe narażenie na wysokie stężenia oparów/dymów z gorącego asfaltu może powodować podrażnienia dróg oddechowych, podrażnienia oczu, a nawet trudności w oddychaniu czy nudności.

Niemniej jednak, większość robót drogowych z wykorzystaniem asfaltów realizowana jest na otwartym terenie, gdzie ekspozycja na opary jest zwykle mniejsza. Natomiast podczas wykonywania

robót drogowych w tunelach, zaleca się dokonanie analizy narażenia pracowników i zastosowania odpowiedniego rozwiązania.

Narażenie pracowników na opary/dymy asfaltów powinno być minimalizowane poprzez stosowanie tzw. dobrych praktyk [8]:

- utrzymywanie temperatury technologicznej możliwie na jak najniższym poziomie,
- praca przy dobrej wentylacji,
- rotacja wśród załogi w obrębie placu budowy,
- stosowanie środków ochrony indywidualnej, zwłaszcza w pomieszczeniach zamkniętych.

W razie zaistniałych, ewentualnych trudności w oddychaniu spowodowanych nadmiernym wdychaniem oparów asfaltu należy:

- wynieść poszkodowanego z obszaru zagrożenia na świeże powietrze,
- zasięgnąć pomocy lekarskiej w przypadku utrzymywania się trudności z oddychaniem.

Należy jednak zaznaczyć, że jeżeli temperatura technologiczna na budowie jest ściśle kontrolowana, obszar pracy jest otwarty i dobrze wentylowany, nie ma dowodów, że opary asfaltów mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia pracowników.

8.5.4. WIELOPIERŚCIENIOWE WĘGLOWODORY AROMATYCZNE (WWA)

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (w skrócie – WWA) stanowią liczną grupę związków organicznych, zawierających od dwóch do kilku, a nawet kilkunastu pierścieni aromatycznych w cząsteczce. Są substancjami bardzo toksycznymi i szkodliwymi dla zdrowia i życia człowieka. Związków tej grupy jest ponadto 100, lecz z uwagi na ich toksyczność, oddziaływanie na człowieka oraz ilość dostępnych informacji, nie wszystkie są przedmiotem badań. Badania wskazują, że 9 spośród nich ma działanie szczególnie niebezpieczne, w tym wykazuje działanie kancerogenne. Są to:

- antracen
- benzo[a]antracen
- benzo[a]piren
- benzo[b]fluoroanten
- benzo[k]fluoroanten
- benzo[g,h,i]perylene

- dibenzo[a,h]antracen
- chryzen
- indeno[1,2,3-c,d]piren.

Najlepiej poznanym węglowodorem z grupy WWA jest benzo[a]piren, który ze względu na siłę działania rakotwórczego oraz powszechność występowania w środowisku uznany został za wskaźnik całej grupy WWA, w odniesieniu do którego ustalone zostały współczynniki kancerogenności poszczególnych wielopierścieniowych węglowodórów aromatycznych [13].

W tabeli 8.6. podano maksymalne dopuszczalne limity narażenia pracowników na WWA (w tym osobno na benzo[a]piren oraz dibenzo[a,h]antracen), zawarte w Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej [9,10].

Tabela 8.6.

Limity maksymalnego narażenia na WWA zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Społecznej [9, 10]

CZYNNIK SZKODLIWY	NAJWYŻSZE DOPUSZCZALNE STĘŻENIE W ZALEŻNOŚCI OD CZASU NARAŻENIA W CIĄGU ZMIANY ROBOCZEJ		
	NDS	NDSch	NDSP
Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) (suma iloczynów stężeń i współczynników rakotwórczości 9 rakotwórczych WWA)*	0,002 mg/m ³	—	—
Benzo[a]piren [50-32-8]	0,002 mg/m ³	—	—
Dibenzo[a,h]antracen [92-84-2]	0,004 mg/m ³	—	—

* Wartości współczynników rakotwórczości (k) wynoszą:

antracen	0,01
benzo[a]antracen	0,10
benzo[a]piren	1,00
benzo[b]fluoroanten	0,10
benzo[k]fluoroanten	0,10
benzo[g,h,i]perylene	0,01
dibenzo[a,h]antracen	5,00
chryzen	0,01
indeno[1,2,3-c,d]piren	0,10

Analiza zanieczyszczeń powietrza występujących na stanowiskach pracy podczas stosowania lepiszczy asfaltowych jest przedmiotem wielu prac badawczych [14, 15, 16]. Problem występowania w oparach asfaltów wielopierścieniowych węglowodórów aromatycznych, dotyczy głównie pracowników narażonych na bezpośredni kontakt dymów asfaltowych ze

skórą i drogami oddechowymi. Badania wykonane wśród pracowników wykonujących roboty w obszarze bezpośredniego narażenia na kontakt z oparami asfaltu nie dają jednak jednoznacznych wyników. Autorzy tych badań, zwracają dużą uwagę na wiele innych czynników wpływających na końcowe wyniki, co uniemożliwia jednoznaczną ocenę wpływu oparów

asfaltu na zdrowie człowieka [15, 18, 20]. Wynika to zarówno ze złożoności oddziaływań, jakim w życiu codziennym poddawany jest organizm ludzki, jak również z zastosowanego podejścia metodologicznego podczas analizy składu emitowanych oparów czy niewystarczająco czułych metod analitycznych.

ORLEN Asphalt monitoruje okresowo zawartość WWA w lepiszczach asfaltowych produkowanych w Grupie ORLEN.

W 2020 roku wykonano badania zawartości wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w próbkach asfaltów drogowych, przemysłowych, modyfikowanych oraz wysokomodyfikowanych polimerami. Pomiary wykonano techniką chromatografii gazowej ze sprzężonym spektrometrem mas – GC/MS w Instytucie Nafty i Gazu – Państwowym Instytucie Badawczym w Krakowie. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 8.7.

Tabela 8.7.

Wyniki badań zawartości benzo[a]pirenu oraz sumarycznej ilości WWA w próbkach lepiszczy asfaltowych [badania własne ORLEN Asphalt]

LEPISZCZE ASFALTOWE	ZAWARTOŚĆ BEZNO[A]PIRENU	SUMARYCZNA ZAWARTOŚĆ WIELOPIERŚCIENIOWYCH WĘGLOWODORÓW AROMATYCZNYCH (WWA)*
	[mg/kg]	[mg/kg]
Asfalt drogowy 20/30	0,2	2,1
Asfalt drogowy 50/70	0,1	1,9
Asfalt drogowy 160/220	0,9	8,9
Asfalt przemysłowy 95/35	0,2	2,8
Asfalt modyfikowany PMB 45/80-55	<0,1	1,0
Asfalt wysokomodyfikowany PMB 45/80-80 HiMA	<0,1	1,0

* Badania sumy WWA: benzo(a)antracen, chryzen, benzo(e)pyren, benzo(b)fluoranten, benzo(j)fluoranten, benzo(k)fluoranten, benzo(a)pyren, dibenzo(ah)antracen

Kancerogenne działanie benzo[a]pirenu ma miejsce, gdy jego zawartość w lepiszczu przekracza 50 mg/kg [11]. Tymczasem zawartość benzo[a]pirenu w przebadanych próbkach asfaltów zawierała się w przedziale 0,1 – 0,9 mg/kg. Z kolei, sumaryczna zawartość WWA nie przekroczyła 8,9 mg/kg.

Można więc stwierdzić, że **w wyniku przeprowadzonych badań, nie odnotowano przekroczenia zawartości WWA w żadnej z badanych próbek.**

Pomimo tego, zaleca się rozważę i ostrożność podczas pracy z gorącymi asfaltami oraz w miarę możliwości unikania wdychania oparów lepiszczy asfaltowych.

8.5.5. SIARKOWODÓR

Skład elementarny lepischer asfaltowych jest zróżnicowany, między innymi w zależności od natury chemicznej ropy naftowej, z której zostały one wyprodukowane. Większość asfaltów zawiera w swoim składzie elementarnym niewielkie ilości siarki. Dlatego też, przy długotrwałym magazynowaniu gorącego asfaltu w zbiornikach zamkniętych, z asfaltu może uwalniać się siarkowodór, którego stężenie – w skrajnych przypadkach – może osiągnąć niebezpieczną wartość.

Siarkowodór (H_2S) – jest trującym i łatwopalnym gazem, cięższym od powietrza, który może gromadzić się w niskich i zamkniętych pomieszczeniach. Typowe objawy zatrucia siarkowodem obejmują podrażnienie oczu, mdłości, wymioty

oraz zawroty i bóle głowy. Dane opublikowane na stronie internetowej Centralnego Instytutu Ochrony Pracy mówią, że długotrwałe narażenie na stężenie H_2S powyżej 10 mg/m^3 wywołuje podrażnienie oczu, nosa, gardła i płuc. Narażenie na stężenie powyżej 300 mg/m^3 może powodować silny obrzęk płuc. Poziom H_2S powyżej 750 mg/m^3 powoduje utratę przytomności w ciągu kilku sekund oraz grozi śmiercią. Siarkowodór o dużym stężeniu przekraczającym 7000 mg/m^3 powoduje śmierć w ciągu kilku do kilkunastu sekund [22].

W tabeli 8.8. podano maksymalne dopuszczalne limity narażenia na siarkowodór, zawarte w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej [9].

Tabela 8.8.

Limity maksymalnego narażenia na siarkowodór, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Pracy i Polityki Społecznej [9]

CZYNNIK SZKODLIWY	NAJWYŻSZE DOPUSZCZALNE STĘŻENIE W ZALEŻNOŚCI OD CZASU NARAŻENIA W CIĄGU ZMIANY ROBOCZEJ		
	NDS	NDSch	NDSP
Siarkowodór [7783-06-4]	7 mg/m^3	14 mg/m^3	—

Mając powyższe na uwadze, przed wejściem do opróżnionego zbiornika magazynowego asfaltu konieczne jest zachowanie specjalnych środków ostrożności, zgodnie z przepisami bezpieczeństwa. Obejmują one m.in. obniżenie temperatury zbiornika, wywietrzenie, następnie pozostawienie pod stałym napływem świeżego powietrza. Po takim przygotowaniu zbiornika do wejścia pracowników do środka, należy wykonać dodatkowo analizy atmosfery wnętrza na zawartość tlenu oraz potencjalnych stężeń substancji wybuchowych lub toksycznych. Analiza powinna być wykonana nie wcześniej jak 1 godzinę przed zamierzonym wejściem. Pracownik wchodzący do wnętrza zbiornika powinien być odpowiednio wyposażony w środki ochrony indywidualnej oraz posiadać osobisty czujnik wykrywający stężenie H_2S .

W przypadku zatrucia siarkowodem lub nadmiernego narażenia na działanie oparów siarkowodoru należy [22]:

- wynieść osobę poszkodowaną z miejsca narażenia, oraz zapewnić jej bezwzględny spokój w pozycji półleżącej lub siedzącej (jakikolwiek wysiłek fizyczny może wyzwoić obrzęk płuc),
- jeżeli poszkodowany jest przytomny, należy podać mu przez maskę tlen do oddychania,
- jeżeli poszkodowany nie oddycha – należy rozpocząć resuscytację krążeniowo-oddechową,
- w każdym przypadku, należy wezwać pomoc medyczną.

8.5.6. PIENIENIE ASFALTU W OBECNOŚCI WODY

W przypadku kontaktu gorącego asfaltu z wodą występuje tzw. proces pienienia asfaltu. Zachodzi on w wyniku gwałtownego zwiększania objętości wody, poprzez przemianę jej w parę wodną. Powstaje wówczas realne niebezpieczeństwo wykipienia asfaltu ze zbiornika czy cysterny. Pienieniu asfaltu mogą towarzyszyć, równie niebezpieczne – rozpryski gorącego materiału.

Bardzo ważnym elementem podczas załadunku gorącego asfaltu jest więc sprawdzenie, czy cysterna nie zawiera wody, a podczas rozładunku – czy węże rozładownicze są suche i nie zawierają wody oraz wilgoci.

Zbiornik magazynowy na asfalt w każdym przypadku powinien być suchy. Pusty i zimny zbiornik powinno napełniać się na początku niewielką ilością asfaltu, żeby umożliwić ewentualnej wilgoci znajdującej się w zbiorniku powolne odparowanie. Szybkie i nieostrożne napełnianie zimnego, długo nieużywanego zbiornika, co do którego nie ma się pewności, że jest suchy, może grozić gwałtownym pienieniem asfaltu.

Proces pienienia jest bardzo niebezpieczny i może objąć swoim zasięgiem dość duży obszar wokół zbiornika lub cysterny. Podczas przetłaczania gorącego lepiszcza należy zawsze zachowywać bezpieczną odległość.

8.5.7. ODDZIAŁYWANIE ASFALTU NA ŚRODOWISKO

Zgodnie z Rozporządzeniem REACH, asfalty nie zostały sklasyfikowane jako substancje niebezpieczne dla środowiska. Rozporządzenie REACH wymaga między innymi oceny własności substancji pod kątem trwałości, zdolności do bioakumulacji i toksyczności (PBT) oraz bardzo dużej trwałości i bardzo dużej zdolności do bioakumulacji (vPvB). **Lepiszczta asfaltowe nie zostały sklasyfikowane jako substancje PBT ani vPvB.**

Asfalt nie stanowi również zagrożenia dla gleby oraz środowiska wodnego ze względu na stosunkowo szybkie przechodzenie w stan stały oraz bardzo słabą rozpuszczalność w wodzie. Ewentualny wyciek asfaltu, można bezproblemowo usunąć przy użyciu standardowego, łatwo dostępnego wyposażenia (tj.: grabie, łopaty, ładowarki itp.).

Asfalt w temperaturze otoczenia – czyli wbudowany w nawierzchnię, nie emituje żadnych związków chemicznych do atmosfery.

Należy również zaznaczyć, że lepiszcze asfaltowe znajdujące się w mieszance mineralno-asfaltowej jest w postaci stałej i nie stwarza zagrożenia ani dla zdrowia ani dla środowiska naturalnego. Co więcej, asfalt jako jeden z nielicznych materiałów budowlanych jest uznawany za ekologiczny ze względu na możliwość 100% recyklingu i ponownego wbudowania w nawierzchnię drogi.

Biorąc powyższe pod uwagę, można stwierdzić, że lepiszcza asfaltowe są materiałem bezpiecznym dla środowiska naturalnego.

8.5.8. INNE ZAGROŻENIA

Jednym z potencjalnych źródeł zagrożenia stosowania lepiszczy asfaltowych jest możliwość mieszania ich z innymi substancjami czy dodatkami. Takie mieszaniny mogą generować dodatkowe, nieokreślone i nieznane producentom asfaltów zagrożenia.

Za zmiany, w wyniku których asfalt stanie się substancją niebezpieczną dla zdrowia człowieka lub dla środowiska, odpowiedzialność ponoszą tylko i wyłącznie producenci takich mieszanin.



Obniżone koszty
budowy drogi
poprzez zmniejszenie
grubości pakietu
warstw



Zwiększona odporność
na koleinowanie,
powstawanie wybojów
i spękań



Zmniejszony
hałas
komunikacyjny

Poprawiona trwałość
dzięki zawartości
nowego polimeru



Nawierzchnie
z ORBITON HiMA
można całkowicie
podać recyklingowi



ZARZĄD ORLEN ASFALT SP. Z O.O.



Marek Pietrzak
Prezes Zarządu



Alan Steinbarth
Członek Zarządu

BIURO BADAŃ, ROZWOJU I INNOWACJI

Komórka organizacyjna spółki ORLEN Asphalt. Istnieje od początku funkcjonowania spółki, tzn. od 2003 r. Zajmuje się prowadzeniem prac badawczych i rozwojowych w zakresie lepiszczy asfaltowych oraz mieszanek mineralno-asfaltowych, marketingiem technicznym oraz tworzeniem nowych wyrobów. Dla klientów firmy świadczy usługi doradztwa technicznego w zakresie zastosowań lepiszczy asfaltowych produkowanych przez spółkę.

W dorobku Biura są zgłoszenia patentowe oraz liczne nagrody i wyróżnienia, min: wyróżnienie za asfalty modyfikowane ORBITON w konkursie na EUROPRODUKT, organizowanym pod patronatem Ministra Gospodarki i Polskiej Agencji Rozwoju Przedsiębiorczości. Asfalty modyfikowane ORBITON wyróżniono również Złotym Medalem podczas XI Międzynarodowych

Targów Budownictwa Drogowego Autostrada-Polska oraz statuetką „Wysoki Poziom” w kategorii „Sprawdzony Produkt”, przyznaną przez „Magazyn Autostrady” oraz Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP. Asfalty wielorodajowe BITREX zostały nagrodzone złotym medalem zdobytym na Międzynarodowych Targach Wynałazków IWIS 2007. Z kolei, w 2014 roku asfalty wysokomodyfikowane polimerami ORBITON HiMA zostały wyróżnione złotym medalem podczas XX Międzynarodowych Targów Budownictwa Drogowego Autostrada-Polska oraz otrzymały nagrodę Lider Innowacji Roku 2015 w konkursie Diamenty Polskiej Infrastruktury, organizowanym przez Executive Club.

Doradztwo techniczne dostępne jest dla klientów spółki pod adresem email: doradztwotechnologiczne@orlen-asfalt.pl

ZAPRASZAMY DO WSPÓŁPRACY

Choć badania i rozwój kojarzą się wielu osobom z pracami w zaciszu laboratorium, to w przypadku ORLEN Asphalt działalność w tym obszarze jest znacznie szersza.

Dla klientów firmy świadczymy przede wszystkim usługi doradztwa technicznego w zakresie zastosowań i aplikacji lepiszczy asfaltowych. Ponadto, współpracujemy także z administracją drogową, firmami projektowymi, przedsiębiorstwami drogowymi oraz jednostkami naukowymi w zakresie technologii budowy nawierzchni, badań

mieszanek mineralno-asfaltowych, a także nowych aplikacji oraz poszukiwania niestandardowych pomysłów i rozwiązań.

Jesteśmy otwarci na współpracę ze wszystkimi, którzy starają się tworzyć nowe inicjatywy, aby lepiej zarządzać siecią drogową, wzmacniać swoją firmę, czy też chcą rozwijać się indywidualnie. Zapraszamy do współpracy osoby związane oraz niezwiązane z branżą drogową, posiadające pomysły, które moglibyśmy wspólnie zrealizować.

AUTORZY



dr inż. Krzysztof Błazejowski

Absolwent Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej (1992). Autor ponad 100 publikacji, artykułów i książek z dziedziny lepiszczy asfaltowych i nawierzchni asfaltowych. Dyrektor Biura Badań, Rozwoju i Innowacji w ORLEN Asphalt. Rzeczoznawca (SITK RP) w dziedzinie nawierzchni drogowych. Przewodniczący Podkomitetu ds. Asfaltów PK2/KT222 Polskiego Komitetu Normalizacyjnego.



mgr inż. Marta Wójcik-Wiśniewska

Absolwentka Wydziału Chemii Politechniki Śląskiej w Gliwicach (2011). Specjalizuje się w zagadnieniach związanych z metodami badań lepiszczy asfaltowych. Dodatkowy obszar zainteresowań to badania z zakresu reologii oraz właściwości niskotemperaturowych asfaltów. Pracownik Biura Badań, Rozwoju i Innowacji w ORLEN Asphalt.



mgr inż. Wiktoria Baranowska

Absolwentka Technologii Chemicznej na Politechnice Warszawskiej (2018). Specjalizuje się w tematyce badawczej lepiszczy asfaltowych. Główny obszar zainteresowań to właściwości wysokotemperaturowe oraz stabilność koloidalna asfaltów. Pracownik Biura Badań, Rozwoju i Innowacji w ORLEN Asphalt.



mgr inż. Przemysław Ostrowski

Absolwent Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej (2012). Specjalizuje się w obszarach związanych z badaniami właściwości mieszanek asfaltowych, jak również w kształtowaniu właściwości poszczególnych warstw asfaltowych pod kątem projektowania i budowy trwałych i bezpiecznych nawierzchni asfaltowych. Pracownik Biura Badań, Rozwoju i Innowacji w ORLEN Asphalt.

BIBLIOGRAFIA

ROZDZIAŁ 1 – Przeznaczenie asfaltów

- [1] Gawęł I., Kalabińska M., Piłat J., Asfalty drogowe, WKiŁ, Wyd. 2 zmienione, Warszawa 2014
- [2] Paczuski M., Przedlacki M., Lorek A., Technologia produktów naftowych, OW PW, Warszawa 2015
- [3] Gillespie H., The History of Hot Mix Asphalt. In: A Century of Progress, National Asphalt Pavement Association, 1992
- [4] Dz.U. 2019 poz. 1643 Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 1 sierpnia 2019 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie
- [5] Katalog Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych I Półsztywnych. Praca zbiorowa pod red. J.Judyckiego. Politechnika Gdańska. Załącznik do zarządzenia Nr 31 Generalnego Dyrektora Dróg Krajowych i Autostrad z dnia 16.06.2014 r.
- [6] Wymagania Techniczne GDDKiA – Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. WT-2 2014 – część I - Mieszanki mineralno-asfaltowe
- [7] Błażejowski K., Ostrowski P., Wójcik-Wiśniewska M., Baranowska W., Mieszanki i nawierzchnie z ORBITON HiMA, ORLEN Asphalt 2020
- [8] <http://www.libuszamuseum.iap.pl> (dostęp: 26.06.2020)
- [9] http://www.asphalt pavement.org/index.php?option=com_content&view=article&id=21:history-of-asphalt&catid=196:uncategorised&Itemid=268 (dostęp: 02.08.2017)
- [10] Błażejowski K., Wójcik-Wiśniewska M., Baranowska W., Asfalty wysokomodyfikowane ORBITON HiMA. Poradnik stosowania, ORLEN Asphalt 2018
- [11] Timm, D.H., Robbins M.M., Willis J.R., Tran N., Taylor A.J., Field and laboratory study of high-polymer mixtures at the NCAT Test Track, Draft Report, National Center for Asphalt Technology, Auburn University 2013
- [12] Kolber W., Jeszcze słów kilka o brukach, Biblioteka Warszawska, t.2, 1845
- [13] Utracki L.A., Commercial polymer blend, Springer-Science+Business Media, B.V., 1998
- [14] Johnson R., History and development of modified bitumen. In: Proceedings of the 8th Conference on Roofing Technology; 1987 April 16-17; Gaithersburg, Maryland. Rosemont, Illinois: National Roofing Contractors Association, 1987, p. 81-84
- [15] Zhu J., Birgisson B., Kringos N., Polymer Modification of Bitumen: Advances and Challenges, European Polymer Journal, 54, 2014, p. 18-38

ROZDZIAŁ 2 – Podstawowe właściwości asfaltów

- [1] Wierzbicki J., Statystyka opisowa, Wydawnictwo Naukowe Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, 2006
- [2] Bąk J., Statystycznie rzecz biorąc, czyli ile trzeba zjeść czekolady, żeby dostać Nobla? Wydawnictwo W.A.B, 2020
- [3] Kurkiewicz J., Stonawski M., Podstawy statystyki, Krakowskie Towarzystwo Edukacyjne Oficyna Wydawnicza AFM, Kraków 2005
- [4] Sobczyk M., Statystyka opisowa, Wydawnictwo C.H. BECK, 2010, str. 7-18
- [5] Konieczka P., Namieśnik J., Ocena i kontrola jakości wyników pomiarów analitycznych. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2007
- [6] Zimny, Statystyka opisowa. Materiały pomocnicze do ćwiczeń. Wydanie drugie zmienione, Wydawnictwo PWSZ w Koninie, Konin 2010
- [7] Konieczka P., Statystyka matematyczna – narzędzie do opracowania i interpretacji wyników pomiarów, XX Sympozjum Analityczne w Ślesinie „Nowa aparatura – stare problemy”, MS Spektrum 2014
- [8] Walanus A., Czym się różni sześć sigma od trzy sigma? StatSoft Polska 2002 (https://media.statsoft.pl/_old_dnn/downloads/czym_sie_rozni_szesc_sigma_od_trzy_sigma.pdf, dostęp: 05.02.2017)
- [9] <http://www.statystyka-zadania.pl/wykres-pudelkowy/> (dostęp: 31.01.2017)
- [10] Burnos P., Analiza błędów i niepewności wyników pomiarowych, AGH, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, Laboratorium Metrologii, Kraków 2010
- [11] Cyganik P., Podstawy analizy niepewności pomiarowych, Zakład Fizyki Nanostruktur i Nanotechnologii, Instytut Fizyki UJ, 2008
- [12] Julius B., Piersol A., Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych, PWN, Warszawa 1976
- [13] Wyrażanie Niepewności Pomiaru – Przewodnik, Główny Urząd Miar, Warszawa 1999
- [14] Kubiacyk A., Określanie niepewności pomiarów – poradnik, Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, Warszawa 2015
- [15] Gawęł I., Kalabińska M., Piłat J., Asfalty drogowe, WKiŁ, Wyd. 2 zmienione, Warszawa 2014
- [16] Read J., Whiteoak D., The Shell Bitumen Handbook, Thomas Telford, 5th edition, 2003, p. 433

ROZDZIAŁ 3 – Właściwości funkcjonalne asfaltów według systemu Superpave

- [1] Dziubiński M., Kiljański T., Sęk J., Podstawy reologii i reometrii płynów, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2009
- [2] Dziubiński M., Kiljański T., Sęk J., Podstawy teoretyczne i metody pomiarowe reologii, Monografie Politechniki Łódzkiej, Łódź 2014
- [3] Superior Performing Asphalt Pavements – Superpave: The Product of the SHRP Asphalt Research Program, National Research Council Washington, DC 1994
- [4] U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Superpave Asphalt Mixture Design Workshop Workbook, 1999
- [5] Elmore W. E., Kennedy T. W., Solaimanian M., McGennis R., The use of the Superpave PG grading system for selecting asphalt binders for seal coats, 1997
- [6] Bahia H.U. et al., Characterization of Modified Asphalt Binders in Superpave Mix Design, National Cooperative Highway Research Program 2001, REPORT 459. ISBN 0-309-06707-3
- [7] Bahia, H.U., Hanson D.I., Survey Report of Modified Asphalt Binder Users, Producers, and Researchers, Project NCHRP 9-10 – Superpave Protocols for Modified Asphalt Binders, prepared for the National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C. (February 1997)
- [8] Asphalt Binder Characteristics Affecting Durability Cracking, 11th Arizona Pavements/Materials Conference, November 19-20, 2014
- [9] King G., Viewing Cracking Through a Black Space Telescope, WRI Pavement Performance Symposium, 2011
- [10] Rowe G.M., Sharrock M.J., Cracking of asphalt pavements and the development of specifications with rheological measurements, 6th Euraspalt & Eurobitume Congress, Prague 2016, DOI: 10.14311/EE.2016.215
- [11] Anderson M., Asphalt Aging and its Impact on the Timing of Preventive Maintenance, 19th Annual TERRA Pavement Conference, University of Minnesota, 2015
- [12] Anderson R.M., Understanding the MSCR Test and its Use in the PG Asphalt Binder Specification, Presentation Asphalt Institute, 31 August 2011
- [13] Anderson R.M. et al., Evaluation of the Relationship between Asphalt Binder Properties and Non-Load Related Cracking. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 80, 2011, pp.615-663
- [14] Bahia, H.U. et al., Characterization of modified asphalt binders in Superpave Mix Design. NCHRP Report 459. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2001
- [15] Bahia H.U., Zhai H., Zeng M., Hu Y., Turner P., Development of binder specification parameters based on characterization of damage behavior, Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, vol. 70, 2002, p. 442-470

ROZDZIAŁ 4 – Właściwości zmęczeniowe asfaltów – metoda LAS

- [1] Ziari H., Babagoli R., Akbari A., Investigation of fatigue and rutting performance of hot mix asphalt mixtures prepared by bentonite-modified bitumen, Road Materials and Pavement, vol. 16, 2015, p. 101–118
- [2] Pereira A., Micaelo R., Cidade M.T., Quaresma L., Evaluation of different methods for the estimation of the bitumen fatigue life with DSR testing, RILEM Bookseries, 2016, DOI: 10.1007/978-94-017-7342-3_81
- [3] Błażejowski K., Wójcik-Wiśniewska M., Bitumen Handbook 2017, ORLEN Asphalt, Płock 2017
- [4] Bahia, H.U., Hanson D.I., Zeng M., Zhai H., Khatri M.A., Anderson R.M., Characterization of modified asphalt binders in Superpave Mix Design. NCHRP Report 459. TRB, National Research Council, Washington, D.C., 2001
- [5] Bahia H.U., Zhai H., Zeng M., Hu Y., Turner P., Development of binder specification parameters based on characterization of damage behavior, Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, vol. 70, 2002, p. 442–470
- [6] Zhou F., Mogawer W., Li H., Andriescu A., Copeland A., Evaluation of fatigue tests for characterizing asphalt binders, Journal of Materials in Civil Engineering, vol. 25, 2013, p. 610–617
- [7] Johnson C.M., Bahia H.U., Coenen A., Comparison of bitumen fatigue testing procedures measured in shear and correlations with four-point bending mixture fatigue, Proceedings of the 2nd Workshop on Four Point Bending, Paris, University of Minho, Portugal, 2009
- [8] Hintz C., Bahia H.U., Understanding mechanisms leading to asphalt binder fatigue in the dynamic shear rheometer, Road Materials and Pavement Design, vol. 14, 2013, p. 231–251
- [9] Bahia H.U., Johnson C.M., Velasquez R.A., Hintz C., Clopotel C., Development of test procedures for characterization of asphalt binder fatigue and healing, FHWA Final Report, Washington, D.C., 2011
- [10] Safaei, F., Castorena, C., Temperature effects of Linear Amplitude Sweep testing and analysis, Transportation Research Record, vol. 2574 (1), 2016, p. 92–100, <https://doi.org/10.3141/2574-10>

- [11] Bahia H.U., Teymourpour P., Linear Amplitude Sweep test: binder grading specification and field validation, Presentation on Binder Expert Task Group Meeting, Baton Rouge, LA, 2014
- [12] Timm, D.H., Robbins M.M., Willis J.R., Tran N., Taylor A.J., Field and laboratory study of high-polymer mixtures at the NCAT Test Track, Draft Report, National Center for Asphalt Technology, Auburn University, 2013
- [13] West R., Timm D.H., Willis J.R., Powell B., Tran N., Watson D., Brown R., Robbins M., Vargas-Nordbeck A., Nelson J., Phase IV NCAT Pavement Test Track Findings, Draft Report, National Center for Asphalt Technology, Auburn University, February 2012
- [14] Soenen H., Eckmann B., Fatigue testing of bituminous binders with a dynamic shear rheometer, Proceedings of the 2nd Eurasphalt and Eurobitume Congress, Barcelona 2000
- [15] Andersen D.A., Le Hir Y.M., Marasteanu M., Planche J-P, Martin D., Gaaathier G., Evaluation of fatigue criteria for asphalt binder, Transportation Research Record, no. 29 1766, 2001, p. 48-56
- [16] Safaei F., Hintz C., Investigation of the effect of temperature on asphalt binder fatigue, International Society for Asphalt Pavement Conference, 2014, p. 1491 -1500
- [17] Monismith C.M., Epps J.A., Kasianchuk D.A., McLean D.B., Asphalt mixture behavior in repeated flexure, Institute of Transportation and Traffic Engineering, University of California, Berkeley: TE 70-5, 1970.
- [18] Schapery R.A., A theory of crack initiation and growth in viscoelastic media. Analysis of continuous growth, International Journal of Fracture, vol. 11, 1975, p. 549-562
- [19] Schapery R.A., Correspondence principle and generalized integral for large deformation and fracture analysis of viscoelastic media, International Journal of Fracture, vol.25, 1984, p. 195-223
- [20] Schapery R.A., A Theory of mechanical behavior of elastic media with growing damage and other changes in structure, Journal of Mechanical Physical of Soils, vol. 2, 1990, p. 215-253
- [21] Hintz C., Velasquez R., Johnson C.M., Bahia H.U., Modification and validation of linear amplitude sweep test for binder fatigue specification, Transportation Research Record, vol. 2207, 2011, p. 99– 106
- [22] Kim Y.R., Little D.N., Lytton R.L., A simple testing method to evaluate fatigue fracture and damage performance of asphalt mixtures, Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, vol. 71, 2006, p. 176-206
- [23] Wesołowska M., Ryś D., Analysis of the fatigue life of neat and modified bitumens using linear amplitude sweep test, Roads and Bridges – Drogi i Mosty, 2018, p. 317 – 336
- [24] Bahia H.U., Tabatabaee H.A., Mandal T., Field evaluation of Wisconsin modified binder selection guidelines – Phase II, University of Wisconsin Madison, Wisconsin Highway Research Program Project: 0092-13-02 Final Report, December 2013
- [25] Johnson C.M., Estimating asphalt binder fatigue resistance using an accelerated test method, PhD Thesis, University of Wisconsin – Madison, Madison, USA, 2010
- [26] Masad E., Somadevan N., Bahia H.U., Kose S., Modelling and experimental measurements of strain distribution in asphalt mixes, Journal of Transportation Engineering, vol. 127, 2001, p. 477-485
- [27] Johnson C.M., Bahia H.U., Wen H.U., Practical application of viscoelastic continuum damage theory to asphalt binder fatigue characterization, Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, vol. 78, 2009, p. 597–638
- [28] Hintz C., Understanding mechanisms leading to asphalt binder fatigue, A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (Civil & Environmental Engineering), University of Wisconsin – Madison, 2012

ROZDZIAŁ 5 – Technologia stosowania asfaltów

- [1] Read, J., Whiteoak, D., The Shell Bitumen Handbook, 5th ed., Thomas Telford, London 2003, p. 460
- [2] Yildirim, Y., Solaimanian, M., Kennedy, T.W., Mixing and Compaction Temperatures for Hot Mix Asphalt Concrete, University of Texas, Austin 2000, p. 100
- [3] Micaelo R., Santos A., Duarte C., Mixing and compaction temperatures of asphalt mixtures with modified bitumen, 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Istanbul 2012
- [4] Maliszewski M., Zofka A., Maliszewska D., Mirski K., Sybilski D., Uruchomienie stanowiska do zagęszczania dużych płyt z mm-a z zastosowaniem walca drogowego prowadzonego, Drogownictwo, Vol. 5, 2014

ROZDZIAŁ 6 – Zalecenia projektowania mma z HiMA

- [1] Błażejowski K., Ostrowski P., Wójcik-Wiśniewska M., Baranowska W., Mieszanki i nawierzchnie z ORBITON HiMA, ORLEN Asphalt 2020
- [2] Highly Modified Asphalt (HiMA) Next Generation in Asphalt Pavement Design. Kraton Polymers 2018
- [3] Wasilewska M., Błażejowski K., Pęcak P., Effect of type of modified bitumen on selected properties of Stone Mastic Asphalt mixtures, Proceedings of CETRA 4th International Conference on Road and Rail Infrastructures, 23-25 May 2016, Sibenik, Croatia

ROZDZIAŁ 8 – Bezpieczeństwo pracy z asfaltami i ochrona środowiska

- [1] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG
- [2] Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) i utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, zmieniające dyrektywę 1999/45/WE oraz uchylające rozporządzenie Rady (EWG) nr 793/93 i rozporządzenie Komisji (WE) nr 1488/94, jak również dyrektywę Rady 76/769/EWG i dyrektywy Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE
- [3] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin, zmieniające i uchylające dyrektywy 67/548/EWG i 1999/45/WE oraz zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1907/2006
- [4] Umowa europejska dotycząca międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych - ADR (z fr. Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route), wraz z Oświadczeniem Rządowym z dnia 28 lutego 2017 r. w sprawie wejścia w życie zmian do załączników A i B do Umowy europejskiej dotyczącej międzynarodowego przewozu drogowego towarów niebezpiecznych (ADR), sporządzonej w Genewie dnia 30 września 1957 r.
- [5] Regulamin dla międzynarodowego przewozu kolejami towarów niebezpiecznych - RID (z fr. Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses), wraz z Oświadczeniem Rządowym z dnia 29 maja 2017 r. w sprawie wejścia w życie zmian do Regulaminu międzynarodowego przewozu kolejami towarów niebezpiecznych (RID), stanowiącego załącznik C do Konwencji o międzynarodowym przewozie kolejami (COTIF), sporządzonej w Bernie dnia 9 maja 1980 r.
- [6] Dyrektywa 2008/68/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 24 września 2008 r. w sprawie transportu lądowego towarów niebezpiecznych
- [7] Raport Bezpieczeństwa Chemicznego przygotowany przez CONCAWE. Część B. „Asfalt utleniony” i „Asfalt destylacyjny”
- [8] <http://www.eurobitume.eu>
- [9] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 roku w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2018 poz. 1286)
- [10] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 9 stycznia 2020 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, (Dz.U. 2020 poz. 61)
- [11] Szadkowska-Stańczyk I., Analiza wyników badań epidemiologicznych dotyczących ryzyka nowotworowego u pracowników branży asfaltowej i przygotowanie opracowania uwzględniającego opublikowane w 2009 roku przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem (IARC) wyniki badań w zakresie tej problematyki, Instytut Medycyny Pracy, Łódź 2010
- [12] Pośniak M., Makhniashvili I., Kowalska J., Wielopięścieniowe węglowodory aromatyczne w procesach stosowania asfaltów, Bezpieczeństwo Pracy nauka i praktyka, 7-8/2000, 11-13 - Praca wykonana w ramach Strategicznego Programu Rządowego pn. Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy dofinansowanego przez Komitet Badań Naukowych
- [13] Nisbet I.C.T., LaGoy P.K., Toxic for polycyclic aromatic hydrocarbons, Reg. Toxicol. Pharmacol. 16, 1992, p. 290-300
- [14] Binet S., Pfohl-Leskowicz A., Brandt H., Lafontaine M., Castegnaro M., Bitumen fumes: review of work on the potential risk to workers and the present knowledge on its origin, Science of The Total Environment, 2002, 300, p. 37-49
- [15] Heikkilä P.R., Vaananen V., Hameila M., Linnainmaa K., Mutagenicity of bitumen and asphalt fumes, Toxicology in Vitro, 2003, 17, p. 403-412
- [16] de Vocht F., Burstyn I., Ferro G., Olsson A., Hashibe M., Kromhout H., Boffetta P., Sensitivity of the association between increased lung cancer risk and bitumen fume exposure to the assumptions in the assessment of exposure, Int. Arch. Occup. Environ. Health, 2009, 82, p. 723-733
- [17] Reinke G., Swanson M., Paustenbach D., Beach J., Chemical and mutagenic properties of asphalt fume condensates generated under laboratory and field conditions, Mutation Research, 2000, 469, p. 41-50
- [18] Burgaz S., Erdem O., Karahalil B., Karakaya A.E., Cytogenetic biomonitoring of workers exposed to bitumen fumes, Mutation Research, 1998, 419, p. 123-130
- [19] Karakaya A., Yucesoy B., Turhan A., Erdem O., Burgaz S., Karakaya A.E., Investigation of some immunological functions in a group of asphalt workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons, Toxicology, 1999, 135, p. 43-47

- [20] Boczkaj G., Kamiński M., Badania emisji lotnych związków organicznych podczas nalewu asfaltu do autocystern oraz budowy dróg asfaltowych, Proceedings of ECOpole, 2011, Vol. 5, 183
- [21] Ruiz M.P., Acevedo P.A., Puello J., Evaluation of the environmental impact of dense graded Hot Mix Asphalt, Chemical Engineering Transportation, 2014, 36, 229
- [22] <https://www.ciop.pl>

SPIS NORM

- AASHTO M 320-17 Standard specification for Performance-Graded Asphalt Binder
- AASHTO M 332 Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test
- AASHTO MP1 Standard specification for performance graded asphalt binder
- AASHTO PP 42 Standard practice for determination of low-temperature performance grade (PG) of asphalt binders
- AASHTO T 315 Standard Method of Test for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)
- AASHTO T 350 Standard Method of Test for Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)
- AASHTO TP 101-14 Estimating Damage Tolerance of Asphalt Binders Using the Linear Amplitude Sweep
- AASHTO TP 70 Standard Method of Test for Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)
- ASTM D 4402 Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer
- ASTM D 7175 Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer
- ASTM D 7405 Standard Test Method for Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer
- EN 12595 Bitumen and bituminous binders. Determination of kinematic viscosity
- EN 12596 Bitumen and bituminous binders. Determination of dynamic viscosity by vacuum capillary
- EN 13302 Bitumen and bituminous binders. Determination of dynamic viscosity of bituminous binder using a rotating spindle apparatus
- EN 13702 Bitumen and bituminous binders. Determination of dynamic viscosity of modified bitumen by cone and plate method
- PN-EN 12591:2010 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Wymagania dla asfaltów drogowych
- PN-EN 12593 Asfalty i produkty asfaltowe. Oznaczanie temperatury łamliwości Fraassa
- PN-EN 12594 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Przygotowanie próbek do badań
- PN-EN 12595 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie lepkości kinematycznej
- PN-EN 12596 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie lepkości dynamicznej metodą próżniowej kapilary
- PN-EN 12607-1 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie odporności na starzenie pod wpływem ciepła i powietrza. Część 1: Metoda RTFOT
- PN-EN 12607-2 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie odporności na starzenie pod wpływem ciepła i powietrza. Część 2: Metoda TFOT
- PN-EN 12607-3 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie odporności na starzenie pod wpływem ciepła i powietrza. Część 3: Metoda RFT
- PN-EN 12697-1 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 1: Zawartość lepiszcza rozpuszczalnego
- PN-EN 12697-2 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badania. Część 2: Oznaczanie uziarnienia
- PN-EN 12697-4 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań. Część 4: Odzyskiwanie asfaltu - Kolumna do destylacji frakcyjnej
- PN-EN 12697-8 Mieszanki mineralno-asfaltowe na gorąco. Metody badań. Część 8: Oznaczanie zawartości wolnej przestrzeni
- PN-EN 12697-11 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 11: Oznaczanie powinowactwa pomiędzy kruszywem i asfaltem
- PN-EN 12697-12 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 12: Określanie wrażliwości próbek asfaltowych na wodę
- PN-EN 12697-18 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań. Część 18: Sptywność lepiszcza
- PN-EN 12697-22 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 22: Koleinowanie
- PN-EN 12697-24 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań. Część 24: Odporność na zmęczenie
- PN-EN 13108-1 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania. Część 1: Beton asfaltowy
- PN-EN 13108-9 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania. Część 9: Beton asfaltowy do ultra cienkich warstw (AUTL)
- PN-EN 13108-20 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania. Część 20: Badanie typu

PN-EN 13108-21 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania. Część 21: Zakładowa kontrola produkcji

PN-EN 13302 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie lepkości asfaltów lepkościomierzem obrotowym

PN-EN 13398 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie nawrotu sprężystego asfaltów modyfikowanych

PN-EN 13589 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie siły rozciągania asfaltów modyfikowanych, metoda z duktylometrem

PN-EN 13632 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Wzrokowa ocena zdyspergowania polimeru w asfaltach modyfikowanych polimerami

PN-EN 13702-1 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie lepkości dynamicznej asfaltów modyfikowanych. Część 1: Metoda stożek płaszczyzna

PN-EN 13703 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie energii odkształcenia (norma wycofana)

PN-EN 14023:2011 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Zasady klasyfikacji asfaltów modyfikowanych polimerami

PN-EN 14023:2011/Ap1 2014 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Zasady klasyfikacji asfaltów modyfikowanych polimerami (Załącznik Krajowy)

PN-EN 14023:2011/Ap2 2020-02 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Zasady klasyfikacji asfaltów modyfikowanych polimerami (Załącznik Krajowy)

PN-EN 1426 Asfalty i produkty asfaltowe. Oznaczanie penetracji igłą

PN-EN 1427 Asfalty i produkty asfaltowe. Oznaczanie temperatury mięknięcia. Metoda Pierścien i Kula

PN-EN 14769 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Przyspieszone starzenie długoterminowe/kondycjonowanie w komorze starzenia ciśnieniowego (PAV)

PN-EN 14770 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie zespolonego modułu ścinania i kąta przesunięcia fazowego. Reometr dynamicznego ścinania (DSR)

PN-EN 14771 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie sztywności pełzania przy zginaniu. Reometr zginanej belki (BBR)

PN-EN 15326 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Pomiar gęstości i gęstości względnej. Metoda z zastosowaniem piknometru z korkiem kapilarnym

PN-EN ISO 4259-1 Przetwory naftowe i produkty podobne. Precyzja metod pomiaru i wyników. Część 1: Wyznaczanie danych precyzji dotyczących metod badania.

PN-EN ISO 4259-2 Przetwory naftowe i produkty podobne. Precyzja metod pomiaru i wyników. Część 2: Interpretacja i zastosowanie danych precyzji dotyczących metod badania

PN-EN ISO 3838 Ropa naftowa i ciekłe lub stałe przetwory naftowe. Oznaczanie gęstości lub gęstości względnej. Metody z użyciem piknometru z korkiem kapilarnym i piknometru dwukapilarnego z podziałką

PN-ISO/IEC 17025 Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących

prEN 12591:2017 Bitumen and bituminous binders - Specifications for paving grade bitumens (projekt z 2017)

prEN 14023:2020 Bitumen and bituminous binders – Specification framework for polymer modified bitumens (projekt z kwietnia 2020)

WTW BT MMA 2018 Wytyczne Techniczne Badanie Typu Mieszanki Mineralno-asfaltowej, ZDW w Katowicach, 2018

WT-2 cz.1 2014 Wymagania Techniczne GDDKiA „Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. WT-2 2014 – część I Mieszanki mineralno-asfaltowe”

