

Krzysztof Błazejowski
Marta Wójcik-Wiśniewska
Wiktoria Baranowska



2018

PORADNIK ASFALTOWY

Poradnik Asfaltowy 2018
ORLEN Asfalt Sp. z o.o.

Autorzy:

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

Konsultant naukowy:

dr hab. inż. Adam Zofka, prof. IBDiM

Copyright by ORLEN Asfalt Sp. z o.o., Płock 2018

ORLEN Asfalt Sp. z o.o.
ul. Łukasiewicza 39
09-400 Płock
tel.: 24 25 69874, fax: 24 365 55 96

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

SPIS TREŚCI

INFORMACJA O FIRMIE	8
I. ASFALTY I ICH WŁAŚCIWOŚCI	11
1. NATURA CHEMICZNA LEPIZCZY ASFALTOWYCH	12
1.1. Skład i struktura chemiczna asfaltów	12
1.1.1. Skład grupowy lepiszczy asfaltowych	12
1.1.2. Metody rozdziału asfaltu na składniki grupowe	15
1.1.3. Skład elementarny asfaltu	19
1.1.4. Masa cząsteczkowa asfaltu	20
1.2. Metody badań struktury chemicznej lepiszczy asfaltowych	20
1.3. Budowa koloidalna asfaltów	23
1.3.1. Stabilność budowy koloidalnej	24
1.4. Wpływ natury chemicznej lepiszczy asfaltowych na ich właściwośc.	25
1.5. Modyfikacja lepiszczy asfaltowych polimerami	27
1.6. Podsumowanie	27
2. PRZEZNACZENIE ASFALTÓW	28
2.1. Asfalty drogowe	29
2.2. Asfalty modyfikowane polimerami ORBITON	30
2.3. Asfalty wysokomodyfikowane polimerami ORBITON HiMA	32
3. PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI ASFALTÓW	35
3.1. Wprowadzenie do statystyki	35
3.1.1. Parametry statystyczne, definicje	36
3.1.2. Sposoby przedstawiania danych statystycznych	38
3.2. Wyniki wybranych właściwości lepiszczy asfaltowych	40
3.2.1. Penetracja w 25°C	40
3.2.2. Temperatura mięknięcia	44
3.2.3. Temperatura łamliwości	48
3.2.4. Lepkość	52
3.2.5. Odporność na starzenie	60
3.2.6. Gęstość asfaltów	63
3.3. Właściwości dodatkowe dla asfaltów modyfikowanych polimerami	65
3.3.1. Nawrót sprężysty w 25°C, przed i po starzeniu RTFOT	65
3.3.2. Zakres plastyczności	68
3.3.3. Mikrostruktura	68
3.3.4. Siła rozciągania (kohezja)	69
4. WŁAŚCIWOŚCI FUNKCJONALNE ASFALTÓW	71
4.1. Wprowadzenie	71
4.2. Program badań	72
4.3. Otrzymane wyniki badań	72
4.3.1. Badania właściwości w niskich temperaturach	72
4.3.2. Badania właściwości w wysokich temperaturach	77
4.3.3. Badania właściwości w temperaturze pośredniej	87
4.3.4. Klasyfikacja lepiszczy asfaltowych wg systemu <i>Performance Grade</i>	92

II. ASFALTY W MIESZANKACH MINERALNO-ASFALTOWYCH	95
5. TECHNOLOGIA STOSOWANIA ASFALTÓW.....	96
5.1. Wskazówki laboratoryjne.....	96
5.1.1. Ustalanie temperatury technologicznej.....	96
5.1.2. Próbkę asfaltów w laboratorium	98
5.1.3. Przyczepność asfaltu do kruszyw mineralnych.....	99
5.2. Magazynowanie lepiszczy asfaltowych.....	100
5.2.1. Uwagi ogólne	100
5.2.2. Magazynowanie asfaltów drogowych	102
5.2.3. Magazynowanie asfaltów modyfikowanych polimerami.....	103
5.2.4. Magazynowanie asfaltów wysokomodyfikowanych ORBITON HiMA	103
5.2.5. Inne zalecenia	104
5.3. Produkcja mieszanki mineralno-asfaltowej.....	105
5.4. Transport mieszanki mineralno-asfaltowej.....	105
5.5. Wbudowywanie	106
5.6. Sorbenty do zbierania rozlanego oleju na podłożu	107
5.7. Temperatury technologiczne	108
6. BADANIE MSCR ASFALTÓW A ODPORNOŚĆ MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH NA KOLEINOWANIE.....	110
6.1. Badania właściwości asfaltów w wysokiej temperaturze eksploatacji.....	110
6.2. Badanie MSCR asfaltów a odporność mieszanek mineralno-asfaltowych na koleinowanie	112
6.3. Program badań	113
6.3.1. Badanie właściwości asfaltów w wysokiej temperaturze eksploatacji.....	113
6.3.2. Badanie odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na koleinowanie.....	113
6.4. Wyniki badań	114
6.4.1. Temperatura mięknięcia	114
6.4.2. Test MSCR.....	114
6.4.3. Wyniki badania odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na koleinowanie.....	116
6.4.4. Korelacje wyników badań asfaltów z wynikami badań koleinowania mieszanek mineralno-asfaltowych	116
6.5. Wnioski	118
7. PRZYLEGANIE ASFALTU DO KRUSZYW	119
7.1. Wprowadzenie	119
7.2. Dlaczego metoda FAP?	120
7.3. Opis metody FAP	120
7.4. Program badań	122
7.5. Wyniki	122
7.6. Podsumowanie.....	123
8. DANE O LEPISSZCZACH ASFALTOWYCH DO PROJEKTOWANIA MECHANISTYCZNEGO	124
8.1. Wprowadzenie	124
8.2. Moduł sztywności	124
8.3. Dane do obliczeń modułów sztywności mma na podstawie wyników badań asfaltów.....	127

III. INFORMACJE TECHNICZNE.....	129
9. OMÓWIENIE NORM PN-EN 12591 ORAZ PN-EN 14023	130
9.1. Omówienie norm PN-EN 12591 oraz PN-EN 14023	130
9.1.1. Systematyka oznaczania asfaltów do celów drogowych.....	131
9.1.2. Krajowe dokumenty aplikacyjne	132
9.1.3. Ocena zgodności	135
9.2. Nowelizacja EN 12591	136
10. JAKOŚĆ DOSTAW ASFALTÓW. KONTROLA WG PN-EN ISO 4259	138
10.1. Krótki wstęp do prawidłowej interpretacji wyników kontrolnych.....	138
10.1.1. Błąd i niepewność pomiaru.....	139
10.1.2. Precyzja i dokładność badania.....	141
10.1.3. Powtarzalność i odtwarzalność	141
10.2. Interpretacja wyników badań zgodnie z PN-EN ISO 4259	142
10.2.1. Granice cechy.....	142
10.2.2. Wyznaczanie granic w specyfikacjach	142
10.2.3. Ocena wyniku pomiaru na zgodność ze specyfikacją	143
10.3. Przypadki sporne.....	144
11. BEZPIECZEŃSTWO PRACY Z ASFALTAMI I OCHRONA ŚRODOWISKA	145
11.1. Asfalty – informacje ogólne.....	145
11.2. Klasyfikacja asfaltów zgodnie z rozporządzeniem REACH.....	146
11.3. Klasyfikacja asfaltów zgodnie z rozporządzeniem CLP.....	146
11.4. Transport asfaltu zgodnie z RID oraz ADR.....	147
11.5. Potencjalne zagrożenia dla zdrowia podczas stosowania lepiszczy asfaltowych	148
11.5.1. Oparzenia gorącym asfaltem	148
11.5.2. Narażenie na opary asfaltów (mgła asfaltowa, dymy).....	149
11.5.3. Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WVA).....	151
11.5.4. Siarkowodór	152
11.5.5. Pożar asfaltu.....	152
11.5.6. Pienienie asfaltu w obecności wody.....	154
11.5.7. Oddziaływanie asfaltu na środowisko	154
11.5.8. Inne zagrożenia	154
AUTORZY PORADNIKA ASFALTOWEGO	156
BIBLIOGRAFIA.....	157

SZANOWNI PAŃSTWO, DRODZY CZYTELNICY!

Z satysfakcją przekazujemy w Państwa ręce już szóste polskie wydanie **Poradnika Asfaltowego** – unikatowej publikacji stanowiącej usystematyzowany zbiór wiedzy na temat lepiszczy asfaltowych oraz informacji na temat ich efektywnego wykorzystywania w praktyce. Od 2013 r. Poradnik wydawany jest także w innych językach – angielskim, rosyjskim i rumuńskim.

„Poradnik Asfaltowy” jest jednym z narzędzi komunikacyjnych Spółki ORLEN Asphalt, skierowanym do Klientów firmy oraz wszystkich osób zainteresowanych zastosowaniami asfaltowych lepiszczy drogowych do budowy dróg. Ze względu na merytoryczną zawartość Poradnika i sposób w jaki został napisany, stanowi on ciekawą propozycję dla każdego, kto chciałby poznać aktualną ofertę lepiszczy asfaltowych na polskim rynku oraz ich właściwości i aktualny stan normalizacji.

Tegoroczna edycja publikacji została podzielona na trzy części. **Część I „Asfalty i ich właściwości”** to opis lepiszczy asfaltowych: ich natury chemicznej, przeznaczenia do konkretnych zastosowań drogowych, a także zbiór informacji o właściwościach podstawowych zgodnych z normami PN-EN oraz właściwościach użytkowych zbadanych według standardów amerykańskich. **Część II „Asfalty w mieszankach mineralno-asfaltowych”** zawiera szereg ważnych informacji związanych z technologią stosowania asfaltów w mieszankach mineralno-asfaltowych. W tej części omówiono również wyniki kilku prac badawczych prowadzonych przez ORLEN Asphalt, które mogą być przydatne w poszerzaniu wiedzy drogowej oraz w pracach laboratoryjnych. **Część III „Informacje techniczne”** jest odpowiedzią na liczne pytania związane z aktualnym stanem normalizacji, prawidłową interpretacją wyników otrzymanych z laboratorium oraz szeroko rozumianym BHP przy pracy z asfaltami.

Biorąc pod uwagę fakt, iż na polskim rynku wydawniczym jest niewiele pozycji dotyczących lepiszczy asfaltowych oraz ich efektywnego zastosowania w praktyce, jesteśmy dumni mogąc podzielić się z Państwem tak cennym zbiorem informacji.

Zarząd Spółki
ORLEN Asphalt

INFORMACJA O FIRMIE

KIM JESTEŚMY

ORLEN Asphalt Sp. z o.o. należy do Grupy ORLEN i jest jednym z największych w Polsce i Europie Środkowo-Wschodniej dostawców lepszycza bitumicznego wykorzystywanego do produkcji nawierzchni asfaltowych. Naszym Klientom dostarczamy najwyższej jakości produkty, czego dowodem są liczne nagrody branżowe oraz wyróżnienia.

Od października 2012 roku ORLEN Asphalt jest właścicielem czeskiej spółki ORLEN Asphalt Česká republika, powstałej w efekcie zakupu 100% udziałów spółki Paramo Asphalt, zajmującej się sprzedażą asfaltów produkowanych w Litwinovie i Pardubicach. Z kolei w 2013 roku oficjalnie zarejestrowano w Rumunii oddział spółki pod nazwą ORLEN Asphalt Sp. z o.o. PLOCK – Sucursala Bucuresti, zapewniając tym samym dalszy intensywny rozwój aktywności na rynkach południowych. Rok później spółka stała się użytkownikiem terminala kolejowego, powstałego z myślą o usprawnieniu przetadunku asfaltu i przyspieszeniu dostaw na rynek rumuński.

NASZ CEL

Staramy się, aby hasło „Dostarczając najwyższej jakości asfalty, napędzamy przyszłość” dotyczyło wszystkich aspektów naszej działalności. Naszym Klientom dostarczamy zarówno najwyższej jakości produkty i usługi, jak i najwyższe standardy obsługi Klienta, w tym wsparcie techniczne.

SOLIDNA MARKA

Jako ekspert w dziedzinie nawierzchni asfaltowych, od wielu lat rozwijamy działalność oraz projektujemy nowe wyroby w oparciu o wiedzę najlepszych specjalistów z branży. Jesteśmy firmą innowacyjną nie tylko po to, aby sprostać wymaganiom i oczekiwaniom rynku, ale również by je wyprzedzić i kreować postęp. Jako pierwsi w Polsce, w październiku 2013 roku wykonaliśmy odcinek testowy z zastosowaniem asfaltów wysokomodyfikowanych typu HiMA, które zostały potem uznane przez Generalną Dyрекję Dróg Krajowych i Autostrad, jako jeden z głównych kierunków rozwoju technologii asfaltowych w Polsce. W 2014 roku asfalty wysokomodyfikowane polimerami wprowadzono do oferty produktowej ORLEN Asphalt pod nazwą handlową ORBITON HiMA.

Produkt ten został wyróżniony złotym medalem podczas XX Międzynarodowych Targów Budownictwa Drogowego Autostrada – Polska oraz otrzymał nagrodę Lider Innowacji Roku 2015 w konkursie Diamenty Polskiej Infrastruktury.

W ramach działalności prowadzimy także szereg prac badawczych w zakresie oceny właściwości oraz nowych zastosowań oferowanych przez spółkę produktów. Na tym polu współpracujemy z wieloma jednostkami akademickimi oraz badawczymi. Dodatkowo prowadzimy dla Klientów doradztwo techniczne w zakresie lepszycza asfaltowych: doboru, właściwości i zastosowań.


Jesteśmy firmą nowoczesną, zorientowaną na Klienta, dlatego nasze cele, jak i działania staramy się dostosowywać do potrzeb jakie stawia przed nami rynek oraz firmy drogowe.


NASZE PRODUKTY

Jako Grupa Kapitałowa ORLEN Asphalt dostarczamy asfalty z pięciu ośrodków produkcyjnych zlokalizowanych w Polsce (Płock, Trzebinia), Czechach (Pardubice, Litwinov) oraz na Litwie (Możejki). Zarządzamy łącznymi mocami produkcyjnymi na poziomie 1,5 mln ton asfaltu rocznie. W roku 2017 ustanowiliśmy nowy rekord sprzedaży, który wyniósł 1,4 mln ton, dostarczając swoje produkty do 30 krajów na świecie, w tym 13 w Europie.

Miejsca produkcji asfaltów w ORLEN Asphalt



 Ośrodek produkcyjny

 Terminal kolejowy

Produkty asfaltowe według miejsc produkcji:

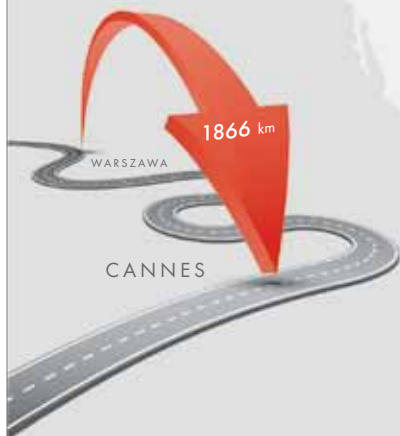
POLSKA	CZECHY	LITWA
<p>Asfalty drogowe 20/30; 35/50; 50/70; 70/100; 100/150; 160/220</p> <p>Asfalty modyfikowane ORBITON 10/40-65; ORBITON 25/55-55 EXP; ORBITON 25/55-60; ORBITON 25/55-60 EXP; ORBITON 25/55-65 EXP; ORBITON 45/80-55; ORBITON 45/80-65; ORBITON 65/105-60</p> <p>Asfalty wysokomodyfikowane ORBITON 25/55-80 HiMA; ORBITON 45/80-80 HiMA; ORBITON 65/105-80 HiMA</p> <p>Asfalty utlenione: 80/15; 95/35</p>	<p>Asfalty drogowe 10/20; 30/45; 35/50; 50/70; 70/100; 100/150; 160/220; 50/70LT; 50/70NV</p> <p>Asfalty drogowe twarde AP 15 (10/20); AP 25 (20/30)</p> <p>Asfalty wielorodzajowe VMT 45; VMT 65</p> <p>Asfalty modyfikowane 25/55-55; 25/55-60; 25/55-65; 45/80-65</p> <p>Asfalty utlenione 80/15; 85/15; 85/25; 85/40; 90/15; 95/25; 95/35; 100/40; 105/15; 105/25</p> <p>Asfalt specjalny Mofalt RMB</p> <p>Asfalty przemysłowe AZIT 105; Paramex 65; Paramex 80; Parabit H 90/100</p>	<p>Asfalty drogowe 35/50; 50/70; 70/100; 100/150; 160/220</p>

ORLEN Asfalt Sp. z o.o.
należy do Grupy ORLEN
i jest jednym z największych w Polsce
dostawców lepszycza asfaltowego
wykorzystywanego do produkcji
nawierzchni drogowych.



1,4 mln ton

aktualny rekord sprzedaży
Grupy Kapitałowej ORLEN Asfalt,
sprzedającej swoje produkty do **30 krajów na całym świecie**.
Z tej ilości asfaltu można wybudować pełną konstrukcję
autostrady **z Warszawy do Cannes – 1866 km**



Jeden z wiodących dostawców asfaltów

w Europie
Środkowo-Wschodniej



12,4 mln ton

- tyle asfaltu sprzedała
Grupa Kapitałowa ORLEN Asfalt
od początku istnienia.
Ta ilość starczy do przygotowania
warstwy ścieralnej
na drogę jednopasmową,
która okrąży **Równik**
aż 8 razy
– 320 600 km



Jako pierwsi wdrożyliśmy w Polsce technologię asfaltów wysokomodyfikowanych



2011

- Rozpoczęcie prac badawczych

2014

- Wprowadzenie **ORBITON HiMA** do oferty produktowej ORLEN Asfalt

2013

- Pierwszy w Polsce odcinek doświadczalny nawierzchni drogowej z zastosowaniem asfaltu wysokomodyfikowanego **ORBITON HiMA**

ORBITON HiMA

– najbardziej innowacyjny produkt na rynku

Główną ideą asfaltów wysokomodyfikowanych jest przeciwdziałanie spękanom nawierzchni, deformacjom trwałym (koleinom) oraz zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej warstw asfaltowych.



CZĘŚĆ I

ASFALTY I ICH WŁAŚCIWOŚCI



ROZDZIAŁ 1

NATURA CHEMICZNA LEPISZCZY ASFALTOWYCH

W dobie dzisiejszej technologii oraz potencjału dostępnych metod analitycznych i instrumentalnych możliwe jest badanie z niezwykłą dokładnością właściwości nawet najbardziej skomplikowanych materiałów organicznych.

W niniejszym rozdziale „sięgamy do wnętrza” lepiszczy asfaltowych przybliżając ich skład i strukturę chemiczną, budowę koloidalną, metody badań oraz wpływ natury chemicznej asfaltów na właściwości nawierzchni drogowej.

1.1. SKŁAD I STRUKTURA CHEMICZNA ASFALTÓW

Asfalt naftowy jest to skomplikowana mieszanina węglowodorów różnych szeregów homologicznych¹ oraz związków heteroorganicznych². Skład chemiczny asfaltu zależy od bardzo wielu czynników, między innymi: źródła ropy naftowej, technologii produkcji, sposobu modyfikacji asfaltu (w przypadku polimeroasfaltów) oraz stosowanych dodatków [4, 36].

W najlżejszych składnikach asfaltu obecne są związki o w miarę prostej budowie chemicznej, cięższe składniki zbudowane są z elementów o skomplikowanych, trudnych do identyfikacji strukturach. Złożona budowa lepiszczy asfaltowych sprawia tym samym, że dokładne zidentyfikowanie pojedynczych cząsteczek, staje się praktycznie niemożliwe. W przypadku cięższych frakcji asfaltu dodatkowe utrudnienia w badaniu ich struktury stanowią silne wiązania wewnątrzcząsteczkowe [5].

To wszystko sprawia, że poznanie składu i struktury chemicznej lepiszczy asfaltowych jest niezwykle trudne, dlatego z reguły poprzedzone jest rozdzieleniem asfaltu na frakcje charakteryzujące się podobną naturą chemiczną oraz zbliżoną masą cząsteczkową. Frakcje te nazywane są składnikami grupowymi asfaltu.

1.1.1. SKŁAD GRUPOWY LEPISZCZY ASFALTOWYCH

Po raz pierwszy podziału asfaltu na frakcje dokonano w 1913 roku [35]. Wyodrębniono wówczas z próbki lepiszcza asfaltowego cztery frakcje różniące się pomiędzy sobą rozpuszczalnością, były to:

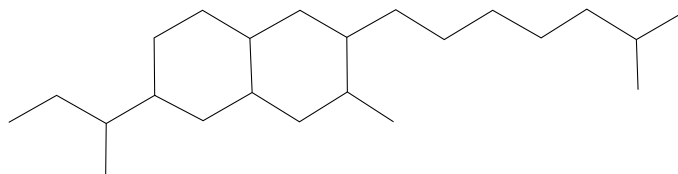
- Malteny,
- Asfalteny,
- Karbeny,
- Karboidy.

1) Szereg homologiczny – jest to zbiór związków chemicznych o zbliżonej budowie chemicznej i właściwościach, które daje się zapisać wspólnym wzorem sumarycznym. Przykładem szeregu homologicznego są m.in. alkany, alkeny lub alkiny, które różnią się między sobą tylko liczbą grup $-CH_2-$. Poszczególne związki z tego samego szeregu, nazywane są homologami.

2) Związki heteroorganiczne – jest to grupa związków chemicznych, w których co najmniej jeden atom węgla w łańcuchu głównym (węglowodorowym) został zastąpiony przez inny pierwiastek, np. tlen, azot, siarkę.

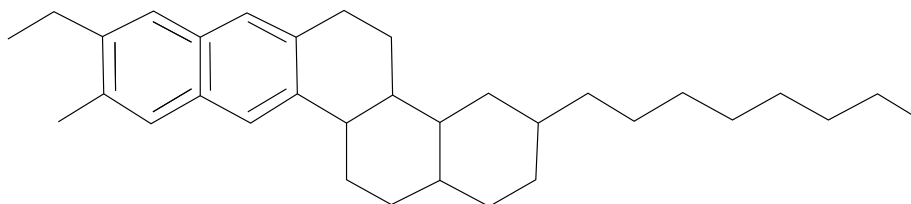
Wraz z rozwojem analityki chemicznej, metody rozdzielania asfaltu na poszczególne grupy przechodziły ciągłą ewolucję. Obecnie istnieje bardzo wiele sposobów frakcjonowania lepiszczycy asfaltowych, jednak do najbardziej popularnych zalicza się metody klasyfikujące skład grupowy asfaltu na cztery grupy, takie jak:

- **Związki nasycone** (*ang. Saturates*) – jest to frakcja ciekła, niepolarna, koloru żółtego lub jasnobrązowego, stanowiąca mieszaninę n-alkanów, izoalkanów, naftenów i alkilonaftenów. Przeważają w niej proste łańcuchowe węglowodory parafinowe o zawartości od 20-40 atomów węgla w cząsteczce. Przykładową strukturę związków nasyconych przedstawiono na rys. 1.1.



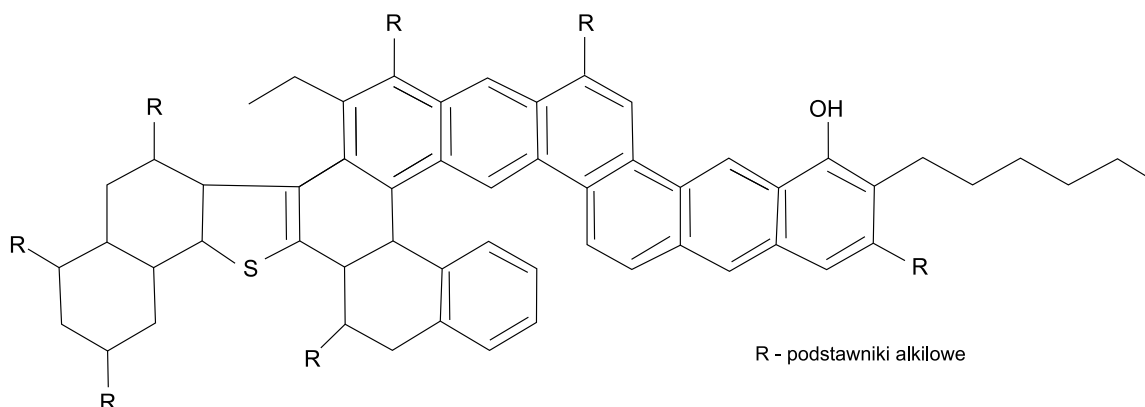
Rys.1.1. Przykładowa struktura związków nasyconych występujących w asfaltach [2,9]

- **Związki aromatyczne** (*ang. Aromatics*) – frakcja aromatyczna zawierająca skondensowane pierścienie aromatyczne i naftenowe, których średnia liczba w danej jednostce struktury wynosi od 4 do 6; jest to frakcja niepolarna asfaltu, ciekła. Przykładową strukturę prezentuje rys. 1.2.



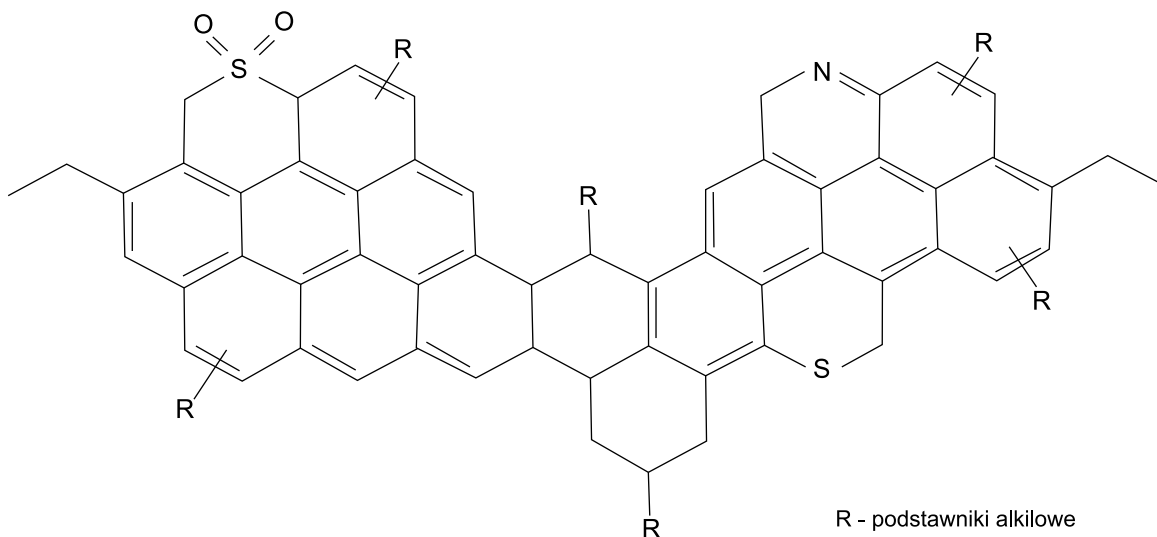
Rys.1.2. Przykładowa struktura związków aromatycznych występujących w asfaltach [2,9]

- **Żywicze** (*ang. Resins*) – wykazują większy stopień kondensacji pierścieni aromatycznych w porównaniu z frakcją aromatyczną. Struktury aromatyczne żywic zbudowane są średnio z 6-10 pierścieni. W żywicach obecnych jest większość heteroatomów występujących w asfalcie – są więc frakcją polarną asfaltu. Żywicze mają ciemnobrązowy kolor, występują raczej w stałym bądź półstałym stanie skupienia, są topliwe; rys. 1.3.



Rys.1.3. Przykładowa struktura żywic występujących w asfaltach [2, 9]

- **Asfalteny** (*ang. Asphaltenes*) – zbudowane są z układów skondensowanych pierścieni aromatycznych połączonych z grupami alkilowymi, pierścieniami naftenowymi i grupami funkcyjnymi zawierającymi heteroatomy, głównie azot, siarkę i tlen – są więc tak jak żywice związkami polarnymi. Mają najwyższą masę cząsteczkową ze wszystkich składników grupowych asfaltu. Asfalteny są twarde i kruche. Z reguły występują jako nietopliwe ciała stałe; rys. 1.4.



Rys.1.4. Przykładowa struktura asfaltenów występujących w asfaltach [2, 9]

W lepiszczach asfaltowych możemy określić ich mikro- i makrostrukturę.

Składniki grupowe asfaltu składają się na jego **mikrostrukturę**, w której zasadniczo możemy wyróżnić:

- Pierścienie aromatyczne,
- Pierścienie naftenowe,
- Łańcuchy alifatyczne,
- Cząsteczki zawierające heteroatomy.

Złożoność mikrostruktury chemicznej asfaltu wzrasta w następującej kolejności:
związki nasycone → związki aromatyczne → żywice → asfalteny [11].

Z kolei, **makrostrukturę** lepiszczy asfaltowych tworzą [11, 12]:

- **Jednostki elementarne** – składające się ze skondensowanych pierścieni aromatycznych i naftenowych zawierających jako podstawniki długie łańcuchy alkilowe,
- **Cząstki** – są to struktury zawierające zwykle od 4 do 6 jednostek elementarnych, połączonych ze sobą za pomocą wiązań wewnątrzcząsteczkowych oraz mostków zawierających heteroatomy,
- **Micelle** – złożone układy cząstek, oddziałujących pomiędzy sobą za pomocą wiązań wewnątrzcząsteczkowych; mogą zawierać nawet kilkanaście jednostek elementarnych.

1.1.2. METODY ROZDZIAŁU ASFALTU NA SKŁADNIKI GRUPOWE

Tak jak napisano powyżej, aby lepiej poznać naturę chemiczną asfaltu, należy w pierwszej kolejności dokonać rozdziału jego składników na frakcje.

Do najpopularniejszych metod podziału asfaltu należą metody frakcjonowania oparte na różnicach w rozpuszczalności poszczególnych składników grupowych (tzw. **metody rozpuszczalnikowe**) oraz **metody adsorpcyjno-rozpuszczalnikowe**.

Rozdziału asfaltu na poszczególne składniki **metodami rozpuszczalnikowymi** można dokonać na drodze ekstrakcji lub wytrącania poprzez zastosowanie selektywnych rozpuszczalników.

- **Metoda ekstrakcyjna** polega na traktowaniu próbki asfaltu rozpuszczalnikami selektywnymi w stosunku do jednego, określonego składnika grupowego.
- W przypadku **metody wytrącania**, asfalt rozpuszcza się najpierw w rozpuszczalniku, np. w toluenie, a następnie z otrzymanego roztworu wydziela się za pomocą selektywnych rozpuszczalników szersze lub węższe frakcje [1].

Metody adsorpcyjno-rozpuszczalnikowe łączą w sobie wydzielenie asfaltenów za pomocą selektywnego rozpuszczalnika (np. n-heptanu) z rozdziałem pozostałych składników grupowych metodą chromatografii³ adsorpcyjno-eluencyjnej. Jako adsorbent na kolumnie chromatograficznej stosuje się najczęściej żel krzemionkowy (SiO₂) lub tlenek glinu (Al₂O₃). Bardzo ważną rolę odgrywa tutaj właściwy dobór eluentów (w tym przypadku rozpuszczalników przepuszczanych przez kolumnę chromatograficzną) oraz kolejność ich stosowania. Zgodnie z ogólnie przyjętymi zasadami, rozpuszczalniki stosuje się zgodnie z ich wzrastającą polarnością [13, 21].

W badaniach prowadzonych przez Dział Badań i Rozwoju ORLEN Asphalt, stosowano między innymi metodę rozdziału próbek asfaltów na poszczególne składniki grupowe z wykorzystaniem chromatografii adsorpcyjno-eluencyjnej [13]. Rozdział asfaltu na frakcje prowadzono zgodnie z normą ASTM D 4124-01 [21]. Metoda polega na rozdzieleniu badanej próbki asfaltu na cztery grupy:

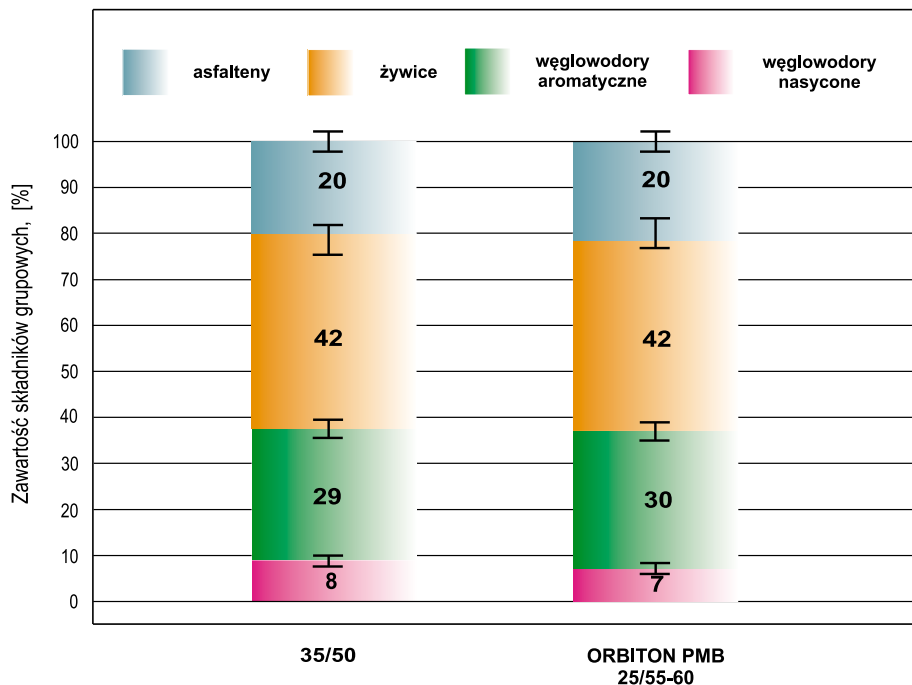
- asfalteny,
- związki nasycone (oleje),
- nafteny aromatyczne (węglowodory aromatyczne),
- związki aromatyczne polarne (żywice).

Asfalteny wydziela się jako pierwsze, strącając je przy użyciu n-heptanu. Następnie, pozostałe składniki grupowe rozdziela się na kolumnie chromatograficznej wypełnionej wyprażonym tlenkiem glinu, przepuszczając kolejno przez kolumnę następujące rozpuszczalniki:

- n-heptan + toluen – wydzielenie frakcji związków nasyconych,
- toluen + metanol – wydzielenie frakcji węglowodorów aromatycznych,
- trichloroetylen – wydzielenie frakcji żywic.

3) Chromatografia – jest to technika analityczna, służąca do rozdzielania złożonych mieszanin związków chemicznych.

Przykładowe wyniki badań składu grupowego asfaltu 35/50 oraz asfaltu modyfikowanego polimerami 25/55-60, wraz z zaznaczoną precyzją pomiaru, uzyskane metodą chromatografii adsorpcyjno-eluencyjnej, przedstawiono na rys. 1.5.



Rys.1.5. Przykładowe wyniki badań składu grupowego asfaltów: 35/50 oraz PMB 25/55-60, uzyskane metodą chromatografii adsorpcyjno-eluencyjnej [badania własne ORLEN Asphalt]

Bardzo popularne są również metody rozdzielenia asfaltu na frakcje za pomocą klasycznej chromatografii cieczowej, wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC), chromatografii jonowymiennej (IEC) oraz chromatografii cienkowarstwowej (TLC) [15, 16, 17, 36]. Należy zaznaczyć, że w wyniku rozdzielenia próbki asfaltu na poszczególne frakcje za pomocą wszystkich wyżej wymienionych metod otrzymuje się dla niej porównywalny skład grupowy SARA (*Saturates / Aromatics / Resins / Asphaltenes*) [36].

Z kolei, do otrzymywania wąskich lub bardzo wąskich frakcji służą przede wszystkim metody instrumentalne, takie jak: chromatografia gazowa (GC), chromatografia gazowa w warunkach nadkrytycznych, destylacja molekularna oraz dyfuzja termiczna.

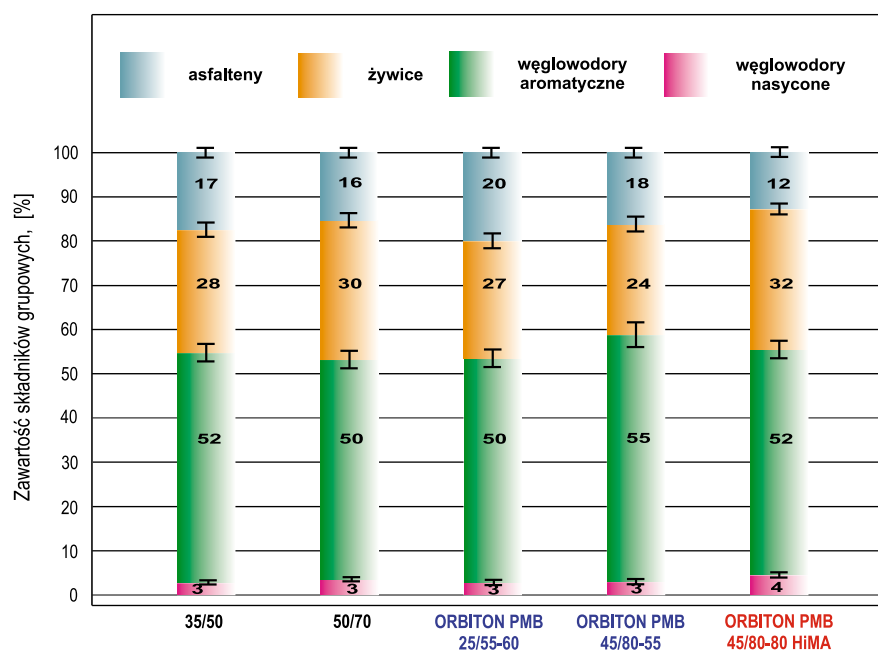
Dział B+R ORLEN Asphalt do badań składu grupowego produkowanych asfaltów wykorzystuje również metodę chromatografii cienkowarstwowej TLC z detektorem płomieniowo – jonizacyjnym FID – metoda TLC/FID.

W wyniku podziału próbki asfaltu powyższą metodą uzyskuje się cztery frakcje – SARA. Analizy wykonuje się w aparacie IATROSCAN, rys.1.6.



Rys. 1.6. Aparat IATROSCAN, widok ogólny (fot. PARAMO, a.s.)

Przykładowe wyniki badań składu grupowego wybranych asfaltów drogowych, modyfikowanych oraz wysokomodyfikowanych, wykonane w aparacie IATROSCAN, metodą TLC/FID, przedstawiono na rys. 1.7.



Rys. 1.7. Przykładowe wyniki badań składu grupowego (SARA) asfaltów drogowych, modyfikowanych oraz wysokomodyfikowanych, uzyskane metodą TLC/FID [badania własne ORLEN Asphalt]

Należy zaznaczyć, że ze względu na bardzo skomplikowany charakter chemiczny lepiszczy asfaltowych, badanie ich składu chemicznego jest niezwykle trudne i w zależności od zastosowanej metody pomiarowej, nawet dla tej samej próbki możliwe jest uzyskanie różnych wyników. Dlatego też, należy mieć na uwadze, że wyniki badań składu grupowego przedstawione na rys. 1.5. oraz 1.7. zostały otrzymane dwiema różnymi metodami i nie należy ich bezpośrednio ze sobą porównywać.

W latach 2015-2017, w Dziale B+R ORLEN Asphalt, prowadzono również badania składu grupowego lepiszczy asfaltowych z wykorzystaniem wysokosprawnej chromatografii cieczowej HPLC (rys. 1.8.) oraz chromatografii gazowej GC (rys. 1.9.). Prace wykonywano w laboratorium badawczym UniCRE (*Unipetrol Centre for Research and Education, a.s.*) w Czechach.

Ze względu na to, że prowadzone badania były badaniami wyłącznie rozpoznawczymi, otrzymane wyniki nie będą tutaj prezentowane.



Rys. 1.8. Wysokosprawne chromatografy cieczowe HPLC, widok ogólny (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o. dzięki uprzejmości UniCRE)



Rys. 1.9. Chromatografy gazowe, widok ogólny (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o. dzięki uprzejmości UniCRE)

Jedną z ciekawszych metod rozdziału asfaltu na frakcje jest chromatografia permeacyjna na żelu polistyrenowym (GPC). Metoda ta pozwala na selektywny rozdział składników grupowych asfaltu wg ich masy cząsteczkowej. W ramach amerykańskiego programu SHRP stosowano metodą GPC do frakcjonowania próbek lepiszczy asfaltowych, które następnie wykorzystywano do badań ich struktury [18].

1.1.3. SKŁAD ELEMENTARNY ASFALTU

Skład elementarny lepiszczy asfaltowych jest zróżnicowany w zależności od natury chemicznej ropy naftowej, z której zostały one wyprodukowane. Ogólnie można założyć, że mieści się on w następujących ramach, (tabela 1.1.):

Tabela 1.1. Skład elementarny lepiszczy asfaltowych wg [1]

Nazwa pierwiastka		Symbol chemiczny	Zawartość w asfalcie [%]
Węgiel		C	82 – 88
Wodór		H	8 – 11
Heteroatomy	Siarka	S	0 – 6
	Tlen	O	0 – 1,5
	Azot	N	0 – 1

W literaturze znaleźć można również szereg informacji na temat składu elementarnego poszczególnych składników grupowych asfaltu – one także różnią się między sobą zawartością procentową poszczególnych pierwiastków. Przykładowe wyniki przedstawiono w tabeli 1.2.

Tabela 1.2. Skład elementarny poszczególnych składników grupowych wg [1]

Składnik grupowy	Zawartość w asfalcie [%]				
	węgiel	wodór	siarka	azot	tlen
Związki nasycone	85 – 90	9,5 – 14,0	≤ 2,0	—	—
Związki aromatyczne	82 – 86	8,5 – 10,5	≤ 7,0	≤ 1,0	≤ 5,0
Żywice	77 – 88	9,0 – 12,0	0,4 – 10,0	0,2 – 2,0	0,4 – 7,2
Asfalteny	78 – 89	6,5 – 11,0	0,3 – 10,3	0,6 – 3,3	0,3 – 4,9

W żywicach i asfaltenach skoncentrowana jest większość pozostałych pierwiastków obecnych w asfalcie, tj. wanad, nikiel, żelazo, miedź, magnez, tytan, molibden, chrom oraz glin – dzięki tym pierwiastkom są one fazą polarną asfaltu.

1.1.4. MASA CZĄSTECZKOWA ASFALTU

Masa cząsteczkowa asfaltu dostarcza wielu cennych informacji dotyczących jego właściwości. Pozwala między innymi na ocenę stopnia asocjacji⁴ składników grupowych oraz stanowi jedną z ważnych danych potrzebnych do obliczania parametrów strukturalnych lepiszczy asfaltowych. Ze względu na to, że lepiszcza asfaltowe zawierają dużą liczbę różnych związków chemicznych o bardzo zróżnicowanej masie cząsteczkowej, wahającej się w przedziale od 300 do prawie 10 000 Daltonów⁵ – masa cząsteczkowa asfaltu jest zawsze wartością średnią.

Istnieje wiele metod analitycznych, służących do pomiaru masy cząsteczkowej asfaltów. Najpopularniejsze z nich to [19]:

- Metoda osmometryczna (VPO – *Vapour Pressure Osmometry*)
- Metoda lepkościowa
- Chromatografia permeacyjna na żelu polistyrenowym (GPC – *Gel Permeation Chromatography*)
- Metoda ebulioskopowa
- Metoda krioskopowa
- Ultrawiórowanie i ultrafiltracja
- Spektroskopia rozpraszania promieni rentgenowskich SAXS
- Spektroskopia rozpraszania promieniowania neutronowego SANS

Ponieważ asfalt jest materiałem o niezwykle skomplikowanej naturze chemicznej, w zależności od zastosowanej metody pomiarowej, nawet dla tej samej próbki asfaltu możliwe jest uzyskanie zróżnicowanych wyników. Przyczyną takiego zachowania asfaltu jest w głównej mierze silna asocjacja cząsteczek, głównie asfaltenów. Średnia masa cząsteczkowa może zmieniać się w zależności od użytego rozpuszczalnika, jego stężenia czy temperatury prowadzenia pomiaru [20].

1.2. METODY BADAŃ STRUKTURY CHEMICZNEJ LEPI SZCZY ASFALTOWYCH

Na przestrzeni ostatnich lat, teorie dotyczące struktury chemicznej asfaltów ulegały ciągłym modyfikacjom, ze względu na rozwój metod badawczych oraz coraz bardziej zaawansowane możliwości aparatury do analizy spektralnej.

Obecnie, najczęściej do badania struktury chemicznej lepiszczy asfaltowych stosuje się metody spektroskopowe, takie jak: spektroskopia magnetycznego rezonansu jądrowego – NMR, spektroskopia w podczerwieni – IR, IR/FID oraz spektroskopia rentgenowska. Bardzo popularne są również metody mikroskopowe, takie jak AFM (*Atomic Force Microscope*) oraz SEM (*Scanning Electron Microscope*), dzięki którym możliwe jest uzyskiwanie obrazów o bardzo wysokiej rozdzielczości i ostrości. W tabeli 1.3. przedstawiono najbardziej popularne metody instrumentalne służące do badania struktury chemicznej lepiszczy asfaltowych, ich wady i zalety oraz parametry strukturalne asfaltów, które możemy oznaczyć za pomocą tych metod.

4) Asocjacja cząsteczek – wiązanie się pojedynczych cząsteczek związków chemicznych w duże, bądź bardzo duże zespoły cząsteczkowe – asocjaty. Asocjacja występuje w cząsteczkach polarnych, zdolnych do tworzenia wiązań wodorowych.

5) Dalton – jest to jednostka masy cząsteczkowej.

Tabela 1.3. Metody instrumentalne stosowane w badaniu struktury chemicznej lepiszcy asfaltowych [opracowanie własne, na podstawie: 1, 12, 17, 18, 37]

Metoda badania	Określone parametry strukturalne asfaltu	Zalety zastosowanej metody	Wady zastosowanej metody
Spektroskopia masowa MS	<ul style="list-style-type: none"> masa cząsteczki jednostki elementarnej danej struktury rodzaje węglowodorów obecne w lżejszych frakcjach asfaltu 	<ul style="list-style-type: none"> bardzo dokładny pomiar mas cząsteczkowych związków chemicznych możliwość ustalania budowy cząsteczek związków chemicznych możliwość oznaczenia składu jakościowego i ilościowego mieszaniny związków (spektroskopia masowa sprzężona z chromatografią gazową) określanie stopnia czystości danego związku 	<ul style="list-style-type: none"> aparaty wykorzystywane w spektroskopii mas są bardzo drogie w przypadku analizy widm nieznanych związków konieczna jest znajomość zasad interpretacji i odczytywania sygnałów metoda destrukcyjna dla badanych próbek
Spektroskopia rentgenowska XRD	<ul style="list-style-type: none"> średnica jednostki elementarnej struktury średnica poszczególnych klasterów (cząstek/miceli) odległość pomiędzy układami pierścieni aromatycznych odległość pomiędzy łańcuchami węglowodorowymi 	<ul style="list-style-type: none"> możliwość dokładnego ustalenia struktury chemicznej związków chemicznych, umożliwiającą zbudowanie ich rzeczywistego modelu przestrzennego jedyna metoda pozwalająca bezpośrednio określić absolutną konfigurację cząsteczek w przeciwieństwie do wielu innych metod jakościowych i ilościowych próbka zwykle nie ulega zniszczeniu w trakcie badania 	<ul style="list-style-type: none"> konieczność uzyskania czystego monokryształu analizowanego związku chemicznego – w przypadku niektórych związków chemicznych wyhodowanie takiego kryształu jest bardzo trudne, a czasem wręcz niemożliwe niektóre kryształy mogą być nietrwałe w temperaturze pokojowej, bądź ulegać rozkładowi pod wpływem promieniowania rentgenowskiego wysoki koszt i czasochłonność wykonywania takiej analizy
Fluorescencja rentgenowska XRF	<ul style="list-style-type: none"> koncentracja i obecność pierwiastków metalicznych występujących w próbce 	<ul style="list-style-type: none"> możliwość analizy wielu pierwiastków jednocześnie możliwość analizy jakościowej i ilościowej relatywnie nieskomplikowane do interpretacji widma metoda nie wymaga specjalistycznego przygotowania próbek metoda nieniszcząca – próbka może być poddana dalszej analizie aparatura łatwa w obsłudze krótki czas trwania analizy 	<ul style="list-style-type: none"> występują ograniczenia aparaturowe w analizie próbek niehomogenicznych (niejednorodnych) mogą występować utrudnienia w analizie ilościowej wynikające z tzw. efektu matrycy brak informacji o stopniu utlenienia pierwiastków wysokie koszty aparatury pomiarowej
Spektroskopia rozpraszania promieni rentgenowskich SAXS	<ul style="list-style-type: none"> rozmiary cząstek kształt cząstek 	<ul style="list-style-type: none"> możliwość bardzo dokładnego pomiaru rozmiaru i kształtu cząstek elementarnych 	<ul style="list-style-type: none"> konieczność uzyskania czystych i jednorodnych materiałów do badań wysoki koszt wykonywanej analizy dokładność pomiarów, zależna od doświadczenia obsługi i właściwej analizy matematycznej
Spektroskopia w podczerwieni IR	<ul style="list-style-type: none"> obecność grup funkcyjnych we frakcjach polarnych asfaltu wykrywanie obecności modyfikatorów, np. polimerów 	<ul style="list-style-type: none"> pozwała wykrywać niemal ze 100% pewnością obecność grup funkcyjnych w danej cząsteczce możliwość określania czystości związków chemicznych pozwała kontrolować przebieg reakcji chemicznej wykorzystywana jest w analizie ilościowej dostępnych jest wiele odmian tej techniki (np. tradycyjna spektroskopia transmisyjna, spektroskopia ATR, spektroskopia odbiciowa, spektroskopia w podczerwieni z transformacją Fouriera – FT-IR) 	<ul style="list-style-type: none"> w oparciu jedynie o spektroskopię IR trudno jest jednoznacznie określić dokładną strukturę związku organicznego – zwłaszcza przy bardziej skomplikowanych i złożonych związkach niektóre sygnały obecne na obrazie spektroskopowym mogą być trudne do zinterpretowania, zwłaszcza te znajdujące się w obszarze daktyloskopowym

Tabela 1.3. Metody instrumentalne stosowane w badaniu struktury chemicznej lepiszczy asfaltowych c.d.

Metoda badania	Określane parametry strukturalne asfaltu	Zalety zastosowanej metody	Wady zastosowanej metody
Spektroskopia jądrowego rezonansu magnetycznego ¹ H NMR ¹³ CNMR	<ul style="list-style-type: none"> • udział atomów H i C w poszczególnych typach struktur w cząsteczce • stopień kondensacji układów pierścieni aromatycznych • stopień podstawienia i długość łańcuchów alifatycznych 	<ul style="list-style-type: none"> • pozwala na wyznaczenie wzoru strukturalnego niemal każdego związku chemicznego • umożliwia badanie procesów dynamicznych, kinetyki reakcji oraz równowag chemicznych • wykorzystywana jest do pomiarów jakościowych oraz ilościowych • metoda szybka i bardzo dokładna 	<ul style="list-style-type: none"> • aparaty wykorzystywane w spektroskopii NMR są jednymi z najdroższych (zwłaszcza te o wysokiej częstotliwości) • w przypadku analizy widm nieznanymi związków konieczna jest znajomość zasad interpretacji i odczytywania sygnałów
Spektroskopia paramagnetycznego rezonansu elektronowego EPR	<ul style="list-style-type: none"> • stopień kondensacji i podstawienia pierścieni aromatycznych • obecność wolnych rodników 	<ul style="list-style-type: none"> • pozwala na wykrycie i uzyskanie informacji o otoczeniu danej cząsteczki • umożliwia badanie przebiegu i kinetyki niemal każdej reakcji chemicznej • metoda charakteryzująca się wysoką czułością • nieskomplikowana preparatyka próbek 	<ul style="list-style-type: none"> • kosztowny sprzęt • trudna interpretacja uzyskanych obrazów spektroskopowych

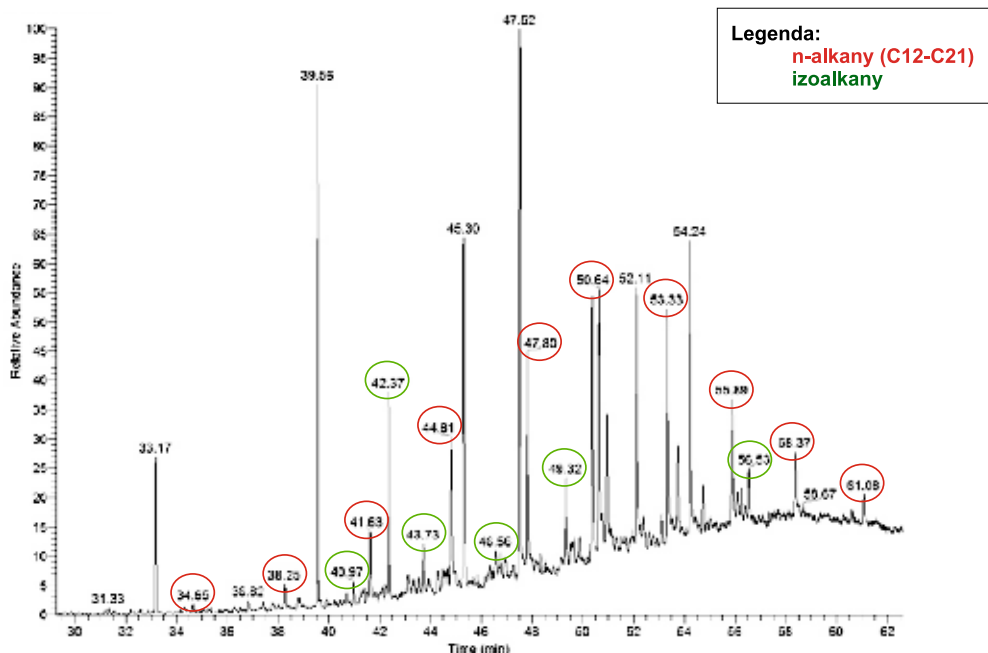
Najlepsze wyniki analizy struktury chemicznej lepiszczy asfaltowych uzyskuje się poprzedzając pomiar spektroskopowy rozdzieleniem asfaltu na poszczególne frakcje.

Do najbardziej popularnych metod spektroskopowych sprzężonych z metodami rozdzielania związków organicznych na frakcje, należą:

- Chromatografia gazowa sprzężona z:
 - Spektrometrią mas – GC/MS
 - Spektrometrią IR – GC/FT-IR
- Chromatografia ciekłowa sprzężona z:
 - Spektrometrią UV/VIS – LC/UV-VIS
 - Spektrometrią mas – LC/MS
 - Spektrometrią NMR – LC/NMR
 - Detektorem płomieniowo-jonizacyjnym – TLC/FID

Połączenie metod rozdzielania z metodami spektroskopowymi daje praktycznie nieograniczone możliwości w identyfikacji związków organicznych, w tym także lepiszczy asfaltowych.

W Dziale Badań i Rozwoju ORLEN Asphalt, prowadzono doświadczenia badania struktury chemicznej lepiszczy asfaltowych z wykorzystaniem chromatografii gazowej sprzężonej z spektrometrią mas – metoda GC/MS. Wycinek z przykładowego widma asfaltu modyfikowanego polimerami prezentujący frakcje związków nasyconych przedstawiono na rys. 1.10. Badania wykonywano w laboratorium badawczym UniCRE (*Unipetrol Centre for Research and Education, a.s.*) w Czechach.



Rys. 1.10. Przykładowe widmo asfaltu modyfikowanego polimerami, otrzymane metodą GC/MS; frakcja związków nasyconych [badania własne ORLEN Asphalt]

1.3. BUDOWA KOLOIDALNA ASFALTÓW

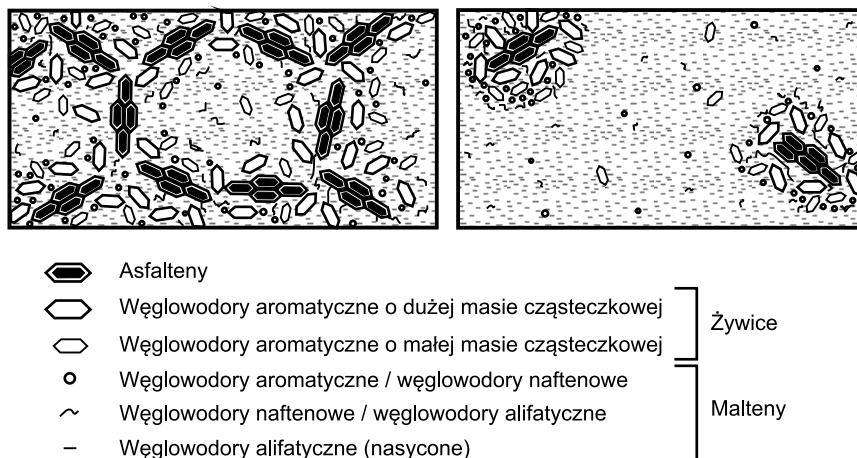
Według najpopularniejszej teorii, asfalt jest układem koloidalnym, w którym asfalteny stanowią fazę zdyspergowaną, natomiast malteny fazę dyspergującą. W celu określenia różnic w budowie koloidalnej asfaltów i wynikającej stąd odmienności w ich właściwościach reologicznych, wyróżniono trzy podstawowe typy układów koloidalnych: żel, zol, oraz zol-żel [22]:

Układ koloidalny typu ŻEL – charakteryzuje się dużą zawartością asfaltenów stabilizowanych żywicami; w takim układzie mogą zachodzić zjawiska tiksotropii (odwrotna przemiana zol ↔ żel); asfalty o strukturze żelu są ciałami o właściwościach głównie sprężystych. Charakteryzują się bardzo małą wrażliwością temperaturową, dużą twardością, niską ciągliwością oraz dosyć wysoką lepkością. W warunkach krytycznych mogą wykazywać charakter kruchej ciała stałego. Są to z reguły asfalty utlenione i przemysłowe – o niskiej zawartości olejów.

Układ koloidalny typu ZOL – charakteryzuje się niewielką ilością asfaltenów oddzielonych od siebie grubymi błonami żywic asfaltowych, które odpowiadają za stabilizację koloidu; całość zawieszona jest w roztworze maltenów. Asfalty typu zol wykazują dobrą ciągliwość, małą tiksotropię, szybko ulegają fizycznemu twardnieniu, są wrażliwe na zmiany temperatury – łatwo upłynniają się ze wzrostem temperatury, w niskich temperaturach są twarde i kruche. Należą do nich asfalty o wysokiej zawartości olejów.

Układ koloidalny typu ZOL-ŻEL – jest to układ pośredni pomiędzy dwoma powyższymi. Asfalty typu zol-żel wykazują cechy lepkosprężyste. W niskich temperaturach posiadają właściwości sprężyste, powyżej temperatury mięknięcia są lepkiemi cieczami. Asfalty tego typu są odporne termicznie: zachowują plastyczność w niskiej temperaturze, w wysokiej są odporne na deformacje, w temperaturze pośredniej wykazują dużą ciągliwość i kohezję. Są odporne na starzenie.

Na rysunku 1.11. przedstawiono schematyczną budowę koloidalną asfaltów typu żel i zol.



Rys.1.11. Schematyczne przedstawienie budowy koloidalnej asfaltu typu żel (z lewej) i zol (z prawej) [34]

Typ budowy koloidalnej lepiszczy asfaltowych jest zdeterminowany przez temperaturę oraz ich skład i strukturę chemiczną. Wykazano, że zawartość żywic oraz charakter chemiczny maltenów mają większy wpływ na typ budowy koloidalnej niż zawartość asfaltenów [23, 24]. Mniejsza ilość struktur asfaltenowych, dobrze asocjowanych przez żywice oraz aromatyczny charakter maltenów sprzyja formowaniu się struktury typu zol. Z kolei większa ilość struktur asfaltenowych, przy nie za dużej ilości żywic, ale wystarczającej do ich asocjacji sprzyja powstawaniu struktury typu żol-żel. Budowa koloidalna typu żel tworzy się przy małej zawartości żywic w stosunku do dużej ilości asfaltenów oraz słabszym charakterze aromatycznym maltenów. Asfalty o budowie koloidalnej typu żel charakteryzują się mniejszą homogenicznością, w porównaniu do asfaltów o strukturze zolu [25].

Na przestrzeni ostatnich lat, do określania typu budowy koloidalnej asfaltu stosowano różne metody analityczne. Obecnie, za pomocą między innymi technik mikroskopowych, takich jak mikroskopia elektronowa czy mikroskopia fluorescencyjna jesteśmy w stanie dokładnie ustalić i opisać typ budowy koloidalnej danego asfaltu [26, 27]. Najnowocześniejszymi technikami instrumentalnymi stosowanymi do badania układów koloidalnych są spektroskopia SAXS (*Small-angle X-ray scattering*) oraz SANS (*Small-angle neutron scattering*). Dzięki nim możliwe jest również oznaczenie rozmiarów oraz stopnia rozproszenia cząstek w asfaltach [25, 28].

1.3.1. STABILNOŚĆ BUDOWY KOLOIDALNEJ

Trwałość danej struktury koloidalnej określa się mianem stabilności. Do określania stabilności koloidalnej asfaltów stosuje się wskaźnik CI, określony wzorem [29]:

gdzie:

$$CI = \frac{A_1 + S}{R + A_2}$$

- A_1 – zawartość asfaltenów (ang. *Asphaltenes*)
- S – zawartość związków nasyconych (ang. *Saturates*)
- R – zawartość żywic (ang. *Resins*)
- A_2 – zawartość związków aromatycznych (ang. *Aromatics*)

Większa wartość CI oznacza mniejszą stabilność koloidalną. Wskaźnik koloidalny ma jednak wartość jedynie orientacyjną i służy przede wszystkim do porównywania różnych rodzajów asfaltów pomiędzy sobą.

Inną metodą, służącą do oceny stabilności koloidalnej asfaltów jest miareczkowanie roztworu asfaltu n-alkanem, a następnie obserwacja przy użyciu spektrometru UV/VIS stopnia wytrącenia asfaltów. W wyniku badań prowadzonych tą metodą można obliczyć szereg wskaźników, takich jak: zdolność maltenów do asocjacji asfaltów, stabilność koloidalną badanego asfaltu oraz parametry opisujące peptyzowalność asfaltów [30].

1.4. WPŁYW NATURY CHEMICZNEJ LEPI SZCZY ASFALTOWYCH NA ICH WŁAŚCIWOŚCI

Nie ulega wątpliwości, że właściwości fizykochemiczne i reologiczne lepiszczy asfaltowych, zależą w głównej mierze od ich składu i struktury chemicznej. W różnych badaniach naukowych prowadzonych na całym świecie wykazano, że nawierzchnie asfaltowe wykonane z mieszanek mineralno-asfaltowych o takim samym składzie, zawierające asfalty tej samej klasy (np. o tej samej wartości penetracji) lecz różnego pochodzenia – o różnym składzie chemicznym, zachowywały się zupełnie odmiennie podczas ich eksploatacji [2].

Na trwałość nawierzchni drogowych, główny wpływ mają skład i właściwości mieszanki mineralno-asfaltowej, konstrukcja budowanej drogi oraz samo jej wykonanie, jednak skład i struktura chemiczna użytego asfaltu również odgrywa istotną rolę w osiągnięciu pożądanych właściwości nawierzchni. Poszczególne składniki grupowe asfaltu w różny sposób wpływają na jego właściwości, np. duża ilość asfaltów i żywic powoduje spadek penetracji i wzrost lepkości, ciągliwość zwiększa się wraz ze wzrostem zawartości węglowodorów aromatycznych i żywic, a właściwości w niskiej temperaturze są uzależnione w głównym stopniu od zawartości składników nasyconych [3].

W tabeli 1.4. przedstawiono wpływ poszczególnych składników grupowych na najważniejsze właściwości asfaltu.

Tabela 1.4. Wpływ poszczególnych składników grupowych na właściwości asfaltu [opracowanie własne, na podstawie: 5, 6, 9, 26]

Malteny (oleje)		Żywie	Asfalteny
Związki nasycone	Związki aromatyczne		
Oleje nadają elastyczność asfaltom oraz odpowiednią konsystencję, miękkość, plastyczność i zdolność do upłynniania. W czasie utleniania przechodzą w żywice a następnie w asfalteny.		Charakteryzuje je wysoka ciągliwość oraz wysoka temperatura topnienia. Stabilizują układ koloidalny asfaltu. W temperaturach dodatnich – żywice zwiększają ciągliwość i plastyczność asfaltu, w niskich – wpływają na podwyższenie sztywności. Ponadto, odpowiadają za adhezję asfaltu do kruszyw oraz właściwości niskotemperaturowe.	Asfalteny zawierające duże ilości asfaltów są twarde, sztywne, kruche i słabo rozpuszczalne. Asfalteny odpowiadają za temperaturę mięknięcia PiK, penetrację oraz lepkość. Duża zawartość asfaltów powoduje spadek penetracji asfaltu oraz wzrost PiK, przeszkadza również w modyfikacji asfaltów polimerami.
Duża zawartość związków nasyconych wpływa na poprawę temperatury łamliwości Fraassa, podwyższenie penetracji i obniżenie temperatury mięknięcia PiK, wpływa również na pogorszenie przyczepności asfaltu do kruszywa.	Związki aromatyczne odpowiadają za podstawowe parametry asfaltu, min. za zdolność do modyfikacji polimerami – bardzo duża lub bardzo mała zawartość aromatów znacznie utrudnia modyfikację. Związki aromatyczne wpływają również na właściwości niskotemperaturowe oraz ciągliwość asfaltów.		

Należy pamiętać jednak, że nie bezwzględna wartość poszczególnych składników grupowych, ale wzajemne proporcje pomiędzy nimi determinują w głównej mierze właściwości lepkości asfaltowych. Wpływ tych proporcji można ująć w następujący sposób:

- zwiększenie zawartości żywic przy nie zmieniającej się zawartości asfaltenu oraz stałych proporcjach węglowodorów nasyconych do aromatycznych, powoduje zwiększenie lepkości i temperatury mięknienia oraz obniżenie penetracji
- zachowanie stałych proporcji żywic i węglowodorów aromatycznych, przy jednoczesnym zwiększeniu zawartości składników nasyconych prowadzi do obniżenia temperatury mięknienia i pogorszenia ciągliwości.

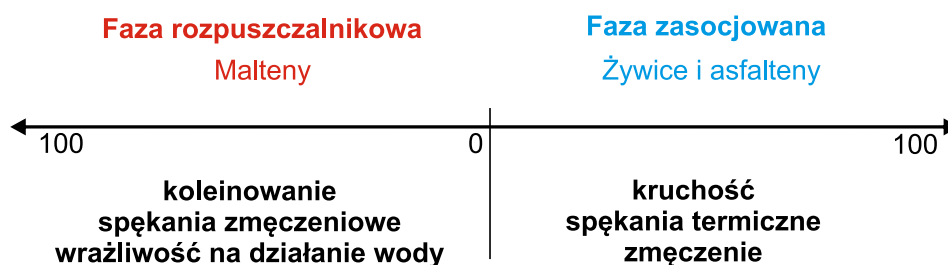
Składniki grupowe asfaltu zawierające polarne grupy funkcyjne, oddziaływając ze sobą za pomocą silnych wiązań wewnątrzcząsteczkowych powodują wzrost lepkości. Poprzez te wiązania, asfaltyny, które posiadają najwięcej polarnych grup funkcyjnych występują głównie jako ciała stałe oraz charakteryzują się najwyższą lepkością spośród wszystkich składników asfaltu.

Masa cząsteczkowa oraz siły wzajemnego oddziaływania pomiędzy poszczególnymi składnikami grupowymi asfaltu również mają wpływ na jego właściwości końcowe. Wykazano, że im większa średnia masa cząsteczkowa asfaltu, tym jest on twardszy i powoduje zwiększenie podatności nawierzchni na spękania [18].

Struktura chemiczna asfaltu wpływa także na wartość kohezji. Zbyt mała energia kohezji prowadzi do koleinowania nawierzchni w wysokiej temperaturze, z kolei zbyt duża powoduje jej pękanie w niskiej temperaturze [32].

W ramach amerykańskiego programu SHRP, opracowano teorie dotyczącą wpływu składu chemicznego asfaltu na właściwości użytkowe nawierzchni. Uwzględnia ona m.in. podział składników grupowych asfaltu na dwie fazy: fazę rozpuszczalnikową (malteny) oraz fazę zasocjowaną (żywice i asfaltyny) [31].

Na rysunku 1.12. przedstawiono w schematyczny sposób wpływ obydwóch faz na powstawanie określonych rodzajów zniszczeń nawierzchni drogowej.



Rys. 1.12. Zależność pomiędzy zawartością fazy zasocjowanej i rozpuszczalnikowej w asfalcie a zachowaniem nawierzchni drogowej [1]

1.5. MODYFIKACJA LEPI SZCZY ASFALTOWYCH POLIMERAMI

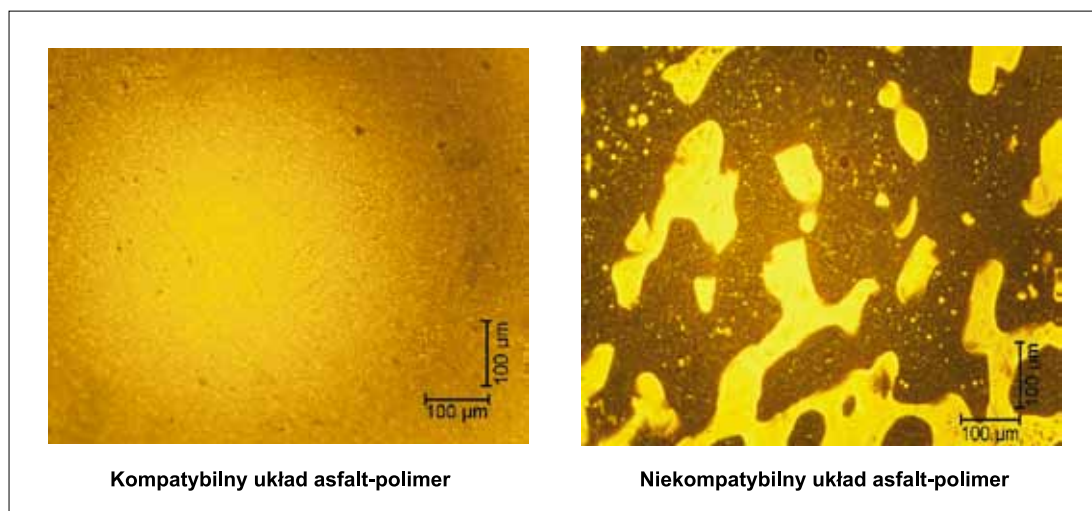
Skład i struktura chemiczna lepiszczy asfaltowych odgrywa również niebagatelną rolę w dobieraniu odpowiedniej bazy asfaltowej do modyfikacji asfaltu polimerami.

Podstawowym warunkiem stosowalności polimeru jako modyfikatora jest jego kompatybilność z asfaltem. Kompatybilność (zgodność) zależy od składu chemicznego asfaltu, właściwości polimeru oraz podobieństwa struktury polimeru do struktury węglowodorów występujących w asfalcie.

Do oceny proporcji pomiędzy węglowodorami, czyli kompatybilności danego asfaltu i polimeru, stosuje się wskaźnik stabilności koloidalnej CI, opisany w pkt. 1.3.1.

Asfalty bazowe posiadające wskaźnik CI w przedziale $0,08 \div 0,36$ są z reguły kompatybilne z polimerem SBS.

Na rysunku 1.13. przedstawiono przykładowe zdjęcia mikroskopowe obrazujące kompatybilny oraz niekompatybilny układ asfalt – polimer. Zdjęcia pochodzą z jednej z prac badawczych prowadzonych przez Dział Badań i Rozwoju ORLEN Asphalt. Zostały wykonane mikroskopem fluorescencyjnym z lampą UV poprzez analizę obrazu w świetle odbitym, wg normy PN-EN 13632 [33].



Rys. 1.13. Zdjęcia mikroskopowe obrazujące kompatybilny oraz niekompatybilny układ asfalt – polimer
[badania własne ORLEN Asphalt]

1.6. PODSUMOWANIE

Dzięki ciągłemu rozwojowi analityki instrumentalnej oraz metod spektroskopowych, możliwe stało się chociaż częściowe poznanie składu i struktury chemicznej lepiszczy asfaltowych.

W Dziale B+R ORLEN Asphalt na przestrzeni ostatnich lat, wykonano szereg prac badawczych, mających na celu lepsze poznanie składu i struktury chemicznej asfaltów. Jednak pomimo tego, że udało się już tak wiele zbadać i zobaczyć, z pewnością istnieje jeszcze spora część natury chemicznej lepiszczy asfaltowych, która wciąż pozostaje nieodkryta i nieznaną.

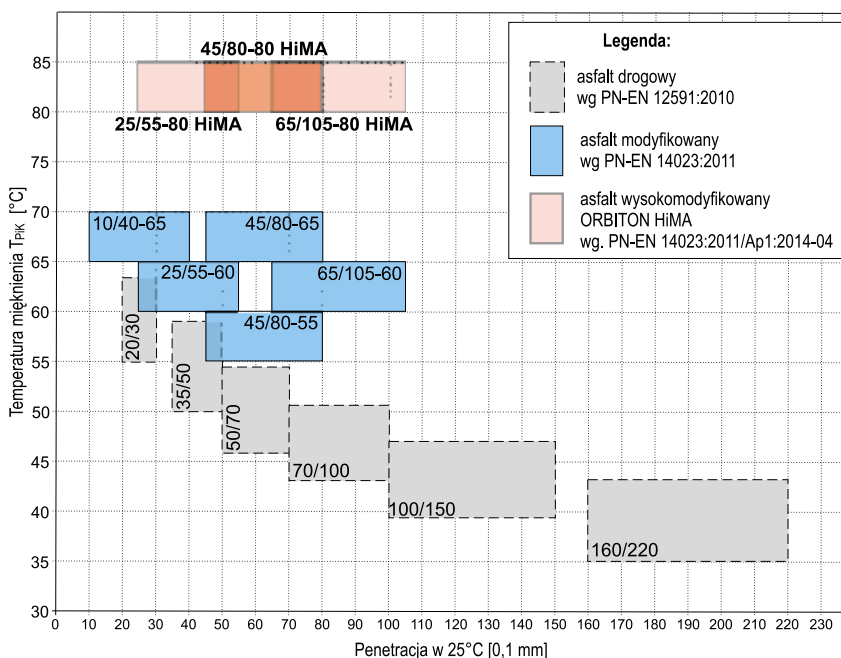
ROZDZIAŁ 2

PRZEZNACZENIE ASFALTÓW

W polskim budownictwie drogowym od lat stosowane są te same, tradycyjne zasady, dotyczące wykorzystywania poszczególnych rodzajów lepiszczy asfaltowych do konkretnych warstw nawierzchni drogowej. Zwyczajowo gradacja twardości stosowanych lepiszczy zmienia się od miękkich znajdujących się w warstwie ścieralnej, przez coraz twardsze wykorzystywane w warstwach dolnych. Ma to związek z jednej strony z oddziaływaniem klimatu (niskie temperatury wymagają miękkich lepiszczy w warstwie ścieralnej), a z drugiej strony z koniecznością zapewnienia odpowiedniej nośności całego pakietu warstw asfaltowych (co dają z kolei twarde lepiszcza znajdujące się w warstwie podbudowy i wiążącej).

W ostatnich latach pojawiła się na rynku nowa grupa lepiszczy asfaltowych – asfalty wysokomodyfikowane polimerami ORBITON HiMA, które charakteryzują się całkowicie odmiennymi cechami w porównaniu do dotychczas stosowanych lepiszczy [1]. W konsekwencji, ciągłej zmianie ulegają także możliwości stosowania lepiszczy asfaltowych w konkretnych warstwach nawierzchni, np. w koncepcji nawierzchni długowiecznych (*perpetual pavements*), o czym napisano w p. 2.3.

Na rysunku 2.1. przedstawiono w sposób graficzny porównanie podstawowych właściwości asfaltów drogowych oraz asfaltów modyfikowanych polimerami – klasycznych i wysokomodyfikowanych HiMA, dla dwóch podstawowych parametrów charakteryzujących lepiszcza asfaltowe wg systematyki europejskiej – penetracji w 25°C oraz temperatury mięknięcia T_{PK} .



Rys. 2.1. Graficzne porównanie różnych lepiszczy asfaltowych w zakresie penetracji w 25°C i temperatury mięknięcia T_{PK} [opracowanie własne]

To, co jest wyraźnie widoczne na rys. 2.1. to różnorodność lepiszczy asfaltowych o zbliżonej wartości penetracji w 25°C i znacznym zróżnicowaniu temperatury mięknięcia PiK. Przykładowo, lepiszczy asfaltowych o penetracji 50-55 [0,1 mm] mamy do wyboru aż 6 rodzajów.

W niniejszym rozdziale opisano przeznaczenie każdego z asfaltów drogowych, modyfikowanych oraz wysokomodyfikowanych polimerami znajdujących się w ofercie ORLEN Asphalt, co powinno być ułatwieniem podczas dokonywania wyboru odpowiedniego lepiszcza do konkretnego zastosowania.

Czytelnik zapewne zauważy, że w tekście rozdziału oraz na rysunkach znajdują się wskazówki zastosowania lepiszczy nie zawsze zgodne z tablicami WT-2 2014 GDDKiA. Ma to związek między innymi z tym, że od wydania WT-2 minęły już 4 lata i w międzyczasie zasób informacji o lepiszczach asfaltowych znacząco się zwiększył – szczególnie jeżeli chodzi o asfalty wysokomodyfikowane polimerami. Oprócz tego, poza WT-2 2014 istnieją także inne zbiory wytycznych lub doświadczeń związane ze stosowaniem lepiszczy asfaltowych, z których można korzystać poza dokumentami GDDKiA.

2.1. ASFALTY DROGOWE

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.1 z 2014 r. specjalne wymagania oraz strefy klimatyczne, w których stosuje się w AC WMS określone rodzaje lepiszczy (drogowe 20/30 lub modyfikowane polimerami).

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 jako asfalt lany na drogach obciążonych ruchem kategorii KR1-KR4. Nie należy stosować asfaltu 35/50 w warstwach ścieralnych do betonu asfaltowego AC i mieszanki SMA.

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. Można go także stosować do produkcji emulsji asfaltowych.

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

Na podstawie obowiązujących przepisów w GDDKiA, zawartych w Wymaganiach Technicznych „*Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. WT-2 2014 – część I Mieszanki mineralno-asfaltowe*”, zestawiono w tabeli 2.1. zalecenia stosowania asfaltów drogowych do budowy nawierzchni drogowych.

Tabela 2.1. Zastosowanie asfaltów drogowych w zależności od warstwy w nawierzchni drogowej i kategorii obciążenia ruchem drogowym wg Wymagań Technicznych WT-2 2014 – część I [2]

Warstwa	Materiał	Kategoria ruchu		
		KR1 ÷ KR2	KR3 ÷ KR4	KR5 ÷ KR7
Podbudowa	Lepiszczą asfaltowe	50/70	20/30 ^{b)} , 35/50 ^{a)} , 50/70 ^{a)}	20/30 ^{b)} , 35/50 ^{a)} , 50/70 ^{a)}
Wiążąca	Lepiszczą asfaltowe	50/70	20/30 ^{b)} , 35/50 ^{a)} , 50/70 ^{a)}	20/30 ^{b)} , 35/50 ^{a)}
Ścieralna	Lepiszczą asfaltowe	35/50 ^{g)} , 50/70, 70/100	35/50 ^{g)} , 50/70	—

a) do betonu asfaltowego
b) do betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS
g) do asfaltu lanego

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) [3]. Dotyczy to w szczególności odcinków dróg zlokalizowanych w strefach skrzyżowań, ruchu powolnego, stanowisk postojowych itp.

2.2. ASFALTY MODYFIKOWANE POLIMERAMI ORBITON

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.

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 mineralno-asfaltowych 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.

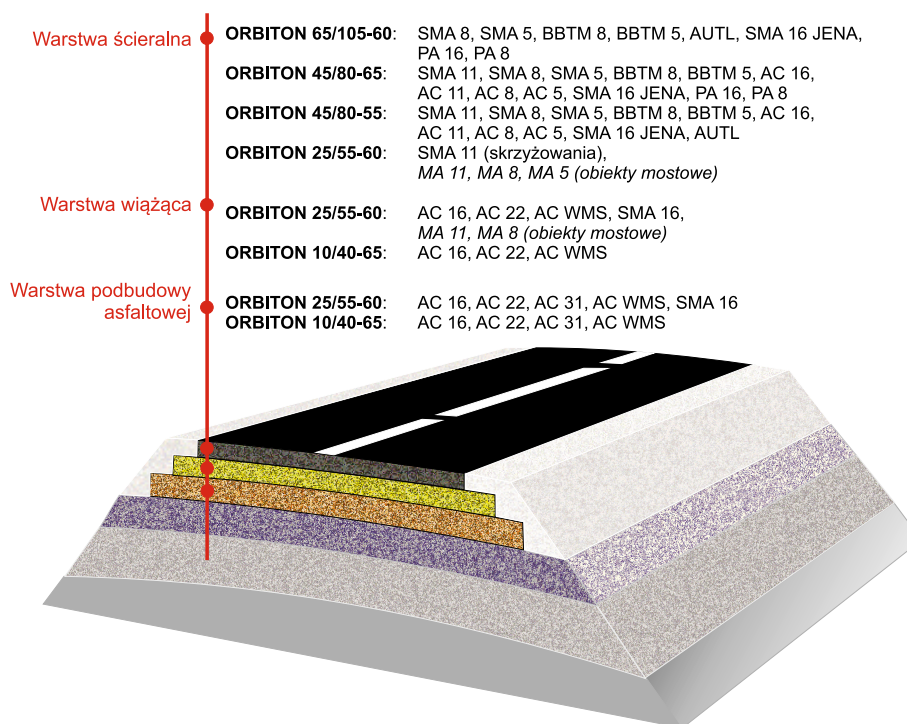
Asfalt modyfikowany ORBITON 25/55-60 należy do najpopularniejszych rodzajów asfaltów modyfikowanych wykorzystywanych w Polsce. Stosowany jest do warstw podbudowy i wiążących z betonu asfaltowego AC oraz betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS (przy wymaganiu modułu sztywności powyżej 14000 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.

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 wykorzystywanych w warstwach ścieralnych: AC, SMA, BBTM, AUTL [4].

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 lepiszczem dość trudnym we wbudowywaniu podczas niekorzystnych warunków pogodowych (szybkie sztywnienie 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.

Asfalt modyfikowany ORBITON 65/105-60 jest lepiszczem zaprojektowanym do stosowania w warstwach ścieralnych na gorąco, w mieszankach o dobrym szkieletcie 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 nieciągłym 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.

Na rysunku 2.2. przedstawiono przykładowe możliwości zastosowania asfaltów modyfikowanych polimerami ORBITON w odniesieniu do poszczególnych warstw nawierzchni.



Rys. 2.2. Proponowane zastosowanie asfaltów modyfikowanych ORBITON w klasycznej konstrukcji nawierzchni podatnej [opracowanie własne]

Dodatkowo, na podstawie obowiązujących przepisów GDDKiA zawartych w Wymaganiach Technicznych WT-2 2014, w tabelach 2.2. oraz 2.3. zestawiono zalecenia stosowania asfaltów modyfikowanych do budowy odpowiednio nawierzchni drogowych oraz nawierzchni mostowych w Polsce.

Tabela 2.2. Zastosowanie asfaltów modyfikowanych w zależności od warstwy w nawierzchni drogowej i kategorii obciążenia ruchem drogowym wg Wymagań Technicznych WT-2 2014 – część I [2]

Warstwa	Materiał	Kategoria ruchu		
		KR1 ÷ KR2	KR3 ÷ KR4	KR5 ÷ KR7
Podbudowa	Lepiszczka asfaltowe	—	ORBITON 10/40-65 ^{b)} ORBITON 25/55-60 ^{b), c)}	ORBITON 10/40-65 ^{b)} ORBITON 25/55-60 ^{b), c)}
Wiążąca	Lepiszczka asfaltowe	—	ORBITON 10/40-65 ^{b)} ORBITON 25/55-60 ^{b), c)}	ORBITON 10/40-65 ^{b)} ORBITON 25/55-60 ^{b), c)}
Ścieralna	Lepiszczka asfaltowe	ORBITON 45/80-55 ORBITON 45/80-65 ORBITON 65/105-60 ^{e)}	ORBITON 25/55-60 ORBITON 45/80-55 ORBITON 45/80-65 ORBITON 65/105-60 ^{e)}	ORBITON 25/55-60 ORBITON 45/80-55 ORBITON 45/80-65 ORBITON 65/105-60 ^{e)}

b) do betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS
c) do betonu asfaltowego do warstwy podbudowy lub wiążącej
e) do cienkiej warstwy na gorąco z SMA lub BBTM o grubości nie większej niż 3,5 cm i do PA

Tabela 2.3. Zalecenia zastosowania asfaltów modyfikowanych w zależności od warstwy w nawierzchni mostowej i kategorii obciążenia ruchem drogowym wg Wymagań Technicznych WT-2 2014 – część I [1]

Warstwa	Materiał	Zalecenie
Wiążąca	Lepiszczka asfaltowe	ORBITON 25/55-60
Ścieralna	Lepiszczka asfaltowe	ORBITON 25/55-60 ^{d)} ORBITON 45/80-55 ^{e)} ORBITON 45/80-65 ^{e)} ORBITON 65/105-60 ^{e)}

d) do asfaltu lanego
e) zalecane do SMA lub BBTM w cienkiej warstwie o grubości nie większej niż 3,5 cm

2.3. ASFALTY WYSOKOMODYFIKOWANE POLIMERAMI ORBITON HIMA

Główną ideą asfaltów wysokomodyfikowanych polimerami typu HiMA, 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 lepiszczka zarówno w wysokich jak i w niskich temperaturach. 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*, w których ostatnia dolna warstwa asfaltowa charakteryzuje się bardzo dużą elastycznością i wytrzymałością zmęczeniową. Wykorzystanie ORBITON HiMA w tej specjalnej warstwie przeciwmęczeniowej pozwala osiągnąć niezwykle długi cykl życia nawierzchni.

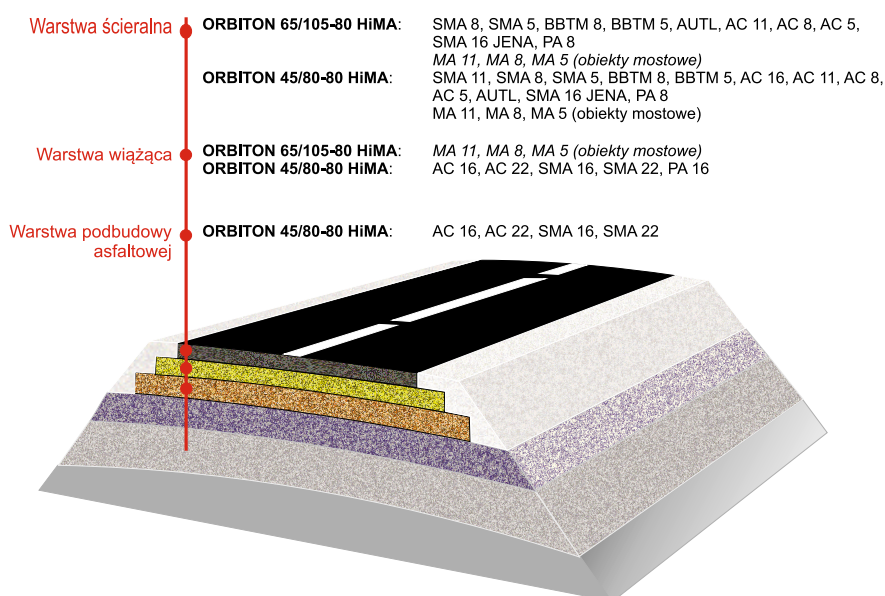
ORBITON 65/105-80 HiMA (tzw. „miękką HiMA”) przeznaczony jest głównie do warstw ścieralnych nawierzchni z BBTM, AUTL, DSH, PA, SMA oraz technologii specjalnych np. warstw SAMI (skropienia „na gorąco”). Ze względu na najlepsze właściwości zmęczeniowe może być składnikiem warstw przeciwmęczeniowych AF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

ORBITON 45/80-80 HiMA (tzw. „średnia HiMA”) przeznaczony jest do wszystkich warstw asfaltowych nawierzchni podatnych: 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.

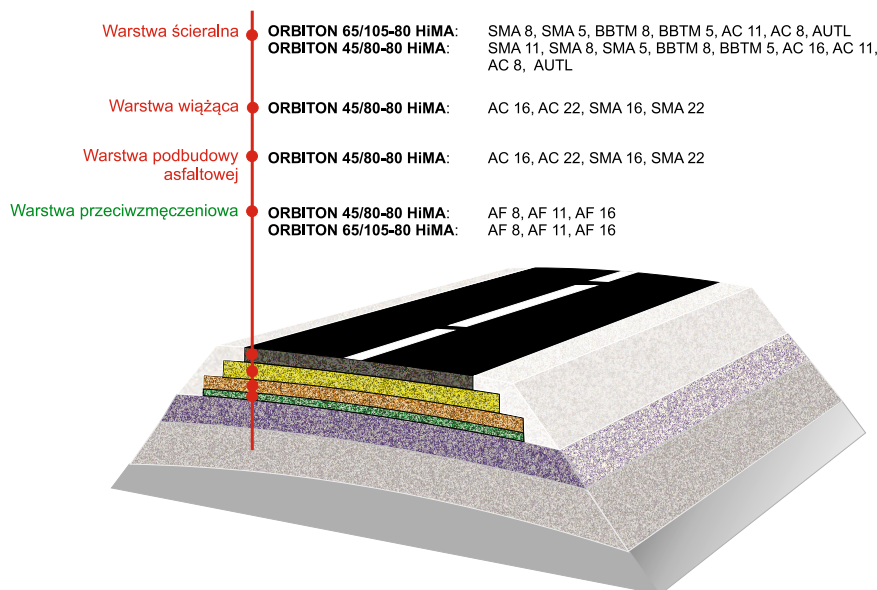
ORBITON 25/55-80 HiMA (tzw. „twarda HiMA”) przeznaczony jest do warstw specjalnych wymagających nadzwyczajnej odporności na odkształcenia (stanowiska postojowe ciężkich pojazdów, terminale kontenerowe itp.) oraz w miejscach występowania bardzo ciężkiego ruchu powolnego. Ze względu na dużą twardość tego 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.

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).

Wybierając przeznaczenie asfaltów wysokomodyfikowanych ORBITON HiMA w konstrukcji nawierzchni podatnej można sugerować się wskazówkami zamieszczonymi na rys. 2.3. oraz 2.4. Uwaga: rysunki 2.3. i 2.4. mogą różnić się w stosunku do wydania [1], decyzja o szczegółowym przeznaczeniu danego lepiszcza należy do Inwestora/Projektanta.



Rys. 2.3. 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. 2.4. Proponowane zastosowanie asfaltów wysokomodyfikowanych ORBITON HiMA w nowoczesnej konstrukcji nawierzchni podatnej typu perpetual (długowiecznej) [opracowanie własne]

Zamieszczone na rys. 2.4. 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 Inwestora/Projektanta.

Dodatkowo, na podstawie obowiązujących przepisów GDDKiA zawartych w Wymaganiach Technicznych WT-2 2014, zestawiono w tabelach 2.4. oraz 2.5. zalecenia stosowania asfaltów wysokomodyfikowanych do budowy nawierzchni drogowych i mostowych w Polsce.

Tabela 2.4. Zastosowanie asfaltów wysokomodyfikowanych w zależności od warstwy w nawierzchni drogowej i kategorii obciążenia ruchem drogowym wg Wymagań Technicznych WT-2 2014 – część I [2]

Warstwa	Materiał	Kategoria ruchu		
		KR1 ÷ KR2	KR3 ÷ KR4	KR5 ÷ KR7
Podbudowa	Lepiszczą asfaltowe	—	—	ORBITON 25/55-80 HiMA ^{b), d)}
Wiążąca	Lepiszczą asfaltowe	—	—	ORBITON 25/55-80 HiMA ^{b), d)}
Ścieralna	Lepiszczą asfaltowe	—	ORBITON 45/80-80 HiMA	ORBITON 45/80-80 HiMA ORBITON 65/105-80 HiMA ^{e)}

b) do betonu asfaltowego o wysokim module sztywności AC WMS
c) do betonu asfaltowego do warstwy podbudowy lub wiążącej
e) do cienkiej warstwy na gorąco z SMA lub BBTM o grubości nie większej niż 3,5 cm i do PA

Tabela 2.5. Zalecenia zastosowania asfaltów wysokomodyfikowanych w zależności od warstwy w nawierzchni mostowej i kategorii obciążenia ruchem drogowym wg Wymagań Technicznych WT-2 2014 – część I [2]

Warstwa	Materiał	Zalecenie
Wiążąca	Lepiszczą asfaltowe	—
Ścieralna	Lepiszczą asfaltowe	ORBITON 45/80-80 HiMA

ROZDZIAŁ 3

PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI ASFALTÓW

W ciągu sezonu produkcyjnego lepiszcza asfaltowe wytwarzane są w wielu partiach produkcyjnych. Zgodnie z normami wyrobu oraz zasadami Zakładowej Kontroli Produkcji, każda partia badana jest w określonym zakresie właściwości, zanim zostanie zwolniona do sprzedaży (wprowadzona do obrotu). Zarówno producent, jak i użytkownik są zainteresowani, aby wyroby charakteryzowały się jednorodnością właściwości.

Analiza pojedynczych wyników obarczona jest zawsze błędem przypadkowym i nie pozwala poznać i zrozumieć prawidłowości, które o nich decydują. Dopiero analiza możliwie dużej liczby wyników, przy użyciu odpowiednich narzędzi statystycznych, umożliwia uzyskanie odpowiedniej ilości informacji charakteryzujących dane oraz pozwala na poznanie pewnych zależności występujących pomiędzy nimi [1].

W niniejszym rozdziale zebrano informacje o właściwościach lepiszczy drogowych według PN-EN 12591 oraz PN-EN 14023, jak również dane dotyczące gęstości lepiszczy asfaltowych oraz mikrostruktury polimeroasfaltów. Na rysunkach oraz w tabelach przedstawiono parametry statystyczne wyników kontroli laboratoryjnej wybranych parametrów lepiszczy asfaltowych produkowanych przez Grupę ORLEN (instalacje w Płocku i Trzebini) w 2017 roku. Badania zostały wykonane w akredytowanych placówkach ORLEN Laboratorium sp. z o.o.

3.1. WPROWADZENIE DO STATYSTYKI

Współcześnie pojęcie statystyka posiada bardzo wiele znaczeń. Interesująca nas statystyka definiowana jest jako samodzielna dyscyplina naukowa, zajmująca się ilościowymi metodami badania zdarzeń masowych, dostarczających wiarygodnych informacji na temat prawidłowości zachodzących pomiędzy nimi, scharakteryzowanych przy użyciu liczb [2].

Podstawowe funkcje spełniane przez statystykę [3]:

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

Statystykę jako dyscyplinę naukową można podzielić na [1, 4]:

- **statystykę opisową**, inaczej opis statystyczny, zajmujący się metodami gromadzenia, opracowania i prezentacji danych wraz z ich sumarycznym opisem;
- **statystykę matematyczną**, nazywaną wnioskowaniem statystycznym, obejmującą metody wnioskowania o całej zbiorowości, bazując na zbadanej pewnej jej części, czyli próbie.

Badanie statystyczne jest to ogół czynności prowadzonych na określonej zbiorowości statystycznej, mającej na celu poznanie właściwości charakteryzujących badany zbiór [3].

Zbiorowość statystyczna jest zbiorem dowolnych elementów np. osób, przedmiotów, zdarzeń itp., które charakteryzują się przynajmniej jedną cechą wspólną o różnych wartościach. Musi być określona w sposób jednoznaczny pod względem rzeczowym, przestrzennym i czasowym [1, 4].

Jednostka statystyczna jest najmniejszym elementem zbiorowości statystycznej, która objęta jest badaniem statystycznym [4].

Cecha statystyczna (zmienna) jest to właściwość jednostek statystycznych tworzących określoną zbiorowość statystyczną [3].

Przykładowo, w przypadku badania statystycznego wyników lepszycy asfaltowych:

- zbiorowość statystyczna = wszystkie partie produkcyjne asfaltu drogowego 20/30 w 2017 r.
- jednostka statystyczna = pojedyncza partia produkcyjna asfaltu drogowego 20/30 np. w dniu 15.10.2017 r.
- cecha statystyczna = penetracja asfaltu drogowego 20/30.

Należy jednak pamiętać, że statystyka jest narzędziem, którego stosowanie powinno odbywać się w sposób rozsądny i zrozumiały [5], w innym przypadku może to prowadzić do błędnych lub różnych interpretacji zależności pomiędzy otrzymanymi wynikami.

3.1.1. 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, 4]:

- **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, kwartyle);
- **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 w oparciu o analizowaną cechę zmienną. Miary zmienności dzielą się na klasyczne (wariancja, odchylenie standardowe, przedział typowy, klasyczny współczynnik zmienności) oraz pozycyjne (np. rozstęp, odchylenie kwartyłowe);
- **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 są:

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

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

gdzie:

- x_i – wartość cechy zmiennej/ wartość pojedynczego wyniku oznaczenia
- n – liczebność zbiorowości/ liczba uzyskanych wyników

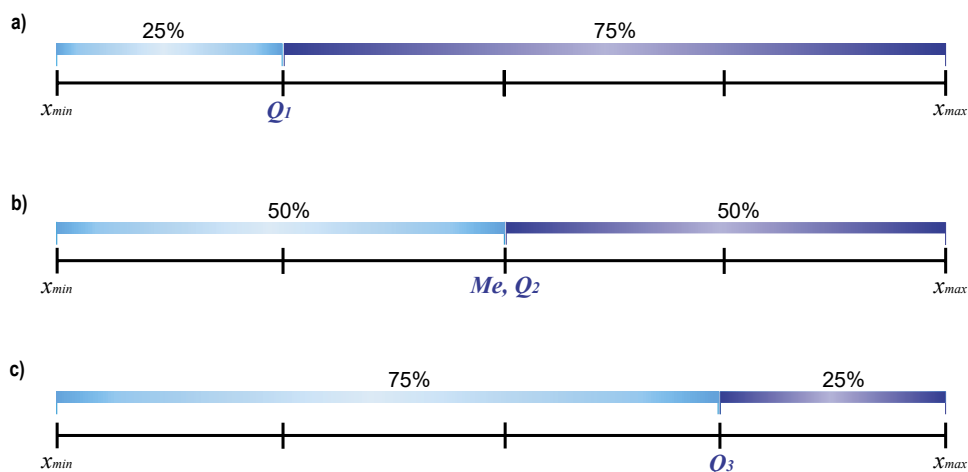
Podstawową wadą średniej arytmetycznej jest jej podatność na wpływ wartości skrajnych.

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. 3.1a.

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. 3.1b.).

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. 3.1c.



Rys. 3.1. 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 [5].

Odchylenie standardowe oblicza się zgodnie ze wzorem:

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

w którym:

- x_i – wartość cechy zmiennej/ wartość pojedynczego wyniku oznaczenia
- \bar{x} – średnia arytmetyczna cechy zmiennej/ średnia arytmetyczna z uzyskanych wyników
- n – liczebność zbiorowości/ liczba uzyskanych wyników

Z odchyleniem standardowym dla rozkładu normalnego związana jest **tzw. reguła 3 sigma**, która mówi, że w przedziale $\bar{x} \pm 3\sigma$ 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 [6].

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

$$\bar{x} - \sigma < x_{typ} < \bar{x} + \sigma$$

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 kwartyłem. Określa przedział zawierający 50% jednostek badanej zbiorowości:

$$IQR = Q_3 - Q_1$$

3.1.2. SPOSOBY PRZEDSTAWIANIA DANYCH STATYSTYCZNYCH

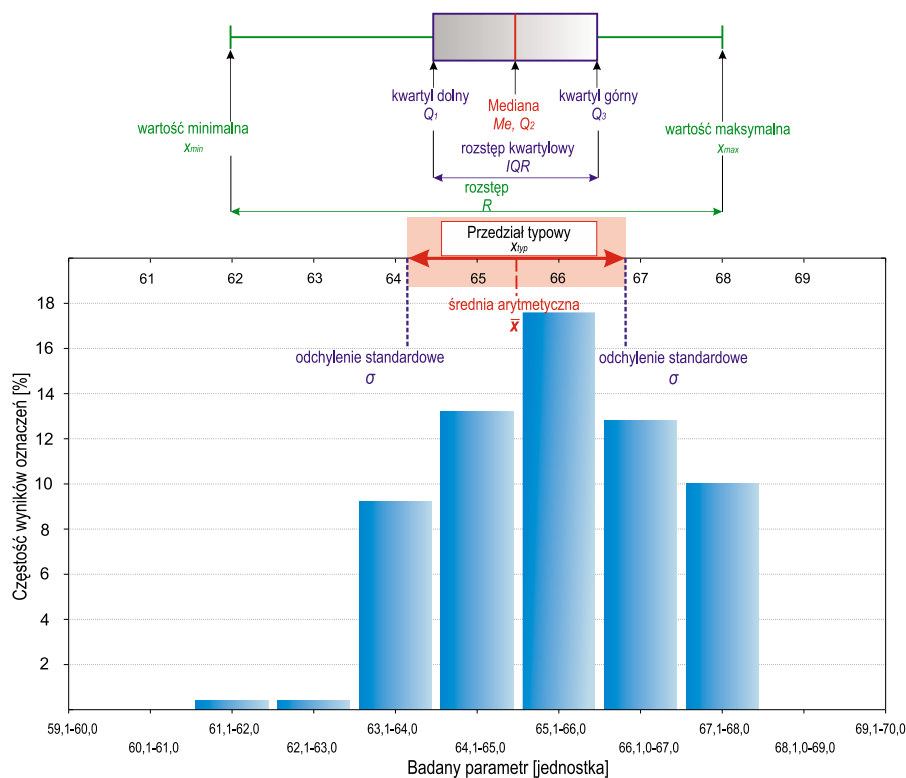
Materiał statystyczny można zaprezentować w różnorodnej formie: tablic, wykresów, charakterystyk opisowych czy wzorów analitycznych.

Jednym z najbardziej popularnych sposobów przedstawiania danych jest **histogram** (rys. 3.2.) – czyli wykres rozkładu (częstości występowania) badanej cechy w formie wykresu słupkowego. Szerokość każdego słupka odpowiada pewnemu zakresowi badanej cechy – przedziałowi klasowemu. Natomiast wysokość słupków na histogramie może reprezentować:

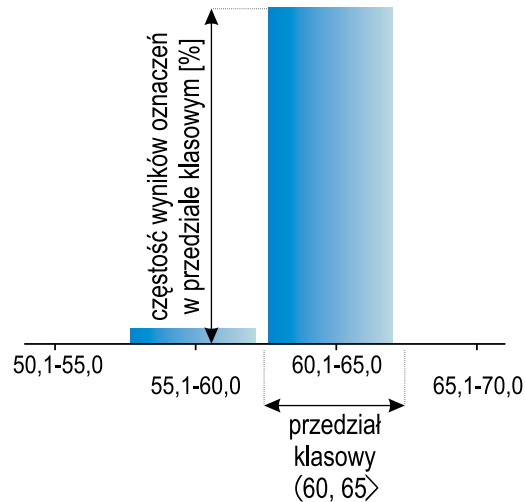
- **częstość wyników oznaczeń** – stosunek liczby uzyskanych wyników o tej samej wartości do całkowitej liczebności badanej zbiorowości statystycznej. Przykładowo: w ciągu sezonu produkcyjnego oznaczono „penetrację w 25°C” asfaltu 50/70 100-krotnie (dla 100 partii produkcyjnych), wynik o wartości 60 [0,1 mm] otrzymano 43 razy, zatem częstość wyników oznaczeń w klasie 60 wynosi $43/100=0,43$. 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.

Inną formą przedstawiania wyników jest wykres pudełkowy (rys. 3.2.), popularnie nazywany **wykresem RAMKA-WĄSY** (ang. *box and whisker plot*) [7]. Zawiera on informacje dotyczące położenia, rozproszenia oraz kształtu rozkładu analizowanych danych. 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. 3.2.). 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 3.2., natomiast graficzną interpretację słupków histogramu prezentuje rys. 3.3. Dla uniknięcia nieporozumień podczas interpretacji przedziałów klasowych na histogramach, należy przyjąć następującą interpretację rys. 3.3.: podany przedział klasowy (60, 65> oznacza przedział prawostronnie domknięty, tzn. obejmuje liczby 61, 62, 63, 64, 65.



Rys. 3.2. Histogram i wykres RAMKA-WĄSY dla przykładowo badanego parametru



Rys. 3.3. Graficzna interpretacja słupków histogramu

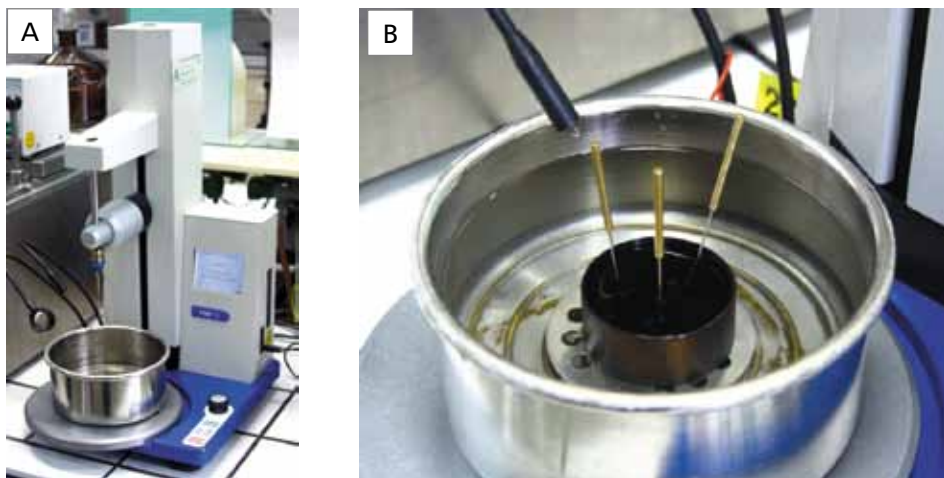
3.2. WYNIKI WYBRANYCH WŁAŚCIWOŚCI LEPISZCZY ASFALTOWYCH

W tej części rozdziału przedstawiono wyniki kontroli laboratoryjnej wybranych parametrów lepiszczy asfaltowych produkowanych przez Grupę ORLEN w 2017 roku. Cała analiza została przedstawiona w podziale na właściwości lepiszczy asfaltowych.

Dla wybranych cech najpopularniejszych lepiszczy asfaltowych przedstawiono histogramy, a dla wszystkich lepiszczy dane statystyczne w tabelach.

3.2.1. 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.



Rys. 3.4. (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 sp. z o.o.)

Badanie penetracji wykonywane jest zgodnie z normą PN-EN 1426 [8]. Pomiar można wykonać w różnej temperaturze, jednakże pomiar w 25°C jest podstawowym sposobem klasyfikującym lepizcza asfaltowe zgodnie z normalizacją europejską.

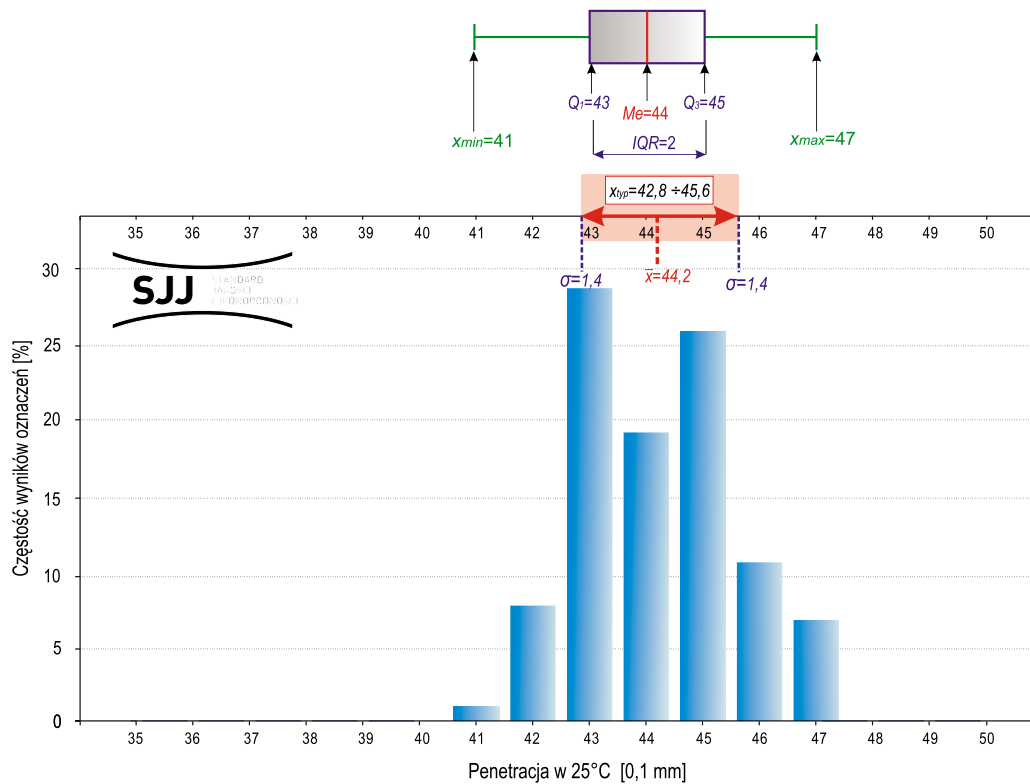
Parametry statystyczne wyników oznaczeń penetracji w 25°C dla asfaltów produkowanych w 2017 roku, zestawiono w tabeli 3.1.

Tabela 3.1. Parametry statystyczne wyników oznaczeń penetracji w 25°C dla asfaltów produkowanych w 2017 r.

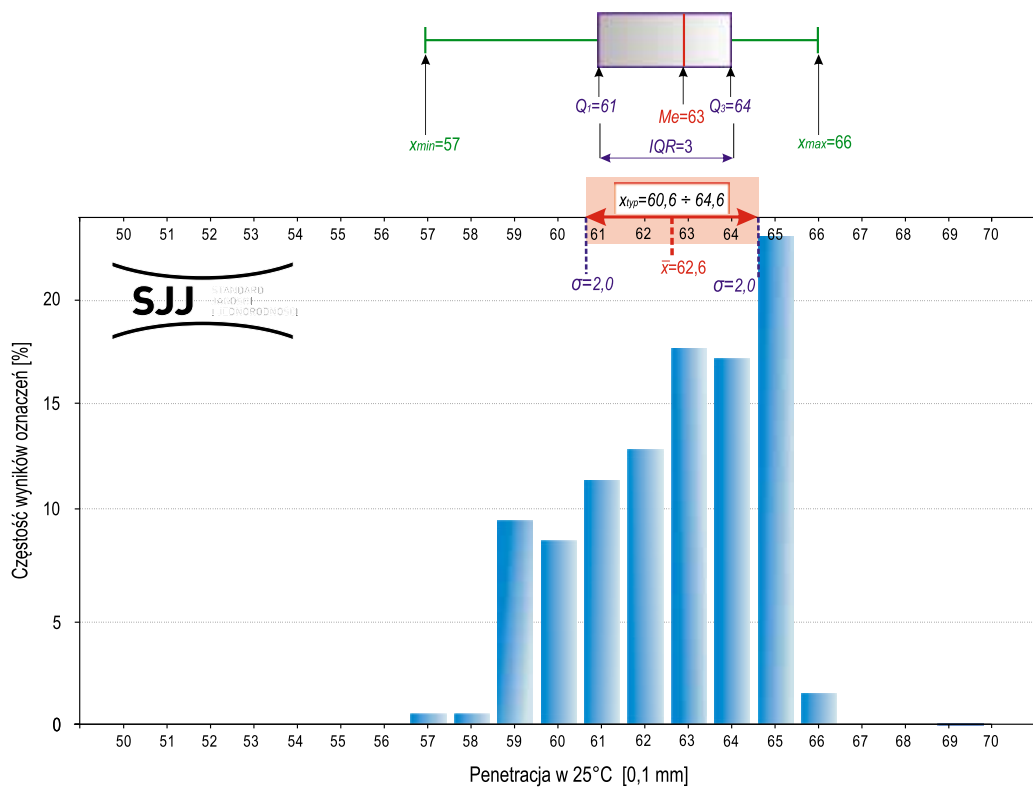
Rodzaj lepizcza	Wymaganie* [0,1 mm]	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Przedział typowy	Mediana	Kwartyl pierwszy	Kwartyl trzeci	Wartość min – max
		\bar{x}	σ	x_{typ}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
20/30	20 ÷ 30	27,4	2,1	25,3 ÷ 29,5	28	26	29	20 ÷ 30
35/50	35 ÷ 50	44,2	1,4	42,8 ÷ 45,6	44	43	45	41 ÷ 47
50/70	50 ÷ 70	62,6	2,0	60,6 ÷ 64,6	63	61	64	57 ÷ 66
70/100	70 ÷ 100	91,5	3,4	88,1 ÷ 94,9	92	90	94	80 ÷ 98
100/150	100 ÷ 150	130,2	6,9	123,3 ÷ 137,1	129	126	136	117 ÷ 150
160/220	160 ÷ 220	186,5	8,1	178,4 ÷ 194,6	187	180	192	170 ÷ 205
ORBITON 25/55-60	25 ÷ 55	37,1	4,1	33,0 ÷ 41,2	37	35	39	28 ÷ 52
ORBITON 45/80-55	45 ÷ 80	64,7	4,1	60,6 ÷ 68,8	65	62	67	48 ÷ 79
ORBITON 45/80-65	45 ÷ 80	54,9	3,3	51,6 ÷ 58,2	55	53	58	48 ÷ 66
ORBITON 25/55-80 HiMA	25 ÷ 55	47,6	3,6	44,0 ÷ 51,2	48	46	50	34 ÷ 55
ORBITON 45/80-80 HiMA	45 ÷ 80	70,5	4,7	65,8 ÷ 75,2	70	68	74	59 ÷ 78
ORBITON 65/105-80 HiMA**	65 ÷ 105	90,5	4,9	85,6 ÷ 95,4	91	87	94	87 ÷ 94

* dla asfaltów drogowych wg PN-EN 12591; dla PMB i PMB HiMA wg PN-EN 14023
 ** wyniki badań odnoszą się do okresu: 2015-2017 (odpowiednio duża liczba partii produkcyjnych)

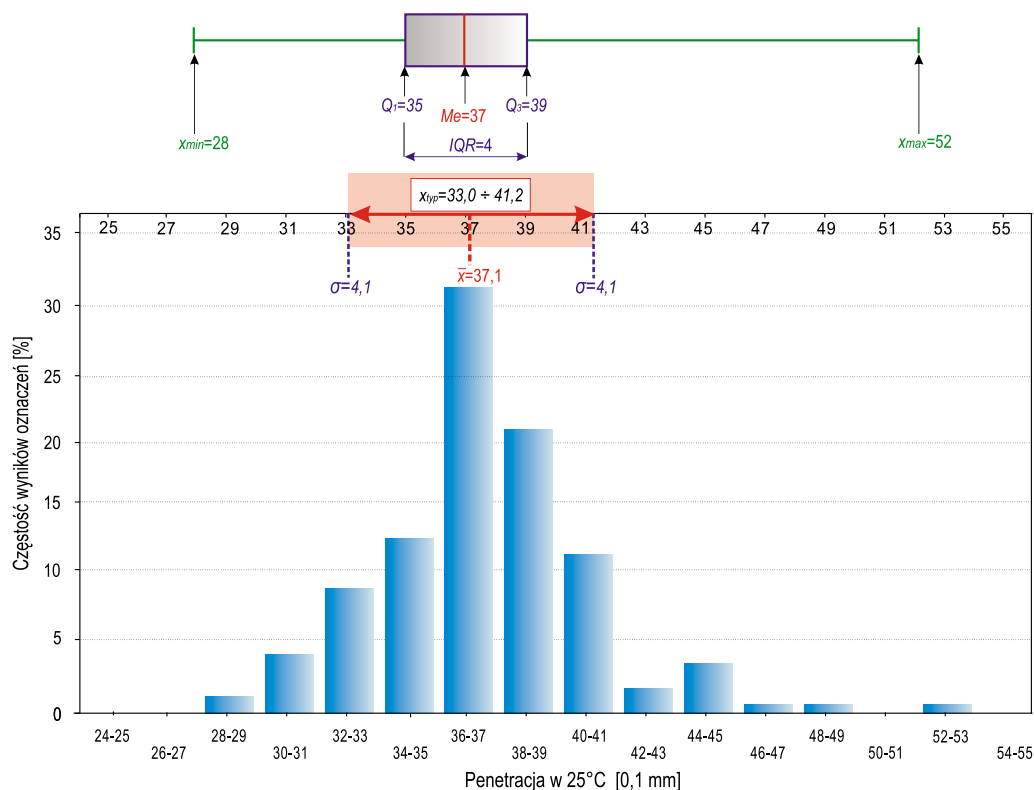
Dodatkowo, na rysunkach 3.5.–3.9. przedstawiono histogramy wraz w wykresami pudełkowymi, dla wyników penetracji asfaltów produkowanych w 2017 roku.



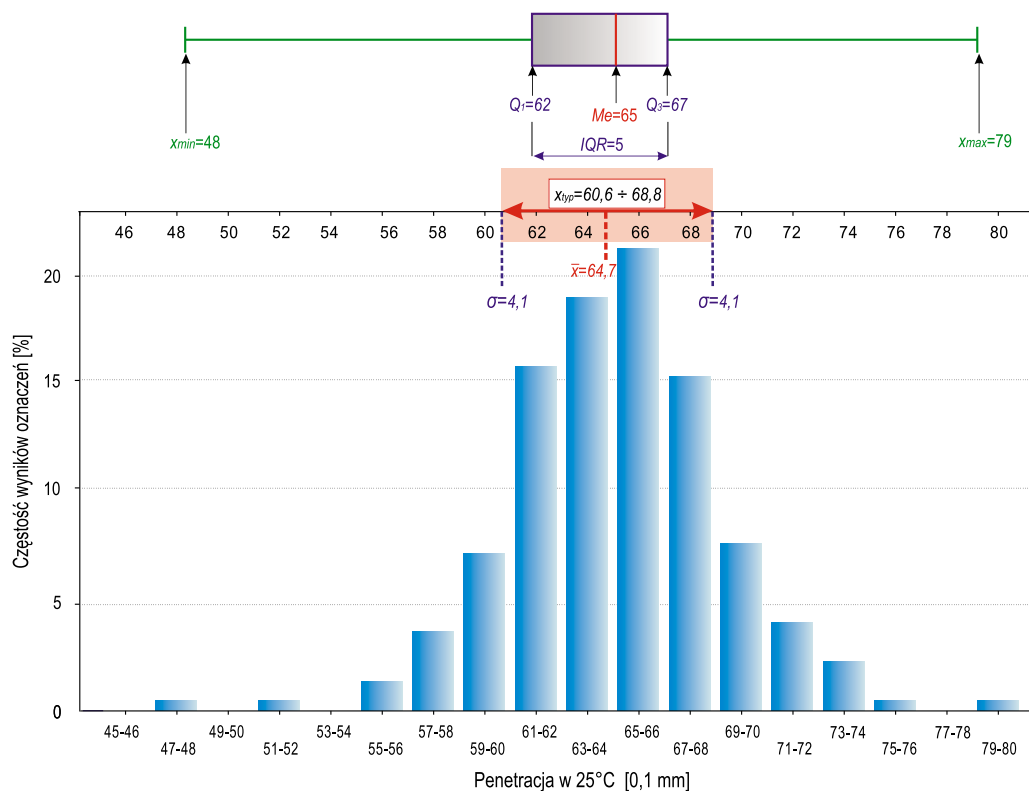
Rys. 3.5. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń penetracji w 25°C **asfaltu drogowego 35/50** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: 35÷50 [0,1 mm])



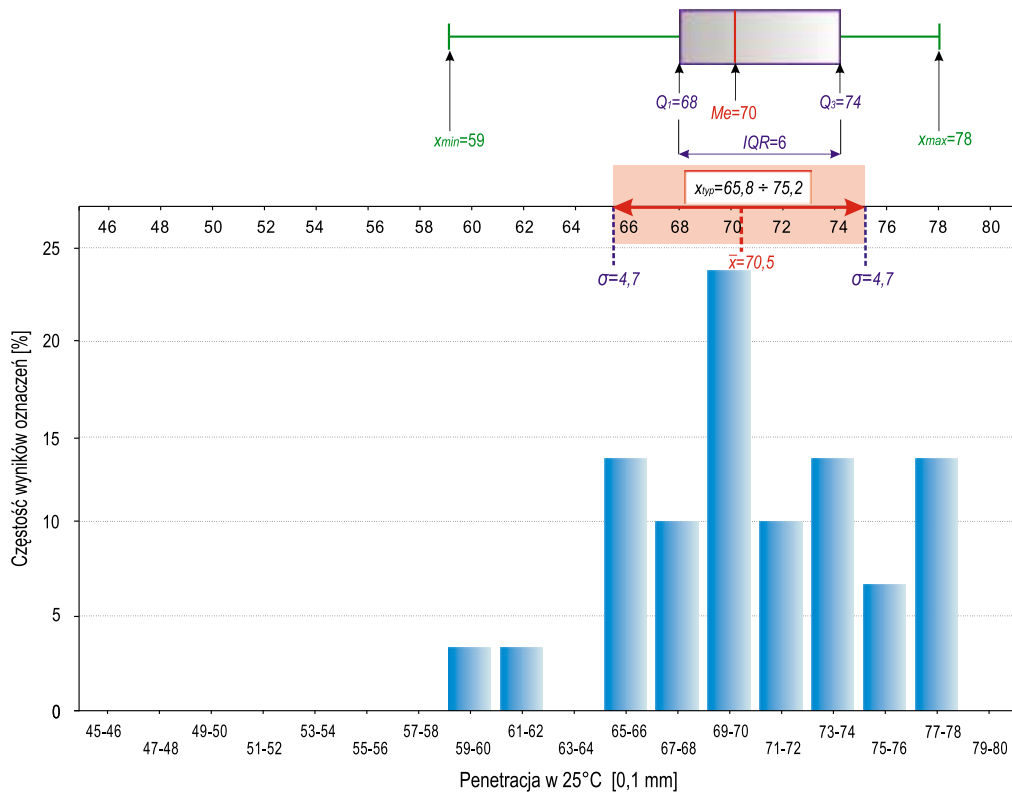
Rys. 3.6. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń penetracji w 25°C **asfaltu drogowego 50/70** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: 50÷70 [0,1 mm])



Rys. 3.7. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń penetracji w 25°C asfaltu **ORBITON 25/55-60** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: 25 ÷ 55 [0,1 mm])



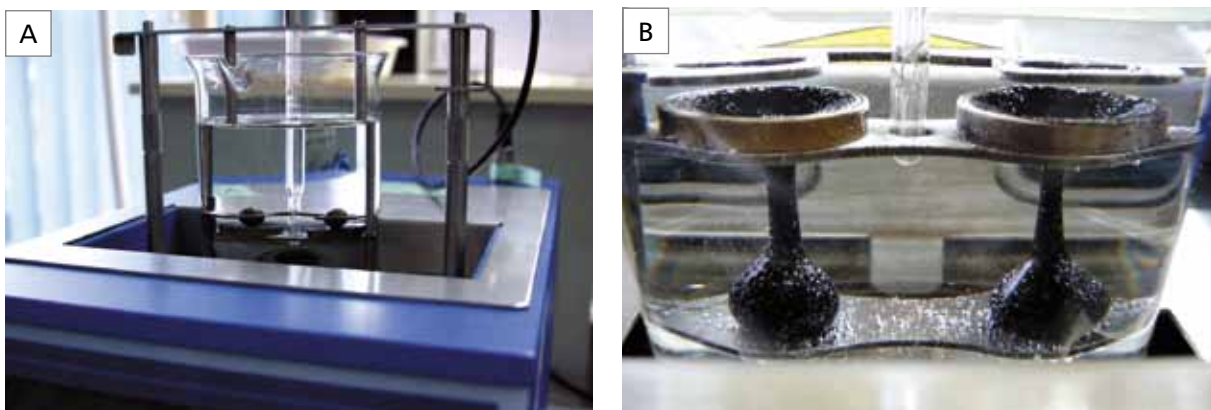
Rys. 3.8. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń penetracji w 25°C asfaltu **ORBITON 45/80-55** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: 45 ÷ 80 [0,1 mm])



Rys. 3.9. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń penetracji w 25°C asfaltu **ORBITON 45/80-80 HiMA** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: 45÷80 [0,1 mm])

3.2.2. 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 [9].



Rys. 3.10. Widok próbek asfaltu przed (A) i po (B) wykonaniu badania temperatury mięknięcia metodą PiK (fot. ORLEN Asfalt sp. z o.o. dzięki uprzejmości ORLEN Laboratorium sp. z o.o.)

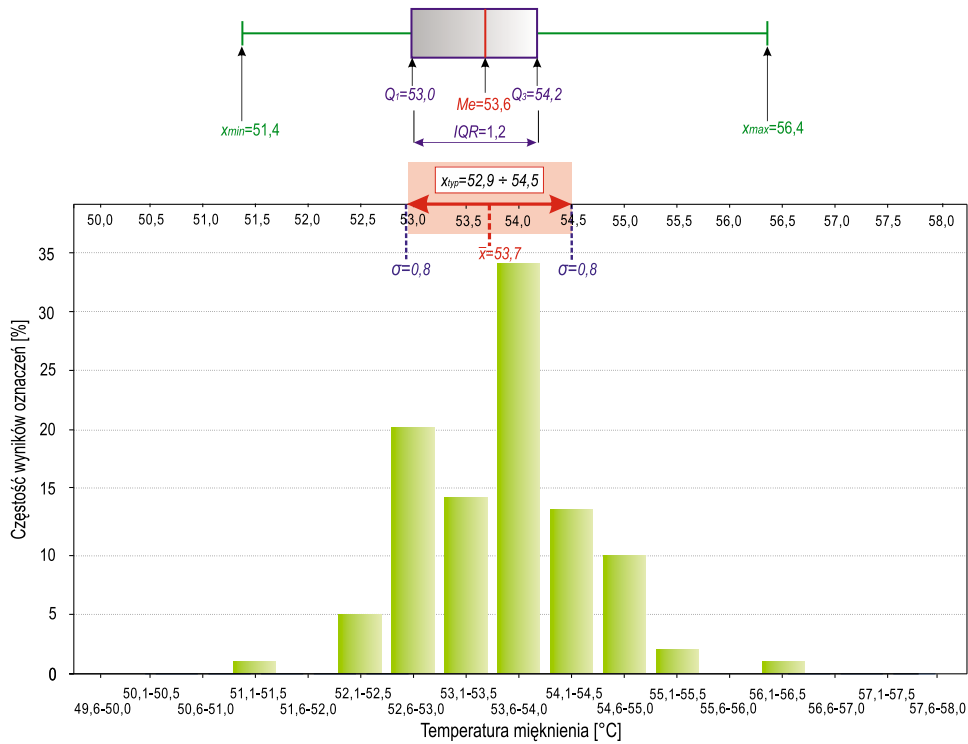
Parametry statystyczne wyników oznaczeń temperatury mięknięcia dla asfaltów produkowanych w 2017 roku, zestawiono w tabeli 3.2.

Tabela 3.2. Parametry statystyczne wyników oznaczeń temperatury mięknięcia PiK dla asfaltów produkowanych w 2017 r.

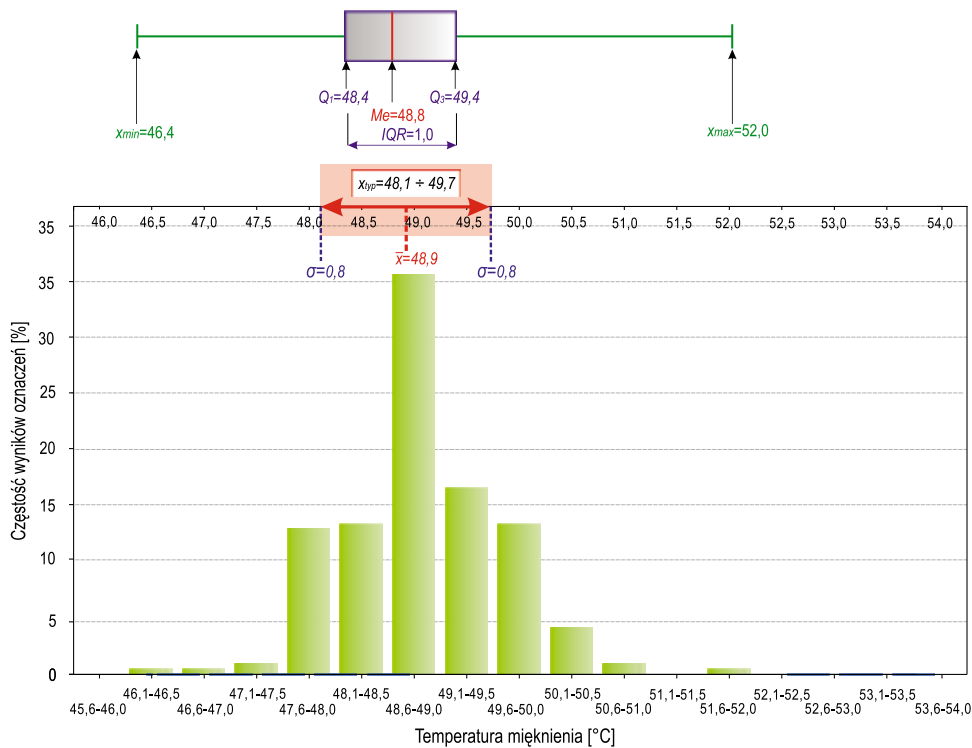
Rodzaj lepiszcza	Wymaganie* [°C]	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Przedział typowy	Mediana	Kwartył pierwszy	Kwartył trzeci	Wartość min – max
		\bar{x}	σ	x_{typ}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
20/30	55 ÷ 63	61,3	1,3	60,0 ÷ 62,6	61,4	60,2	62,8	58,6 ÷ 63,0
35/50	50 ÷ 58	53,7	0,8	52,9 ÷ 54,5	53,6	53,0	54,2	51,4 ÷ 56,4
50/70	46 ÷ 54	48,9	0,8	48,1 ÷ 49,7	48,8	48,4	49,4	46,4 ÷ 52,0
70/100	43 ÷ 51	44,7	0,6	44,1 ÷ 45,3	44,6	44,2	45,2	43,0 ÷ 46,4
100/150	39 ÷ 47	41,6	0,7	40,9 ÷ 42,3	41,6	41,2	42,0	39,4 ÷ 43,2
160/220	35 ÷ 43	38,6	0,7	37,9 ÷ 39,3	38,8	38,0	39,0	37,4 ÷ 41,6
ORBITON 25/55-60	≥ 60	63,3	3,3	60,0 ÷ 66,6	62,6	61,4	63,8	60,0 ÷ 76,0
ORBITON 45/80-55	≥ 55	57,9	3,1	54,8 ÷ 61,0	57,0	55,6	59,1	55,0 ÷ 74,0
ORBITON 45/80-65	≥ 65	71,7	5,6	66,1 ÷ 77,3	70,0	67,4	75,4	64,6 ÷ 89,0
ORBITON 25/55-80 HiMA	≥ 80	93,3	3,8	89,5 ÷ 97,1	94,0	91,2	96,0	82,2 ÷ 99,5
ORBITON 45/80-80 HiMA	≥ 80	92,6	3,4	89,2 ÷ 96,0	93,0	92,0	94,0	80,5 ÷ 99,0
ORBITON 65/105-80 HiMA**	≥ 80	91,0	1,6	89,4 ÷ 92,6	91,4	89,8	92,0	88,5 ÷ 93,0

* dla asfaltów drogowych wg PN-EN 12591; dla PMB i PMB HiMA wg PN-EN 14023
** wyniki badań odnoszą się do okresu: 2015-2017 (odpowiednio duża liczba partii produkcyjnych)

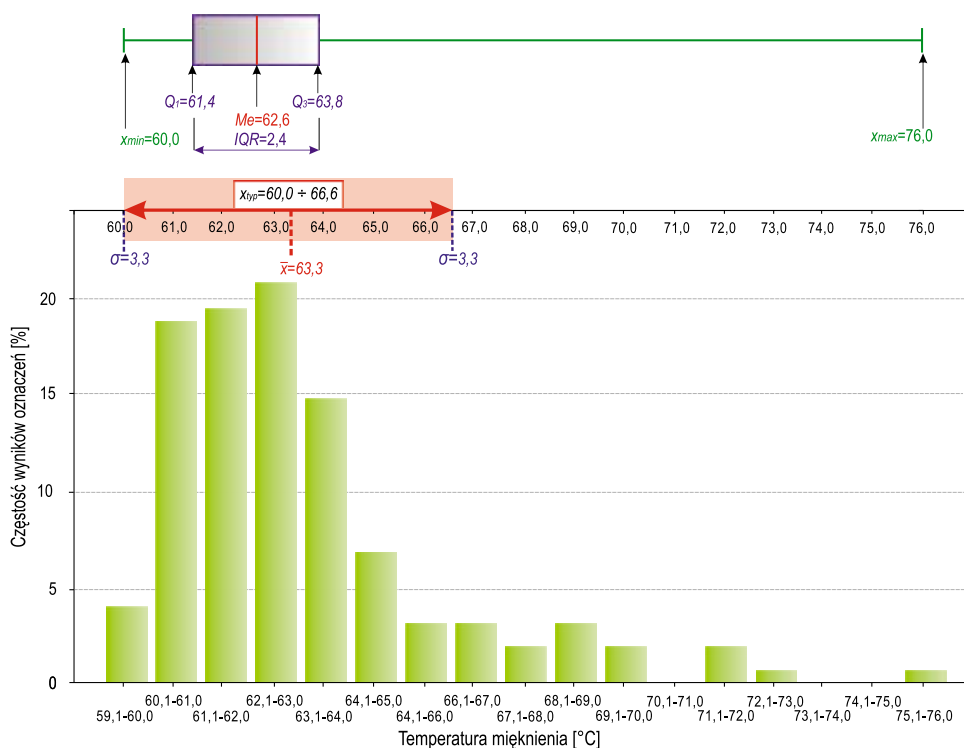
Dodatkowo, na rysunkach 3.11.-3.15. przedstawiono histogramy wraz w wykresami pudełkowymi, dla wyników temperatury mięknięcia PiK asfaltów produkowanych w 2017 roku.



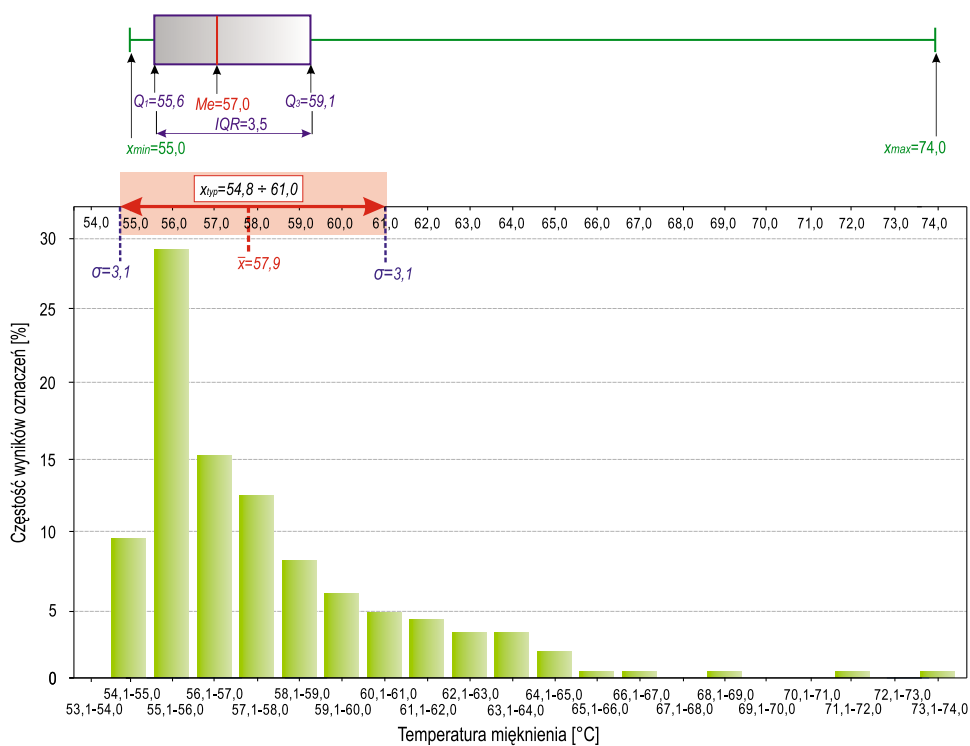
Rys. 3.11. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury mięknięcia PiK **asfaltu drogowego 35/50** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: 50 ÷ 58 [°C])



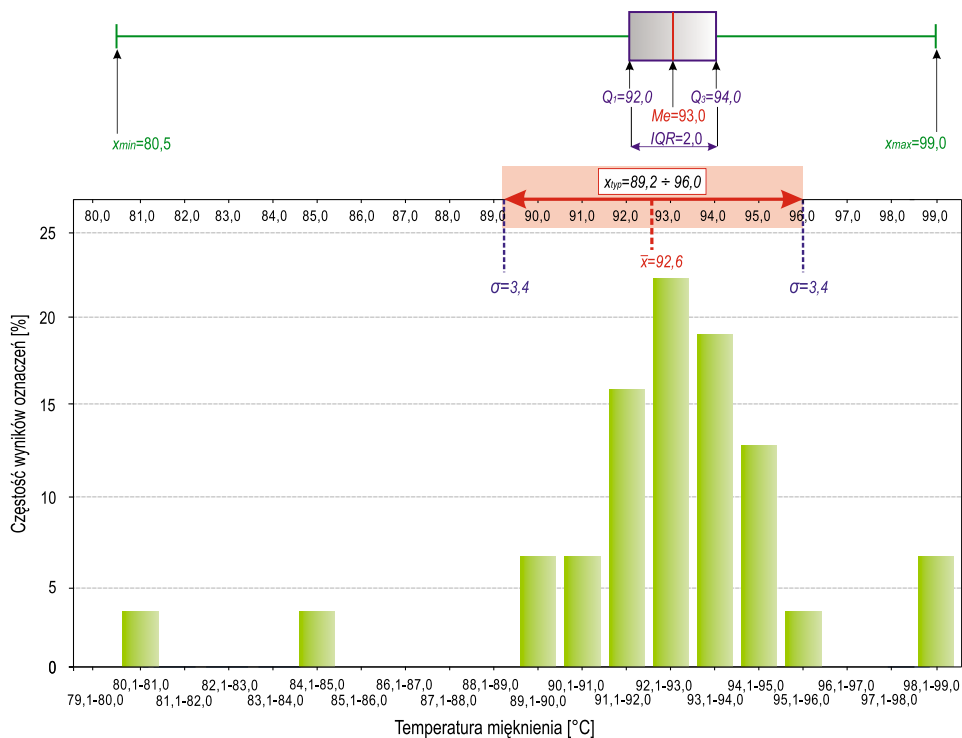
Rys. 3.12. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury mięknięcia PiK **asfaltu drogowego 50/70** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: 46 ÷ 54 [°C])



Rys. 3.13. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury mięknięcia PiK asfaltu **ORBITON 25/55-60** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: ≥ 60 [°C])



Rys. 3.14. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury mięknięcia PiK asfaltu **ORBITON 45/80-55** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: ≥ 55 [°C])

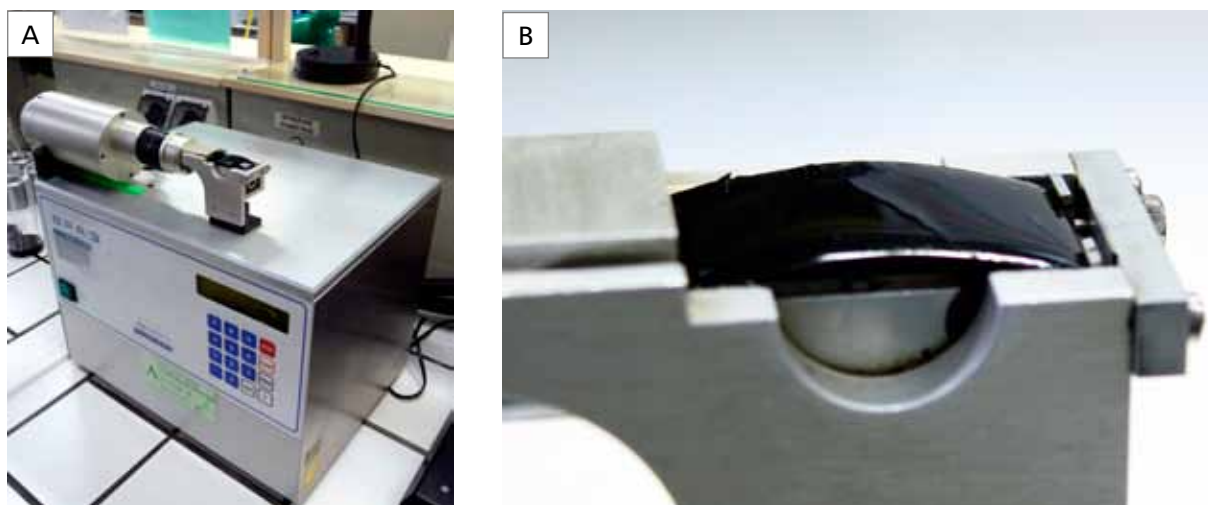


3.15. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury mięknięcia PiK asfaltu **ORBITON 45/80-80 HiMA** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: ≥ 80 [°C])

3.2.3. TEMPERATURA ŁAMLIWOŚCI

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

Na rys. 3.16. przedstawiono zdjęcia aparatu do wykonywania pomiaru temperatury łamliwości.



Rys. 3.16. (A) Widok ogólny aparatury do badania temperatury łamliwości Fraassa oraz (B) widok próbki asfaltu na płytce po wykonaniu badania (fot. ORLEN Asfalt sp. z o.o. dzięki uprzejmości ORLEN Laboratorium sp. z o.o.)

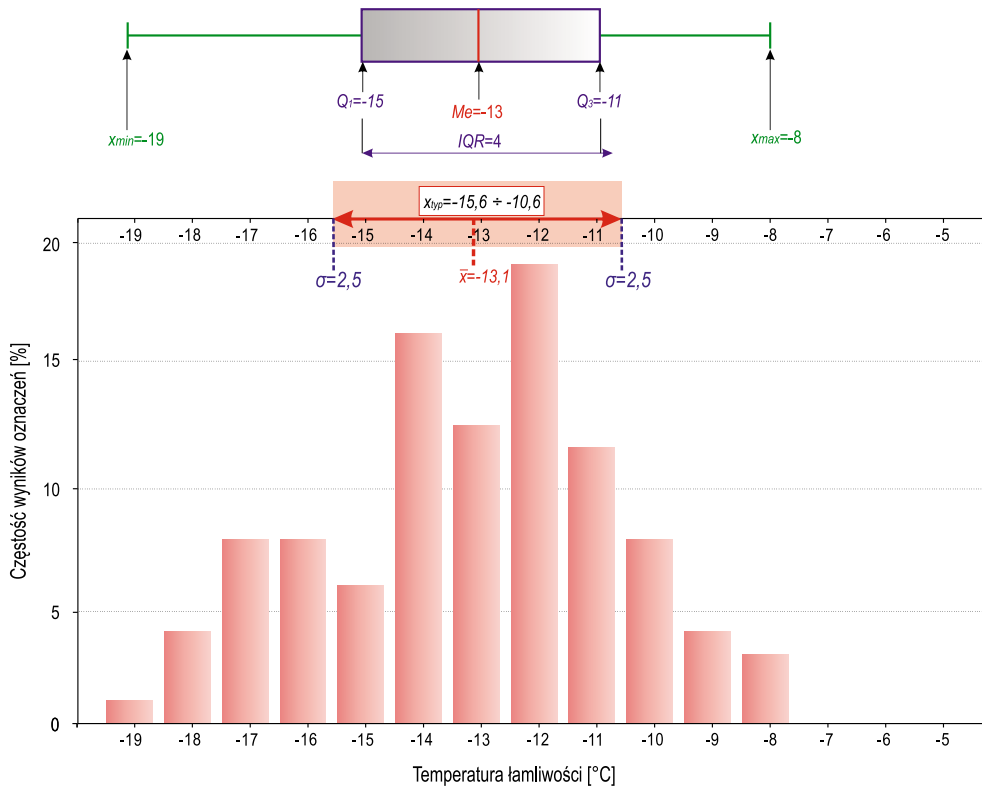
Badanie temperatury łamliwości wg Fraassa wykonywane jest zgodnie z normą PN-EN 12593 [10].
W tabeli 3.3. przedstawiono parametry statystyczne wyników oznaczeń temperatury łamliwości wg Fraassa dla asfaltów produkowanych w 2017 roku.

Tabela 3.3. Parametry statystyczne wyników oznaczeń temperatury łamliwości dla asfaltów produkowanych w 2017 r.

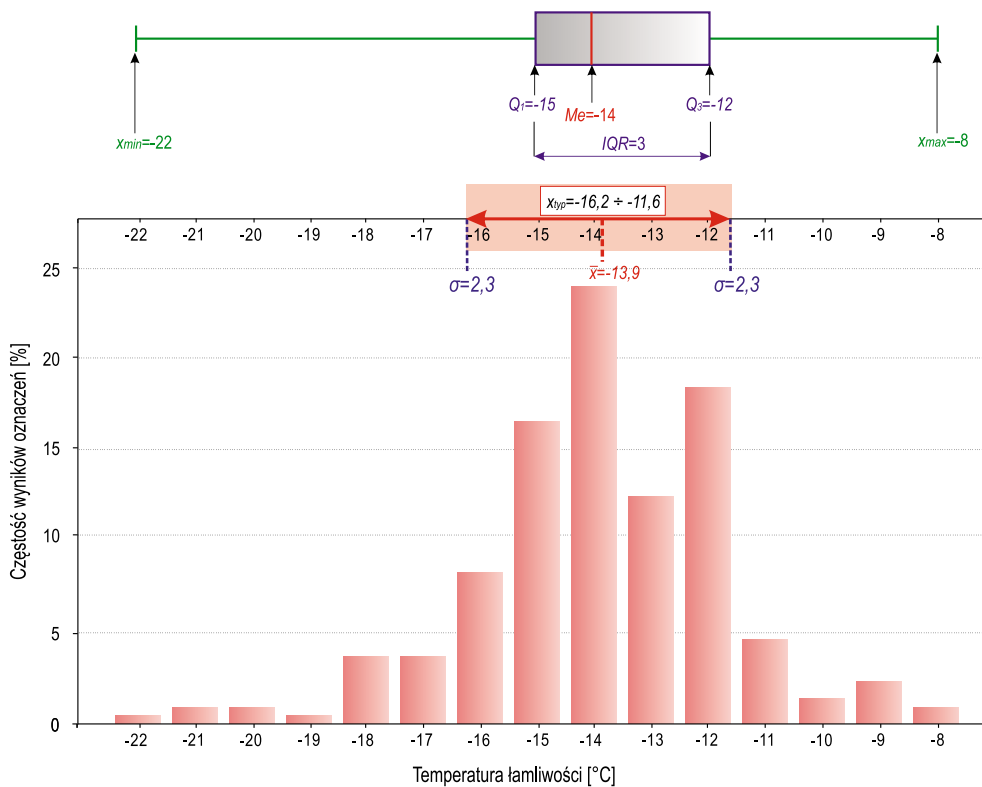
Rodzaj lepiszcza	Wymaganie* [°C]	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Przedział typowy	Mediana	Kwartył pierwszy	Kwartył trzeci	Wartość min – max
		\bar{x}	σ	x_{typ}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
20/30	NR	-10,4	2,3	-12,7 ÷ -8,1	-10	-12	-9	-18 ÷ -6
35/50	≤ -5	-13,1	2,5	-15,6 ÷ -10,6	-13	-15	-11	-19 ÷ -8
50/70	≤ -8	-13,9	2,3	-16,2 ÷ -11,6	-14	-15	-12	-22 ÷ -8
70/100	≤ -10	-15,4	2,0	-17,4 ÷ -13,4	-16	-16	-14	-21 ÷ -10
100/150	≤ -12	-15,6	2,0	-17,6 ÷ -13,6	-15	-17	-14	-21 ÷ -13
160/220	≤ -15	-17,5	1,7	-19,2 ÷ -15,8	-17	-19	-16	-22 ÷ -15
ORBITON 25/55-60	≤ -10	-17,3	3,1	-20,4 ÷ -14,2	-17	-19	-15	-23 ÷ -14
ORBITON 45/80-55	≤ -15	-17,8	1,3	-19,1 ÷ -16,5	-18	-19	-17	-20 ÷ -16
ORBITON 45/80-65	≤ -15	-18,8	1,9	-20,7 ÷ -16,9	-19	-20	-17	-23 ÷ -15
ORBITON 25/55-80 HiMA	≤ -15	-19,8	1,6	-21,4 ÷ -18,2	-20	-21	-19	-23 ÷ -17
ORBITON 45/80-80 HiMA	≤ -18	-20,7	1,2	-21,9 ÷ -19,5	-20	-22	-20	-23 ÷ -18
ORBITON 65/105-80 HiMA**	≤ -18	-20,1	0,6	-20,7 ÷ -19,5	-20	-21	-20	-21 ÷ -19

* dla asfaltów drogowych wg PN-EN 12591; dla PMB i PMB HiMA wg PN-EN 14023
** wyniki badań odnoszą się do okresu: 2015-2017 (odpowiednio duża liczba partii produkcyjnych)
NR – No Requirement (brak wymagań)

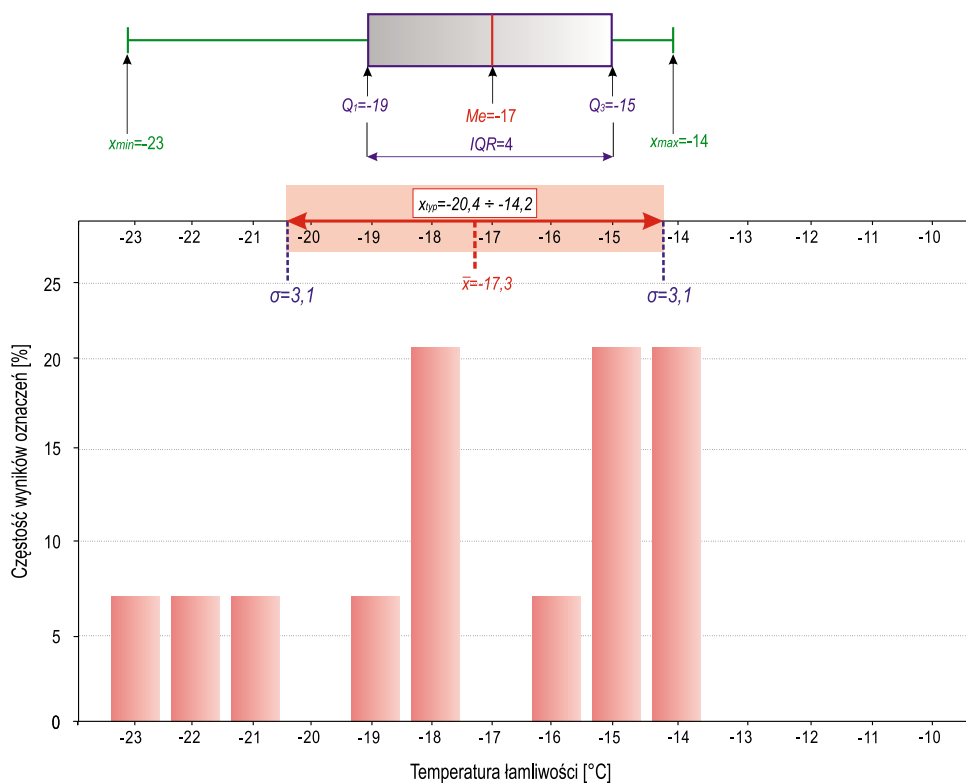
Dodatkowo, na rysunkach 3.17.-3.21. przedstawiono histogramy wraz w wykresami pudełkowymi, dla wyników temperatury łamliwości asfaltów produkowanych w 2017 roku.



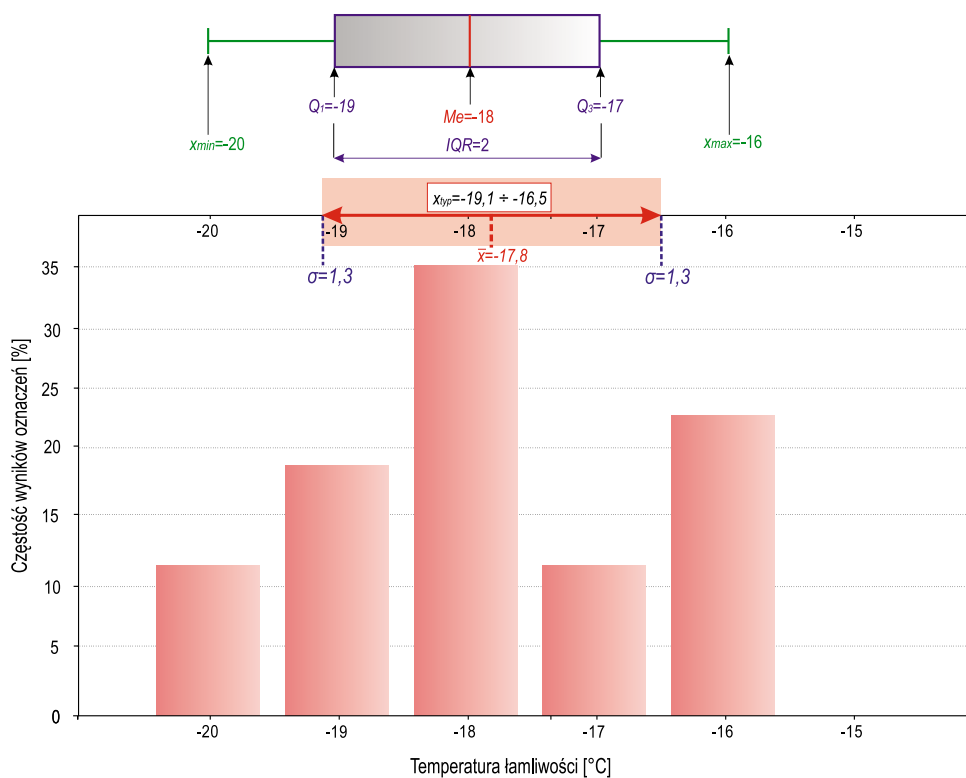
Rys. 3.17. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury łamliwości **asfaltu drogowego 35/50** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: ≤ -5 [°C])



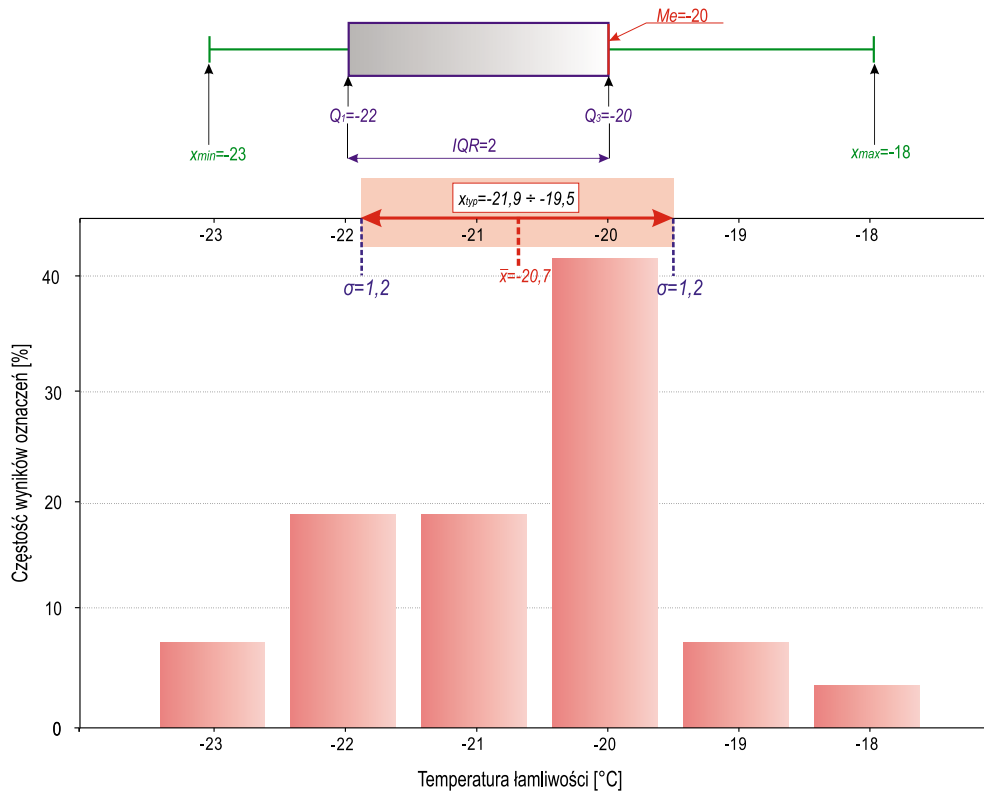
Rys. 3.18. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury łamliwości **asfaltu drogowego 50/70** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: ≤ -8 [°C])



Rys. 3.19. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury łamliwości asfaltu **ORBITON 25/55-60** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: ≤ -10 [°C])



Rys. 3.20. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury łamliwości asfaltu **ORBITON 45/80-55** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: ≤ -15 [°C])



Rys. 3.21. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń temperatury łamliwości asfaltu **ORBITON 45/80-80 HiMA** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: ≤ -18 [°C])

3.2.4. 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 [11].

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 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 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 [11]. Zależność ta może zostać wykorzystana do ustalenia charakterystyki lepkość-temperatura oraz wyznaczenia temperatury pompowania asfaltu, otaczania nim kruszywa oraz zagęszczania nawierzchni. W przypadku asfaltów wysokomodyfikowanych typu HiMA, zważywszy

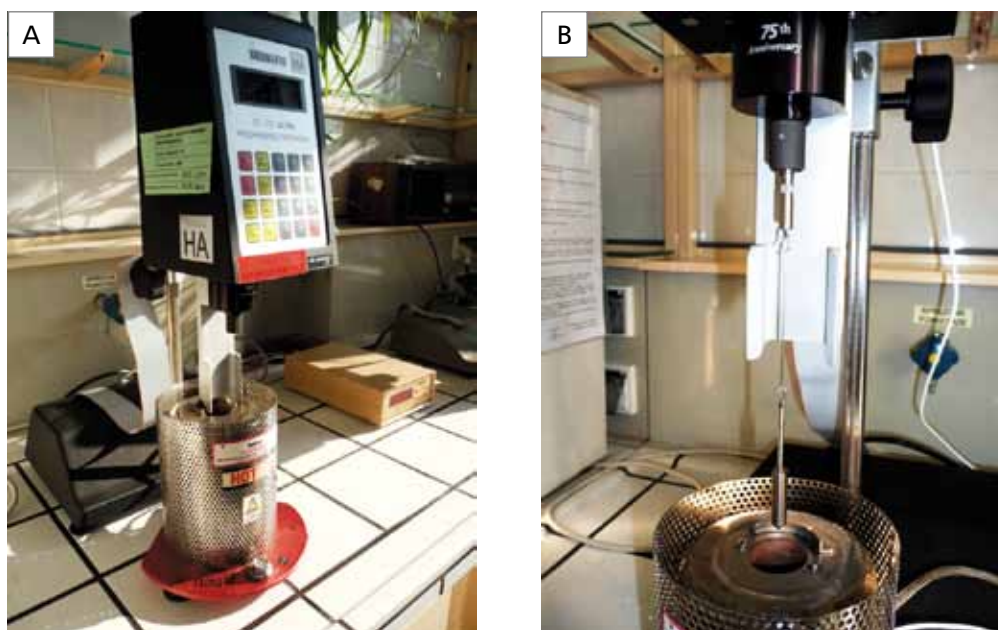
na ich nietypowe cechy, wynikające z odwrócenia faz asfalt-polimer oraz specyficznych właściwości zastosowanego polimeru, przyjmowanie zależności lepkość-temperatura do precyzyjnego określania temperatury technologicznej wydaje się niezbyt właściwe. Określone w ten sposób temperatury są w bardzo dużym stopniu przybliżone. Więcej informacji na temat temperatury technologicznej znajduje się w rozdziale 5.

Badanie lepkości dynamicznej można wykonać:

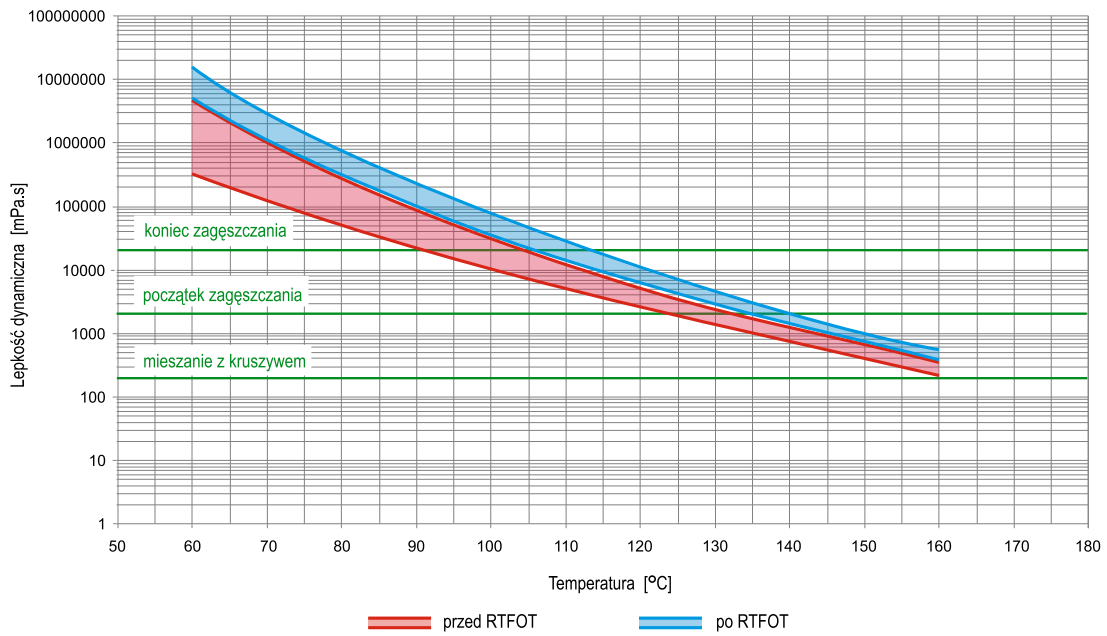
- metodą próżniowej kapilary Cannon-Manning, zgodnie z normą PN-EN 12596 [12];
- metodą stożek płaszczyzna za pomocą reometru, zgodnie z normą PN-EN 13702-1 [13];
- przy użyciu lepkościomierza obrotowego Brookfielda zgodnie z normami PN-EN 13302 lub ASTM D 4402 [14, 15].

Badanie lepkości kinematycznej wykonuje się natomiast przy pomocy lepkościomierza typu BS/IP/RF zgodnie z normą PN-EN 12595 [16].

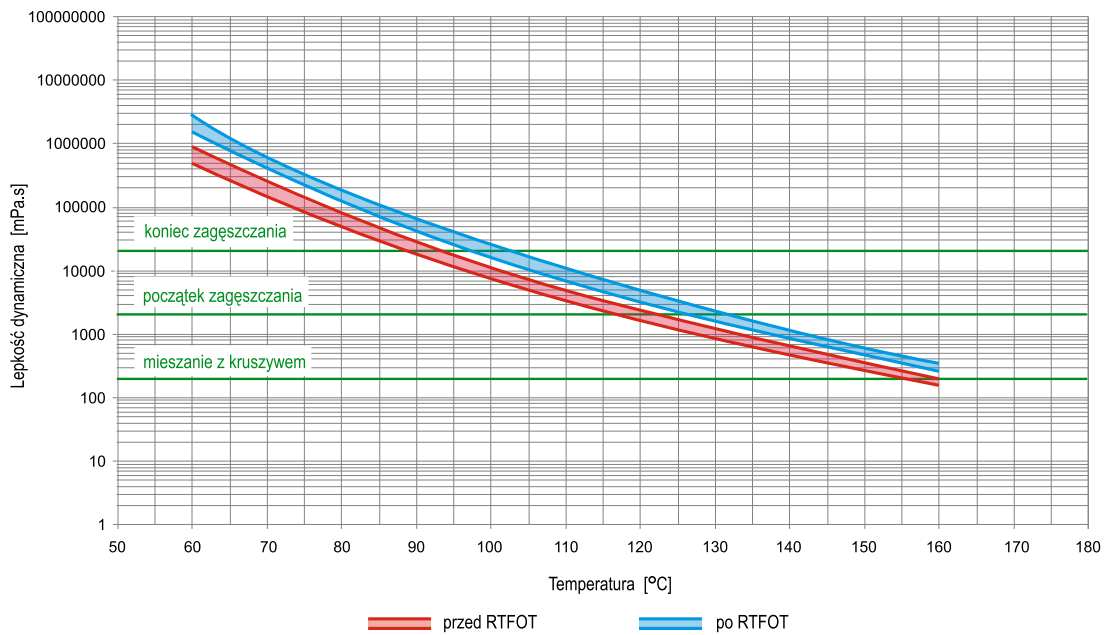
Na rysunkach 3.23. – 3.34. przedstawiono zakresy charakterystyczne lepkości otrzymane dla asfaltów produkowanych w 2017 roku, wykonane przy użyciu lepkościomierza obrotowego Brookfielda zgodnie z normą PN-EN 13302, rys. 3.22. Dla asfaltów drogowych miękkich, stosowanych przede wszystkim do produkcji emulsji asfaltowych (w technologii „na zimno”), podano zakresy lepkości tylko przed starzeniem metodą RTFOT. Dla lepiszczy wykorzystywanych w technologii „na gorąco” przedstawiono obie zależności – przed i po starzeniu RTFOT.



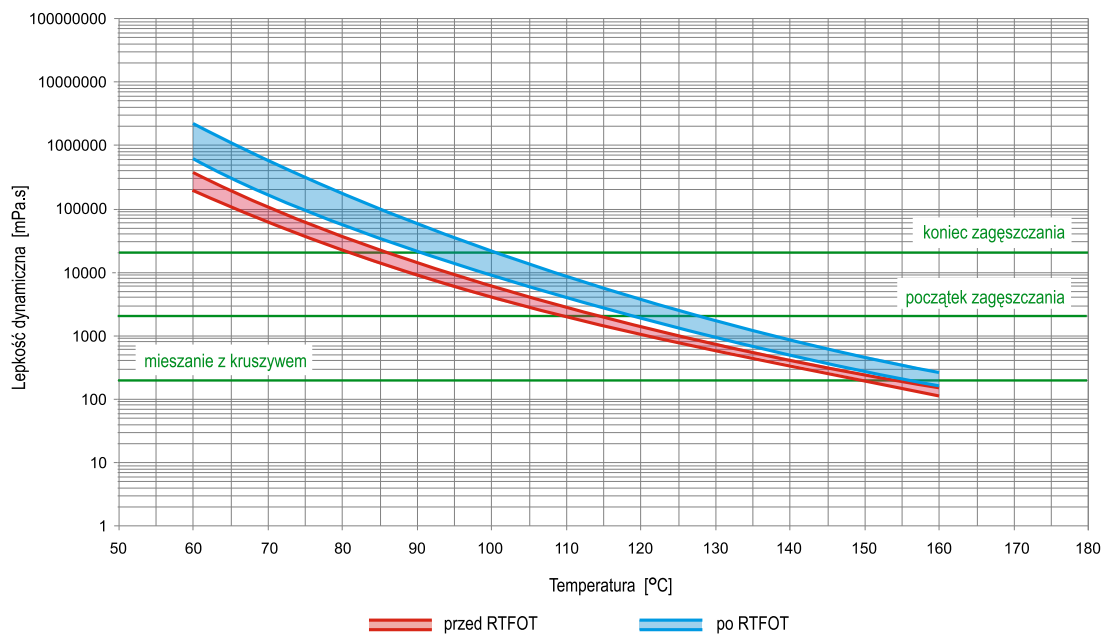
Rys. 3.22. (A) Widok ogólny lepkościomierza Brookfielda oraz (B) zbliżenie wrzeciona i termostatowanego pojemnika na próbkę asfaltu (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o., dzięki uprzejmości ORLEN Laboratorium sp. z o.o.)



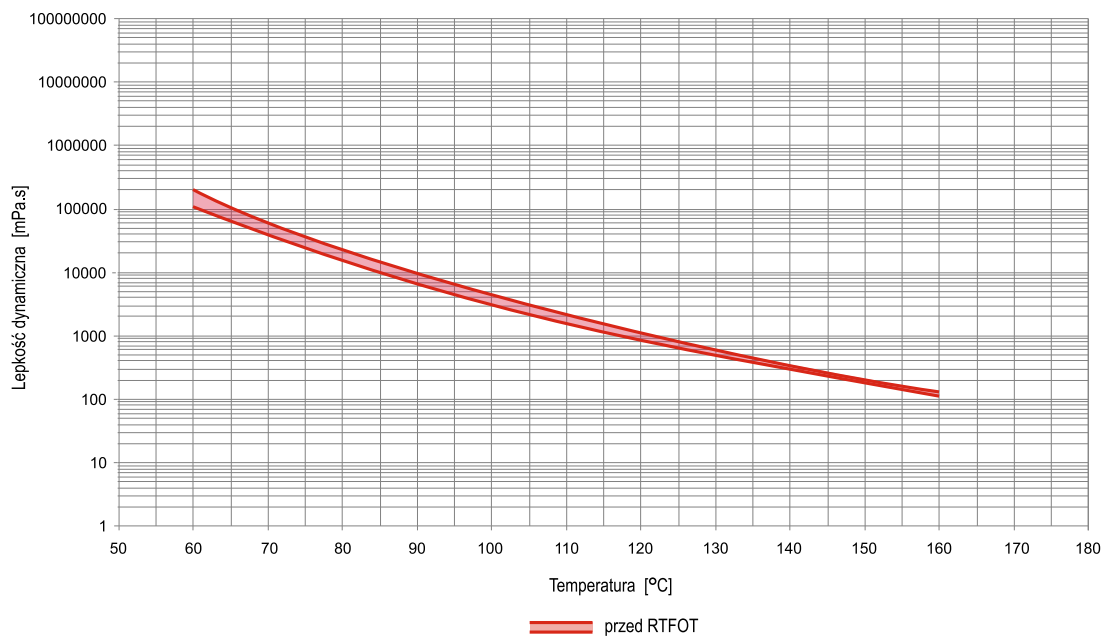
Rys. 3.23. Zależność lepkości od temperatury dla asfaltu drogowego **20/30**, produkowanego w 2017 r.



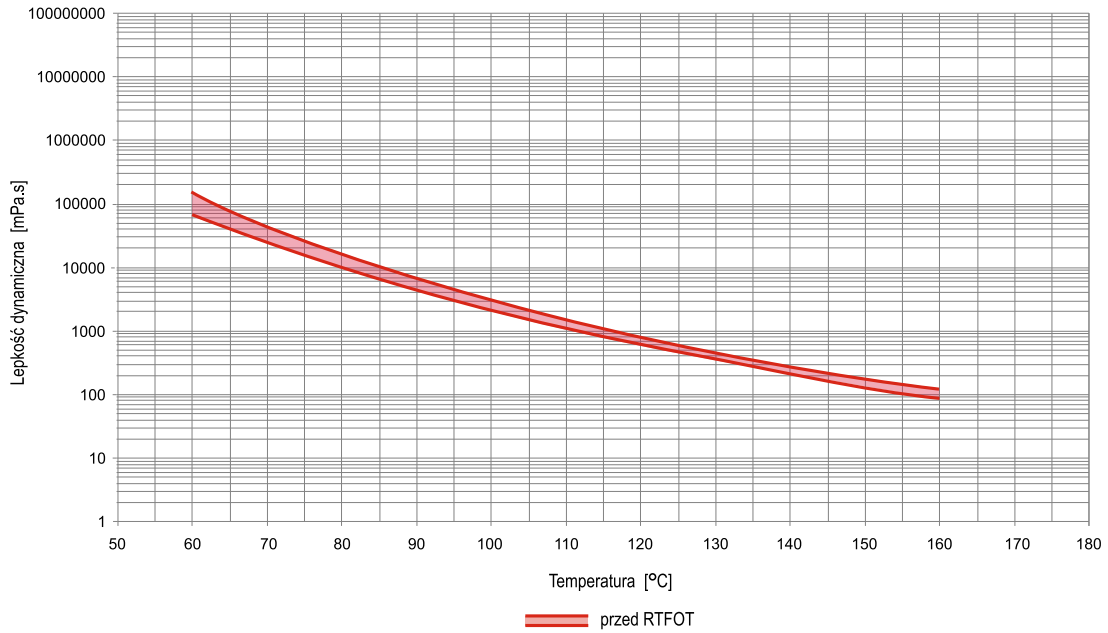
Rys. 3.24. Zależność lepkości od temperatury dla asfaltu drogowego **35/50**, produkowanego w 2017 r.



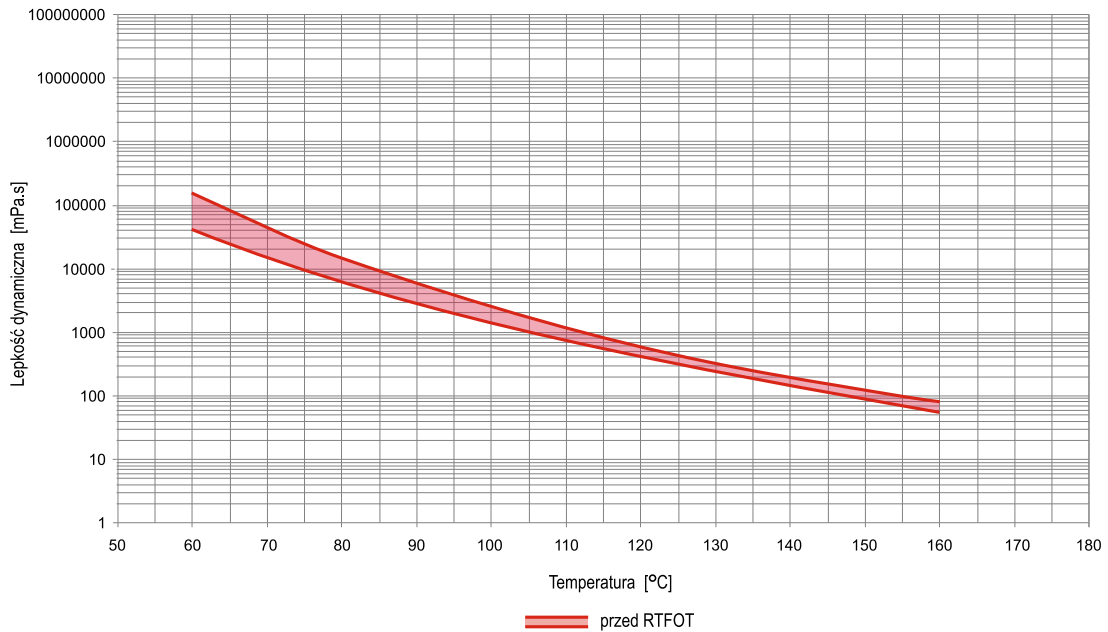
Rys. 3.25. Zależność lepkości od temperatury dla asfaltu drogowego **50/70**, produkowanego w 2017 r.



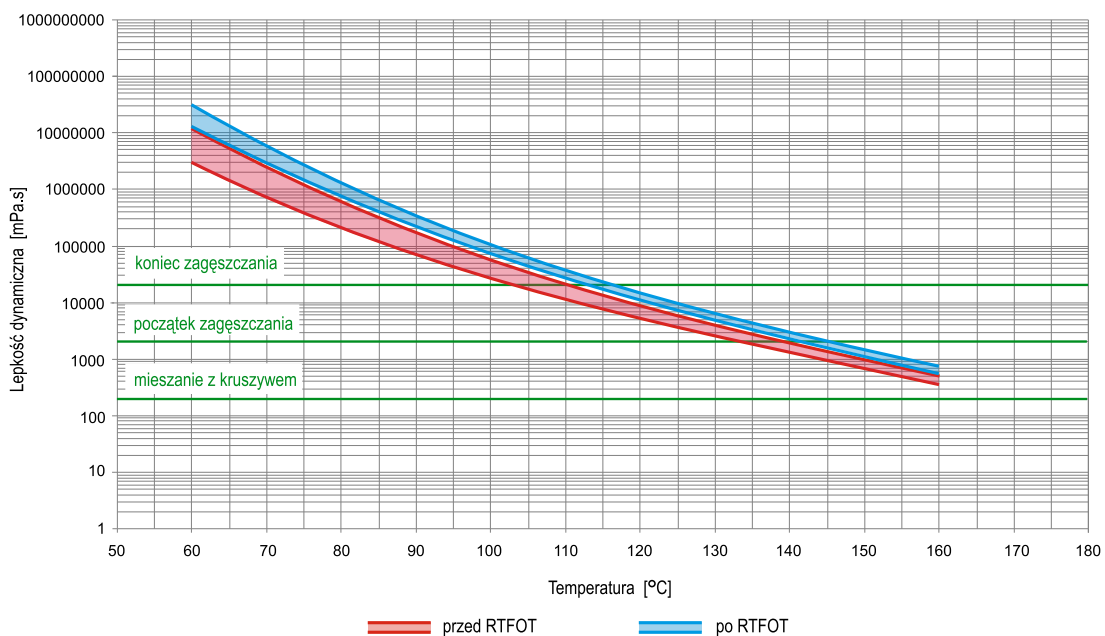
Rys. 3.26. Zależność lepkości od temperatury dla asfaltu drogowego **70/100**, produkowanego w 2017 r.



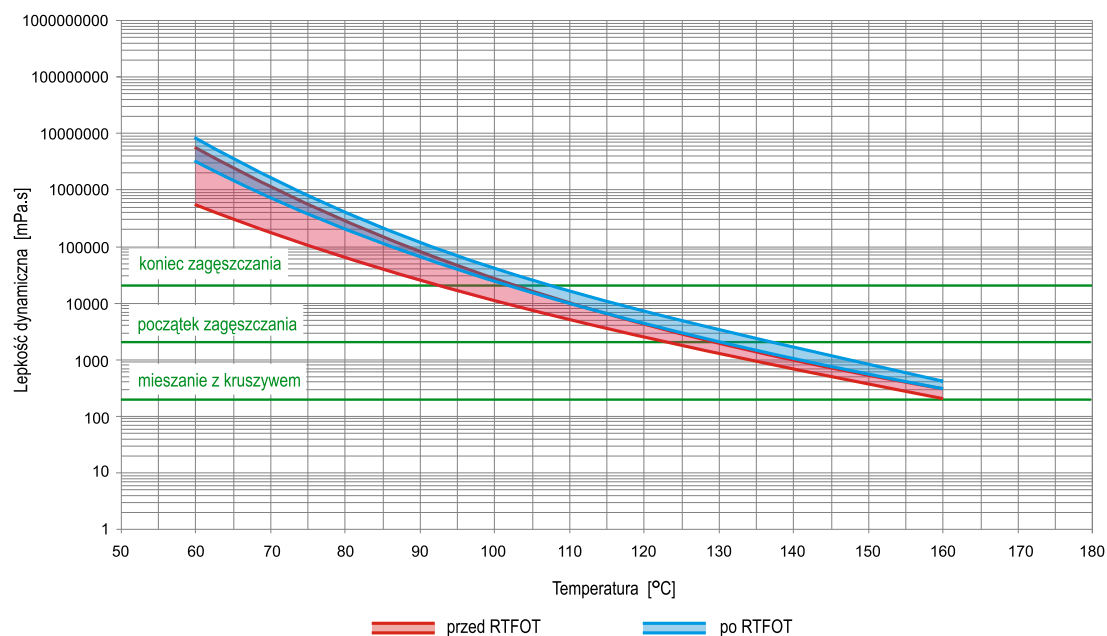
Rys. 3.27. Zależność lepkości od temperatury dla asfaltu drogowego **100/150**, produkowanego w 2017 r.



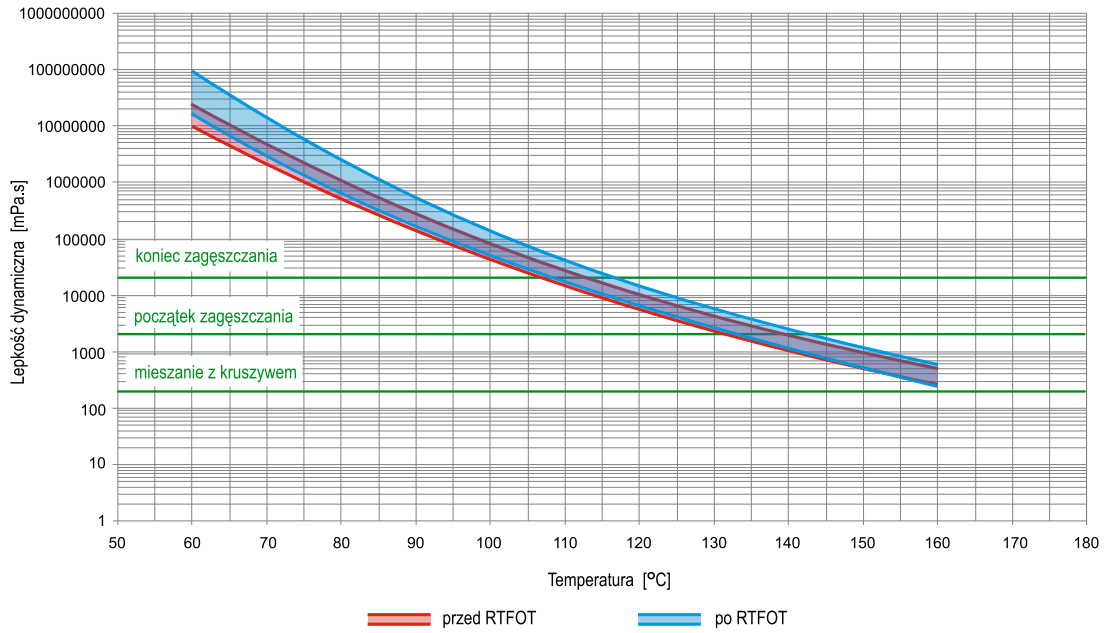
Rys. 3.28. Zależność lepkości od temperatury dla asfaltu drogowego **160/220**, produkowanego w 2017 r.



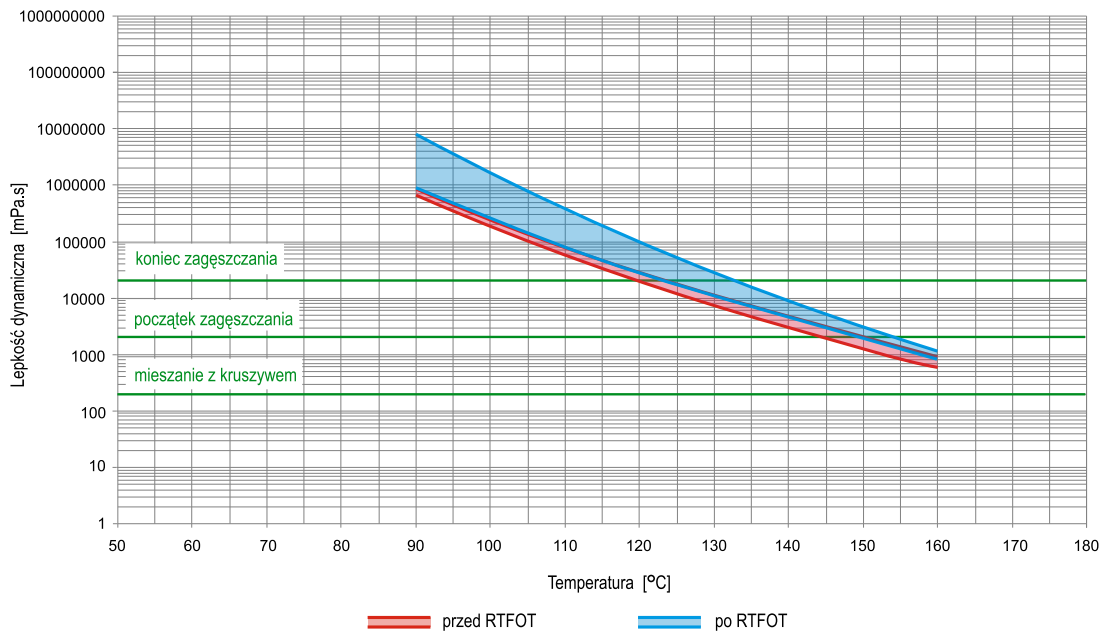
Rys. 3.29. Zależność lepkości od temperatury dla asfaltu modyfikowanego **ORBITON 25/55-60**, produkowanego w 2017 r.



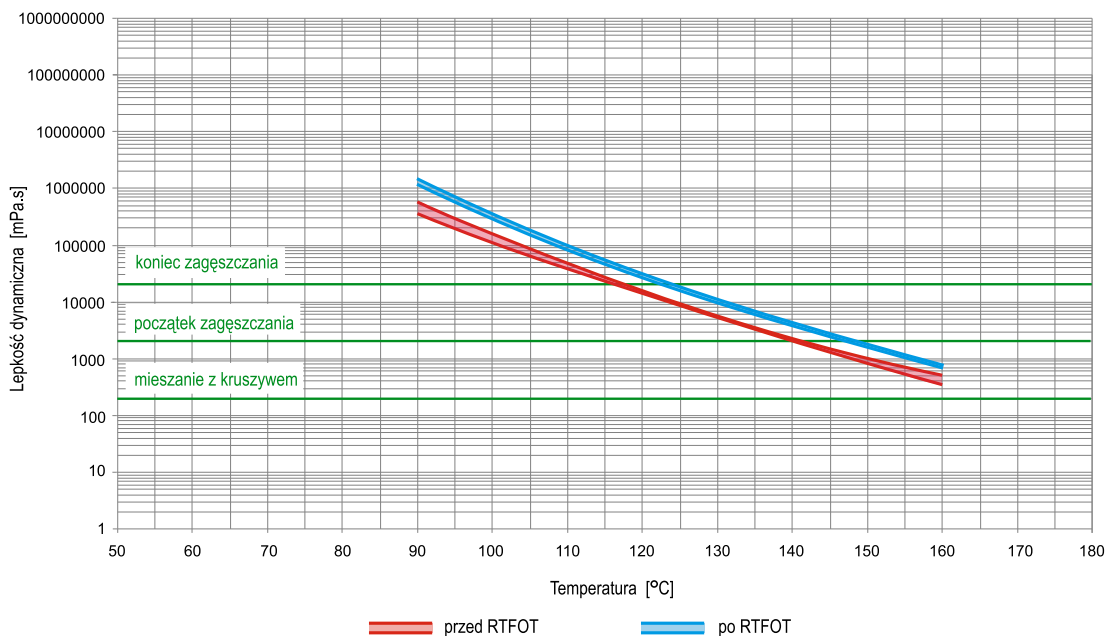
Rys. 3.30. Zależność lepkości od temperatury dla asfaltu modyfikowanego **ORBITON 45/80-55**, produkowanego w 2017 r.



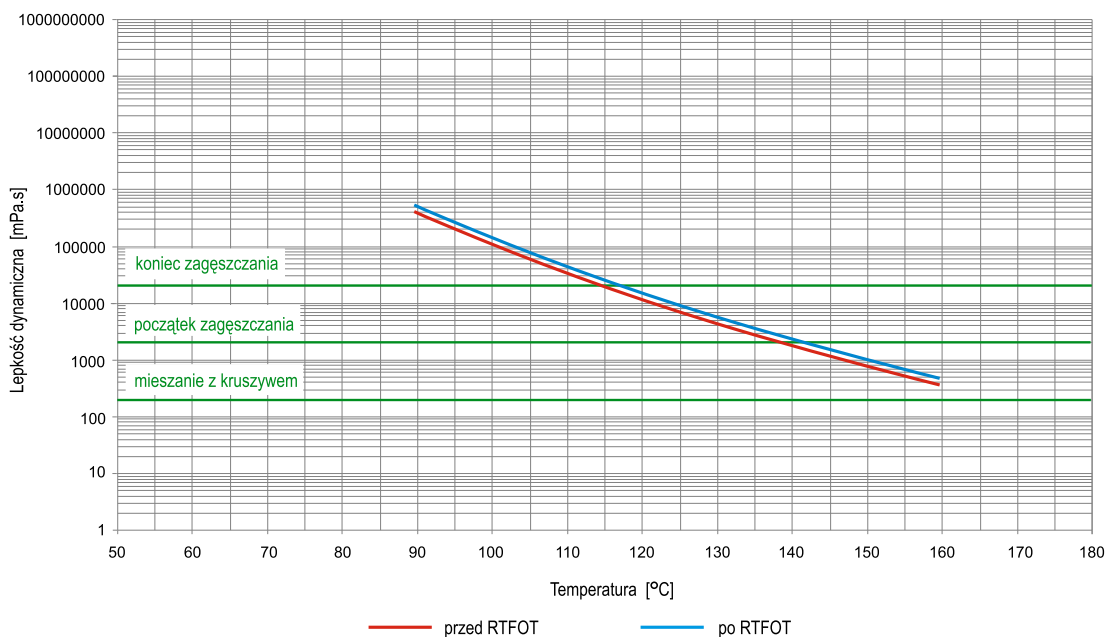
Rys. 3.31. Zależność lepkości od temperatury dla asfaltu modyfikowanego **ORBITON 45/80-65**, produkowanego w 2017 r.



Rys. 3.32. Zależność lepkości od temperatury dla asfaltu wysokomodyfikowanego **ORBITON 25/55-80 HiMA**, produkowanego w 2017 r.



Rys. 3.33. Zależność lepkości od temperatury dla asfaltu wysokomodyfikowanego **ORBITON 45/80-80 HiMA**, produkowanego w 2017 r.



Rys. 3.34. Zależność lepkości od temperatury dla asfaltu wysokomodyfikowanego **ORBITON 65/105-80 HiMA**, produkowanego w 2017 r.

W tabeli 3.4. zamieszczono przykładowe wyniki badania lepkości asfaltów, produkowanych w 2017 roku.

Tabela 3.4. Przykładowe wyniki badania lepkości asfaltów produkowanych w 2017 r.

Rodzaj lepiszcza	Lepkość dynamiczna wg PN-EN 13302 [Pa*s]								Lepkość kinematyczna wg PN-EN 12595 [mm ² /s]
	przed RTFOT				po RTFOT				
	60°C	90°C	135°C	160°C	60°C	90°C	135°C	160°C	135°C
20/30	3 181	53	1,41	0,39	11 500	124	2,29	0,56	2 841
35/50	684	18	0,69	0,22	2 560	47	1,15	0,31	686
50/70	260	8,40	0,42	0,13	772	18	0,65	0,21	462
70/100	135	5,65	0,32	0,13	—	—	—	—	338
100/150	82	4,17	0,27	0,11	—	—	—	—	280
160/220	54	3,12	0,24	0,09	—	—	—	—	237
ORBITON 25/55-60	—	60	2,23	0,41	—	257	3,41	0,82	—
ORBITON 45/80-55	—	22	1,06	0,36	—	52	1,27	0,41	—
ORBITON 45/80-65	—	42	1,44	0,50	—	80	1,59	0,42	—
ORBITON 25/55-80 HiMA	—	796	3,53	0,83	—	2 065	5,91	1,15	—
ORBITON 45/80-80 HiMA	—	372	2,74	0,62	—	1 128	4,13	0,92	—
ORBITON 65/105-80 HiMA	—	474	1,54	0,52	—	549	2,25	0,15	—

3.2.5. 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 [17].

Na rys. 3.35. przedstawiono suszarkę do przeprowadzania testu starzenia technologicznego metodą RTFOT.



Rys. 3.35. Widok ogólny suszarki do przeprowadzania testu starzenia technologicznego RTFOT (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o. dzięki uprzejmości ORLEN Laboratorium sp. z o.o.)

3.2.5.1. 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 3.5.

Tabela 3.5. Parametry statystyczne wyników oznaczeń odporności na starzenie – pozostała penetracja [%], dla asfaltów produkowanych w 2017 r.

Rodzaj lepiszcza	Wymaganie* [%]	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Przedział typowy	Mediana	Kwartył pierwszy	Kwartył trzeci	Wartość min – max
		\bar{x}	σ	x_{typ}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
20/30	≥ 55	74,0	6,6	67,4 ÷ 80,6	73	72	79	63 ÷ 85
35/50	≥ 53	68,7	8,6	60,1 ÷ 77,3	67	63	70	60 ÷ 85
50/70	≥ 50	69,0	8,3	60,7 ÷ 77,3	66	63	76	58 ÷ 85
70/100	≥ 46	71,1	11,1	60,0 ÷ 82,2	68	61	82	56 ÷ 86
100/150	≥ 43	59,5	3,8	55,7 ÷ 63,3	59	57	62	53 ÷ 65
160/220	≥ 37	70,9	14,3	56,6 ÷ 85,2	75	55	82	49 ÷ 91
ORBITON 25/55-60	≥ 60	73,8	2,9	70,9 ÷ 76,7	74	72	75	68 ÷ 79
ORBITON 45/80-55	≥ 60	67,2	5,5	61,7 ÷ 72,7	66	64	68	61 ÷ 79
ORBITON 45/80-65	≥ 60	74,2	5,4	68,8 ÷ 79,6	76	71	78	63 ÷ 80
ORBITON 25/55-80 HiMA	≥ 60	77,5	5,3	72,2 ÷ 82,8	80	72	82	70 ÷ 83
ORBITON 45/80-80 HiMA	≥ 60	77,2	5,3	71,9 ÷ 82,5	76	74	81	70 ÷ 86
ORBITON 65/105-80 HiMA**	≥ 60	81,8	9,0	72,8 ÷ 90,8	84	74	87	69 ÷ 96

* dla asfaltów drogowych wg PN-EN 12591; dla PMB i PMB HiMA wg PN-EN 14023
 ** wyniki badań odnoszą się do okresu: 2015-2017 (odpowiednio duża liczba partii produkcyjnych)

3.2.5.2. Wzrost i spadek temperatury mięknięcia 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. Opcjonalne wymaganie określenia spadku temperatury mięknięcia po starzeniu RTFOT, zawiera załącznik krajowy NA do normy PN-EN 14023:2011.

W tabeli 3.6. przedstawiono dane statystyczne dotyczące zmiany temperatury mięknięcia (wzrost i spadek) pod wpływem starzenia metodą RTFOT dla badanych lepiszczy asfaltowych.

Tabela 3.6. Parametry statystyczne wyników oznaczeń odporności na starzenie – zmiana temperatury mięknięcia PIK [°C], dla asfaltów produkowanych w 2017 r.

Rodzaj lepiszcza	Wymaganie* [°C]	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Przedział typowy	Mediana	Kwartył pierwszy	Kwartył trzeci	Wartość min – max
		\bar{x}	σ	x_{typ}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
20/30	≤ 8	6,8	1,0	5,8 ÷ 7,8	7,4	5,6	7,4	5,4 ÷ 8,0
35/50	≤ 8	6,6	1,0	5,6 ÷ 7,6	6,4	6,2	7,4	4,8 ÷ 8,0
50/70	≤ 9	5,2	1,0	4,2 ÷ 6,2	5,4	4,4	5,9	3,6 ÷ 7,8
70/100	≤ 9	3,8	1,6	2,2 ÷ 5,4	3,4	2,3	5,2	1,4 ÷ 6,4
100/150	≤ 10	5,5	0,9	4,6 ÷ 6,4	5,6	5,2	6,2	3,8 ÷ 6,6
160/220	≤ 11	4,2	1,3	2,9 ÷ 5,5	4,4	2,8	5,6	2,4 ÷ 6,2
ORBITON 25/55-60	≤ 8 lub TBR**	4,8	1,8	3,0 ÷ 6,6	4,6	3,4	6,4	1,4 ÷ 7,8
ORBITON 45/80-55	≤ 8 lub TBR**	3,9	1,9	2,0 ÷ 5,8	3,9	2,1	5,7	1,6 ÷ 6,4
ORBITON 45/80-65	≤ 8 lub TBR**	0,7	2,0	-1,3 ÷ 2,7	1,0	-1,9	2,4	-2,0 ÷ 3,6
ORBITON 25/55-80 HiMA	≤ 8 lub TBR**	2,5	1,0	1,5 ÷ 3,5	2,8	1,8	3,0	1,0 ÷ 4,0
ORBITON 45/80-80 HiMA	≤ 8 lub TBR**	2,9	2,1	0,8 ÷ 5,0	3,5	0,8	4,8	0,0 ÷ 5,0
ORBITON 65/105-80 HiMA***	≤ 8 lub TBR**	1,3	2,2	-0,9 ÷ 3,5	2,0	1,5	2,3	-3,8 ÷ 3,0

* dotyczy wzrostu PIK dla asfaltów drogowych wg PN-EN 12591; dla PMB i PMB HiMA wg PN-EN 14023
** TBR – To Be Reported (do zadeklarowania) dotyczy spadku PIK dla PMB i PMB HiMA wg PN-EN 14023
*** wyniki badań odnoszą się do okresu: 2015-2017 (odpowiednio duża liczba partii produkcyjnych)

3.2.5.3. 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 3.7. W tabeli uwzględniono, że wartość zmiany masy może być wartością dodatnią bądź ujemną.

Tabela 3.7. Parametry statystyczne wyników oznaczeń odporności na starzenie – zmiana masy [%] w wyniku starzenia metodą RTFOT, dla asfaltów produkowanych w 2017 r.

Rodzaj lepiszcza	Wymaganie* [%]	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Przedział typowy	Mediana	Kwartył pierwszy	Kwartył trzeci	Wartość min – max
		\bar{x}	σ	x_{typ}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
20/30	≤ 0,5	-0,04	0,03	-0,07 ÷ -0,01	-0,03	-0,06	-0,02	-0,09 ÷ -0,02
35/50	≤ 0,5	-0,05	0,02	-0,07 ÷ -0,03	-0,05	-0,06	-0,03	-0,08 ÷ -0,02
50/70	≤ 0,5	-0,01	0,09	-0,10 ÷ 0,08	-0,04	-0,07	0,08	-0,17 ÷ 0,10
70/100	≤ 0,8	0,01	0,07	-0,06 ÷ 0,08	0,02	-0,05	0,08	-0,16 ÷ 0,11
100/150	≤ 0,8	-0,07	0,05	-0,12 ÷ -0,02	-0,06	-0,09	-0,04	-0,14 ÷ 0,01
160/220	≤ 1,0	0,00	0,08	-0,08 ÷ 0,08	0,01	-0,08	0,08	-0,14 ÷ 0,10
ORBITON 25/55-60	≤ 0,5	-0,02	0,06	-0,08 ÷ 0,04	-0,03	-0,05	0,05	-0,12 ÷ 0,08
ORBITON 45/80-55	≤ 0,5	-0,01	0,01	-0,02 ÷ 0,00	-0,02	-0,02	-0,01	-0,03 ÷ 0,01
ORBITON 45/80-65	≤ 0,5	0,01	0,06	-0,05 ÷ 0,07	-0,01	-0,04	0,07	-0,07 ÷ 0,10
ORBITON 25/55-80 HiMA	≤ 0,5	0,05	0,06	-0,01 ÷ 0,11	0,09	-0,01	0,10	-0,03 ÷ 0,12
ORBITON 45/80-80 HiMA	≤ 0,5	0,02	0,06	-0,04 ÷ 0,08	0,03	-0,03	0,07	-0,08 ÷ 0,09
ORBITON 65/105-80 HiMA**	≤ 0,5	0,06	0,01	0,05 ÷ 0,07	0,06	0,05	0,07	0,05 ÷ 0,08

* dla asfaltów drogowych wg PN-EN 12591; dla PMB i PMB HiMA wg PN-EN 14023
 ** wyniki badań odnoszą się do okresu: 2015-2017 (odpowiednio duża liczba partii produkcyjnych)

3.2.6. GĘSTOŚĆ ASFALTÓW

Badanie gęstości asfaltu wykonywane jest według norm PN-EN 15326 lub PN-EN ISO 3838 [18, 19]. 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 [20]. Do projektowania mieszanek mineralno-asfaltowych można przyjmować gęstości lepiszczy asfaltowych zamieszczone w tabeli 3.8.

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 3.8. przedstawiono średnie wyniki badania gęstości asfaltów produkowanych w latach 2016-2017. Badanie wykonano według metody z użyciem piknometru z korkiem kapilarnym, w temperaturze 15°C.

Tabela 3.8. Średnie wyniki badania gęstości lepiszczy asfaltowych produkowanych w latach 2016-2017

Rodzaj lepiszcza	Gęstość w 15°C wg PN-EN 15326 [kg/m ³]
Drogowy 20/30	1027
Drogowy 35/50	1023
Drogowy 50/70	1024
Drogowy 70/100	1022
Drogowy 100/150	1015
Drogowy 160/220	1018
Modyfikowany ORBITON 25/55-60	1020
Modyfikowany ORBITON 45/80-55	1020
Modyfikowany ORBITON 45/80-65	1022
Wysokomodyfikowany ORBITON 25/55-80 HiMA	1018
Wysokomodyfikowany ORBITON 45/80-80 HiMA	1023

Podane w tabeli 3.8. 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 [25]. Dla ułatwienia można stosować poniższe równanie:

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

gdzie:

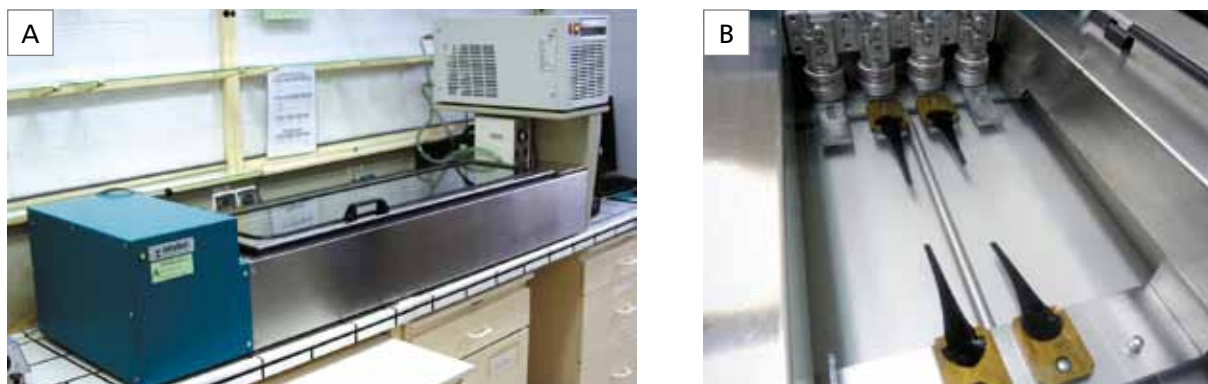
- ρ_x – gęstość w poszukiwanej temperaturze X
- ρ_{15} – gęstość w temperaturze 15°C w Mg/m³
- Δt – różnica temperatur ($X - 15$), $X \in <15, 16 \dots 200>$

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

3.3. WŁAŚCIWOŚCI DODATKOWE DLA ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH POLIMERAMI

3.3.1. 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 [21]. Istotą wykonania badania jest wyznaczenie umownego wyrażenia sprężystości asfaltu w postaci pomiaru odległości pomiędzy końcami rozciągniętej i przeciętej próbki w ustalonych warunkach, rys. 3.36.



Rys. 3.36. (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 sp. z o.o.)

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 się polimerowa może działać w nawierzchni asfaltowej.

Tabele 3.9. oraz 3.10. zawierają parametry statystyczne wyników oznaczeń nawrotu sprężystego w 25°C dla asfaltów modyfikowanych polimerami ORBITON oraz wysokomodyfikowanych polimerami ORBITON HiMA produkowanych w 2017 roku, odpowiednio przed i po starzeniu metodą RTFOT.

Tabela 3.9. Parametry statystyczne wyników oznaczeń nawrotu sprężystego w 25°C przed starzeniem RTFOT dla asfaltów ORBITON oraz ORBITON HiMA produkowanych w 2017 r.

Rodzaj lepiszcza	Wymaganie PN-EN 14023 [%]	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Przedział typowy	Mediana	Kwartył pierwszy	Kwartył trzeci	Wartość min – max
		\bar{x}	σ	x_{typ}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
ORBITON 25/55-60	≥ 60	73,4	6,3	67,1 ÷ 79,7	74	69	78	60 ÷ 89
ORBITON 45/80-55	≥ 70	79,8	5,1	74,7 ÷ 84,9	80	76	84	70 ÷ 93
ORBITON 45/80-65	≥ 80	86,3	3,7	82,6 ÷ 90,0	86	84	89	80 ÷ 96
ORBITON 25/55-80 HiMA	≥ 80	92,0	3,1	88,9 ÷ 95,1	92	90	95	83 ÷ 96
ORBITON 45/80-80 HiMA	≥ 80	94,0	3,9	90,1 ÷ 97,9	95	94	95	80 ÷ 98
ORBITON 65/105-80 HiMA*	≥ 80	95,3	2,7	92,6 ÷ 98,0	95	94	97	92 ÷ 100

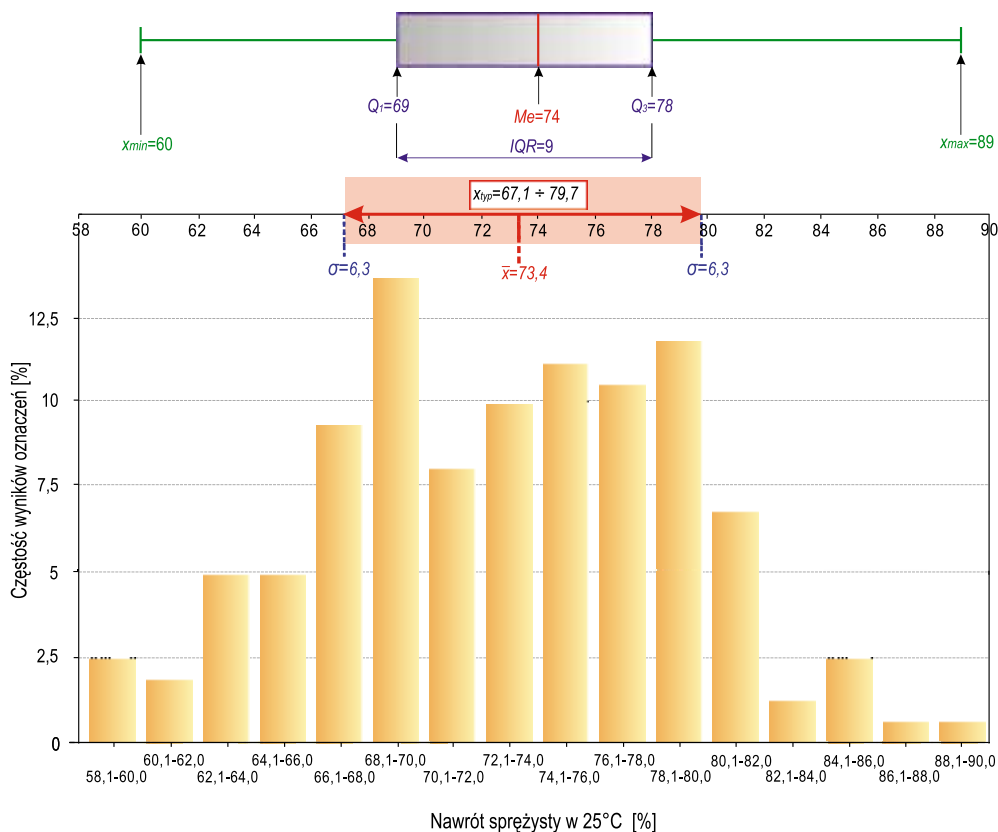
* wyniki badań odnoszą się do okresu: 2015-2017 (odpowiednio duża liczba partii produkcyjnych)

Tabela 3.10. Parametry statystyczne wyników oznaczeń nawrotu sprężystego w 25°C po starzeniu metodą RTFOT, dla asfaltów ORBITON oraz ORBITON HiMA produkowanych w 2017 r.

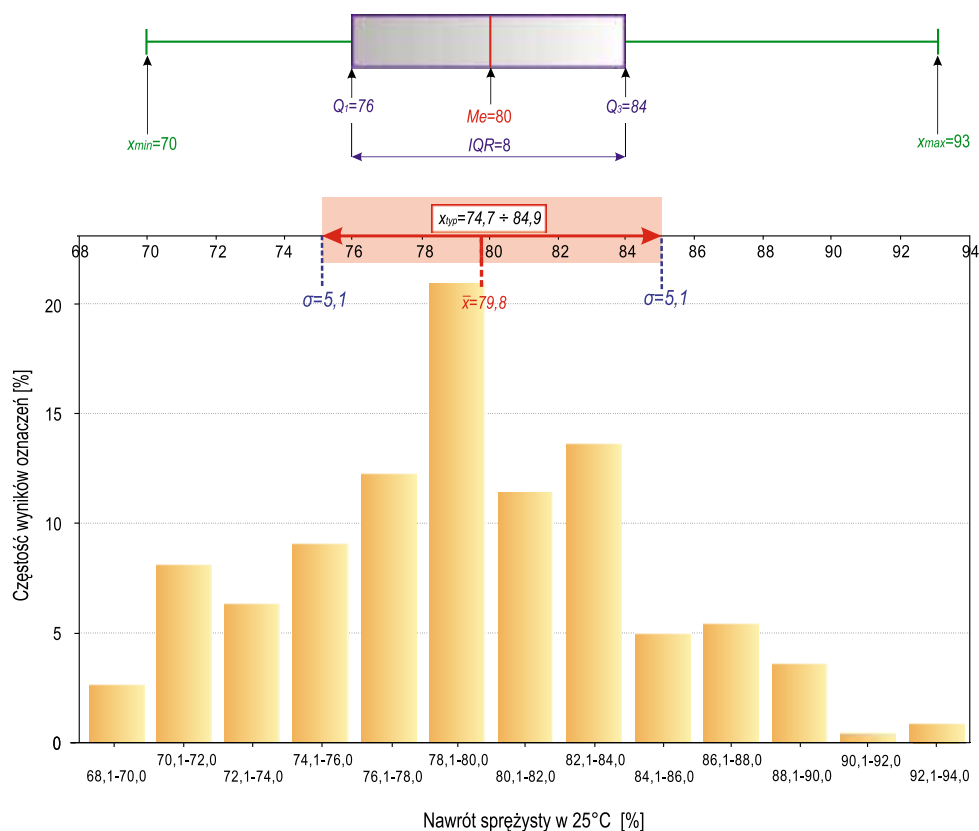
Rodzaj lepiszcza	Wymaganie PN-EN 14023 [%]	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Przedział typowy	Mediana	Kwartył pierwszy	Kwartył trzeci	Wartość min – max
		\bar{x}	σ	x_{typ}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
ORBITON 25/55-60	≥ 50	73,5	6,1	67,4 ÷ 79,6	74	68	77	64 ÷ 86
ORBITON 45/80-55	≥ 50	82,4	1,9	80,5 ÷ 84,3	83	81	84	79 ÷ 85
ORBITON 45/80-65	≥ 60	82,5	3,8	78,7 ÷ 86,3	84	81	84	75 ÷ 88
ORBITON 25/55-80 HiMA	≥ 50	87,5	3,1	84,4 ÷ 90,6	88	85	89	84 ÷ 93
ORBITON 45/80-80 HiMA	≥ 60	91,5	2,8	88,7 ÷ 94,3	92	90	94	86 ÷ 94
ORBITON 65/105-80 HiMA*	≥ 70	94,5	2,8	91,7 ÷ 97,3	95	93	96	90 ÷ 99

* wyniki badań odnoszą się do okresu: 2015-2017 (odpowiednio duża liczba partii produkcyjnych)

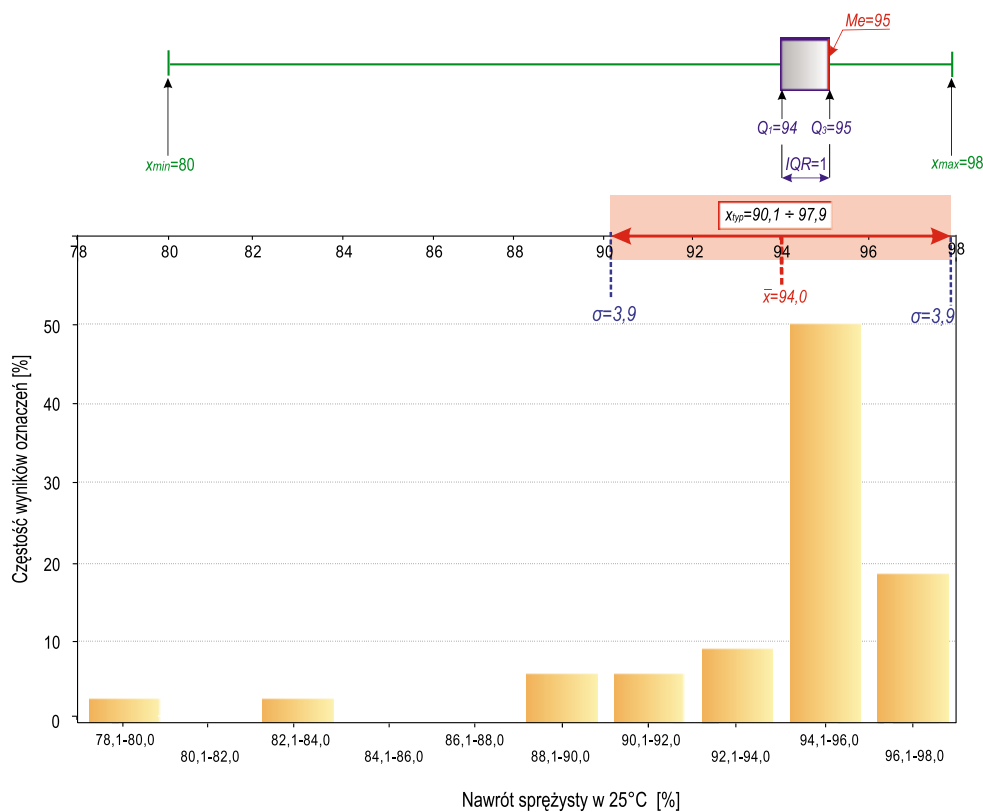
Dodatkowo, na rysunkach 3.37.–3.39. przedstawiono histogramy wraz w wykresami pudełkowymi, dla wyników nawrotu sprężystego wybranych asfaltów modyfikowanych i wysokomodyfikowanych polimerami produkowanych w 2017 roku.



Rys. 3.37. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń nawrotu sprężystego w 25°C przed starzeniem RTFOT dla asfaltu **ORBITON 25/55-60** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: ≥ 60 [%])



Rys. 3.38. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń nawrotu sprężystego w 25°C przed starzeniem RTFOT dla asfaltu **ORBITON 45/80-55** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: ≥ 70 [%])



Rys. 3.39. Histogram oraz wykres pudełkowy przedstawiający wyniki oznaczeń nawrotu sprężystego w 25°C przed starzeniem RTFOT dla asfaltu **ORBITON 45/80-80 HiMA** produkowanego w 2017 r. (zakres normowy: ≥ 80 [%])

3.3.2. ZAKRES PLASTYCZNOŚCI

Zakres plastyczności (lub przedział plastyczności) jest to różnica pomiędzy temperaturą mięknięcia a temperaturą tąpliwości wg Fraassa. Z definicji, zakres plastyczności jest to zakres temperaturowy, w którym lepiszcze asfaltowe zachowuje właściwości lepko-sprężyste.

Z punktu widzenia użytkownika lepiszcza, klasyczna teoria asfaltowa kładzie nacisk na jak największą wartość tego zakresu – czyli możliwie najniższą wartość temperatury tąpliwości i najwyższą wartość temperatury mięknięcia. Zakres plastyczności umieszczony jest w specyfikacji dla asfaltów modyfikowanych polimerami, załącznik krajowy NA do normy PN-EN 14023:2011. Średnie przedziały plastyczności polimeroasfaltów produkowanych w 2017 roku przedstawia tabela 3.11.

Tabela 3.11. Średnie przedziały plastyczności lepiszczy asfaltowych produkowanych w 2017 roku

Rodzaj lepiszcza	Wymaganie PN-EN 14023	Zakres plastyczności [°C]
Modyfikowany ORBITON 25/55-60	NR	80,6
Modyfikowany ORBITON 45/80-55	NR	75,7
Modyfikowany ORBITON 45/80-65	NR	90,5
Wysokomodyfikowany ORBITON 25/55-80 HiMA	NR	113,1
Wysokomodyfikowany ORBITON 45/80-80 HiMA	NR	113,3
Wysokomodyfikowany ORBITON 65/105-80 HiMA*	NR	111,1

* wyniki badań odnoszą się do okresu: 2015-2017 (odpowiednio duża liczba partii produkcyjnych)
NR – No Requirement (brak wymagań)

3.3.3. MIKROSTRUKTURA

Jedną z metod umożliwiających obserwację mikrostruktury polimeroasfaltów jest mikroskopia fluorescencyjna. Badanie wykonuje się zgodnie z normą PN-EN 13632 [22], na świeżym przełomie zamrożonej próbki asfaltu modyfikowanego, z wykorzystaniem mikroskopu fluorescencyjnego z lampą UV, 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:

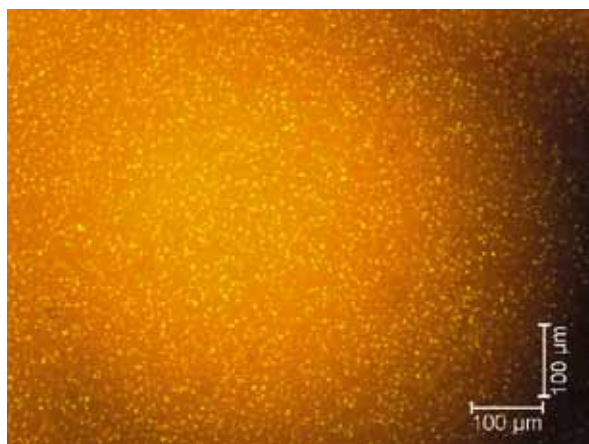
1. Ciągłość fazy:
 - P:** Ciągła faza polimerowa
 - B:** Ciągła faza asfaltowa
 - X:** Ciągłość obu faz
2. Opis faz:
 - H:** Homogeniczny
 - I:** Niehomogeniczny
3. Opis rozmiaru:
 - S:** Małe (< 10 μm)
 - M:** Średnie (od 10 μm do 100 μm)
 - L:** Duże (> 100 μm)
4. Opis kształtu:
 - r:** Okrągłe, obłe
 - s:** Podłużne
 - o:** Inne

Przykładowa mikrostruktura polimeroasfaltów wg normy PN-EN 13632 produkowanych przez ORLEN Asphalt została przedstawiona w tabeli 3.12.

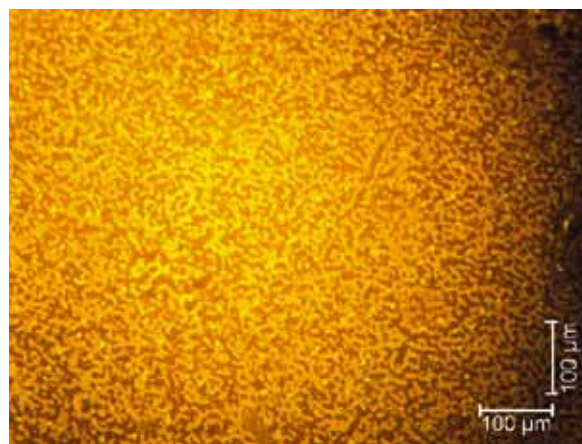
Tabela 3.12. Mikrostruktura polimeroasfaltów wg normy PN-EN 13632

Rodzaj polimeroasfaltu	Kod dyspersji polimeru			
	Ciągłość fazy	Opis fazy	Opis rozmiaru	Opis kształtu
ORBITON 10/40-65	B	H	S	r/o
ORBITON 25/55-60	B	H	S	r/o
ORBITON 45/80-55	B	H	S	r/o
ORBITON 45/80-65	B	H	S	r/o
ORBITON 65/105-60	B	H	S	r/o
ORBITON 25/55-80 HiMA	P	H	S	r/o
ORBITON 45/80-80 HiMA	P	H	S	r/o
ORBITON 65/105-80 HiMA	P	H	S	r/o

Przykładowe obrazy mikrostruktury polimeroasfaltów przedstawiają rysunki 3.40. oraz 3.41.



Rys.3.40. Przykładowy obraz mikrostruktury polimeroasfaltu o kodzie dyspersji **B/H/S/r** dla **asfaltu modyfikowanego ORBITON 25/55-60**



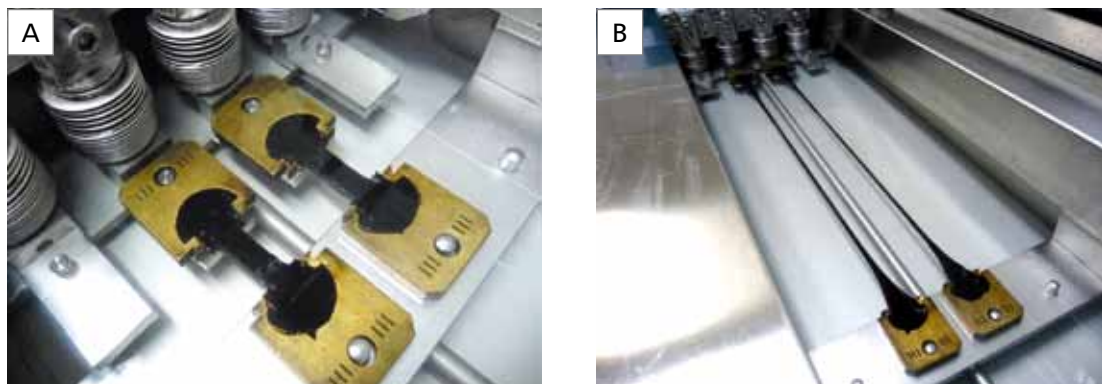
Rys.3.41. Przykładowy obraz mikrostruktury polimeroasfaltu o kodzie dyspersji **P/H/M/o** dla **asfaltu wysokomodyfikowanego ORBITON 45/80-80 HiMA**

3.3.4. 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 przeniesienie przez lepizzcze 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 [23]. Istotą wykonania badania jest wyznaczenie siły, jaka jest potrzebna do rozciągnięcia próbki (do odpowiedniego wydłużenia) w określonej w temperaturze.

Uformowaną odpowiednio próbkę do badania umieszcza się w duktylometrze, w łaźni wodnej o odpowiedniej (ustalanej dla każdego rodzaju asfaltu modyfikowanego) temperaturze. Następnie próbka poddawana jest jednostajnemu rozciąganiu z prędkością 50 mm/min aż do osiągnięcia wydłużenia przynajmniej 1333% tj. 400 mm. Siła rejestrowana jest w trakcie trwania całego procesu rozciągania przy użyciu czujników. Ostateczny wynik obecnie obliczany jest zgodnie z normą PN-EN 13703 [24], na podstawie odczytu danych z aparatu. Po nowelizacji normy PN-EN 13589 (planowana na 2018 r.), całość procedury obliczeniowej zostanie umieszczona w nowej normie, a norma PN-EN 13703 zostanie wycofana. Rysunek 3.42. przedstawia widok asfaltu odpowiednio przed i po wykonaniu badania siły rozciągania.



Rys. 3.42. (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 sp. z o.o.)

Tabela 3.13. zawiera parametry statystyczne wyników oznaczeń kohezji dla asfaltów modyfikowanych polimerami ORBITON oraz wysokomodyfikowanych polimerami ORBITON HiMA produkowanych w 2017 roku.

Tabela 3.13. Parametry statystyczne wyników oznaczeń kohezji dla asfaltów ORBITON oraz ORBITON HiMA produkowanych w 2017 r.

Rodzaj lepiszcza	Wymaganie PN-EN 14023 [J/cm ²]	Wartość średnia	Odchylenie standardowe	Przedział typowy	Mediana	Kwartył pierwszy	Kwartył trzeci	Wartość min – max
		\bar{x}	σ	x_{typ}	Me, Q_2	Q_1	Q_3	$x_{min} - x_{max}$
ORBITON 25/55-60	≥ 2 (w 10°C)	5,0	1,0	4,0 ÷ 6,0	5,1	4,2	5,7	2,8 ÷ 6,7
ORBITON 45/80-55	≥ 3 (w 5°C)	7,0	0,7	6,3 ÷ 7,7	7,1	6,8	7,2	5,7 ÷ 8,2
ORBITON 45/80-65	≥ 2 (w 10°C)	3,9	0,9	3,0 ÷ 4,8	4,2	3,2	4,6	2,0 ÷ 5,2
ORBITON 25/55-80 HiMA	TBR** (w 15°C)	3,7	1,0	2,7 ÷ 4,7	3,5	3,1	4,6	2,4 ÷ 5,3
ORBITON 45/80-80 HiMA	TBR** (w 10°C)	3,8	1,2	2,6 ÷ 5,0	3,3	3,0	4,9	2,6 ÷ 5,6
ORBITON 65/105-80 HiMA*	TBR** (w 10°C)	4,5	1,6	2,9 ÷ 6,1	4,9	3,3	5,7	2,1 ÷ 6,4

* wyniki badań odnoszą się do okresu: 2015-2017 (odpowiednio duża liczba partii produkcyjnych)
** TBR – To be Reported (do zadeklarowania)

ROZDZIAŁ 4

WŁAŚCIWOŚCI FUNKCJONALNE ASFALTÓW

W 2017 roku, Dział Badań i Rozwoju ORLEN Asphalt przeprowadził badania właściwości funkcjonalnych asfaltów z wykorzystaniem metod badawczych opracowanych między innymi w ramach amerykańskiej metodyki *Superpave*. Badaniami objęto wybrane rodzaje asfaltów drogowych, modyfikowanych oraz wysokomodyfikowanych polimerami produkowanych przez Grupę ORLEN.

Badania wykonano w laboratorium badawczym UniCRE w Czechach.

4.1. WPROWADZENIE

Właściwości asfaltu jako materiału lepkosprężystego, zależą głównie 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.

Badania w ramach Strategicznego Drogowego Programu Badawczego (SHRP) wykazały, że lepiszczce asfaltowe wpływa na zachowanie nawierzchni w kontekście powstawania poszczególnych rodzajów zniszczeń w następujący sposób [1]:

- powstawanie deformacji trwałych (kolein) – ok. 40%,
- trwałość zmęczeniowa nawierzchni – ok. 60%,
- spękania niskotemperaturowe – ok. 90%.

Dzięki opracowanej w latach 90. XX w. w ramach programu SHRP metodyce badań asfaltów – *Superpave* (*SUperior PERforming Asphalt PAVEments*) jesteśmy w stanie przeprowadzić rozszerzoną ocenę lepiszczczy asfaltowych uwzględniając wymagania wynikające z rzeczywistych warunków pracy danej nawierzchni drogowej [1, 2] – ocenę właściwości funkcjonalnych. W późniejszym okresie system badań asfaltów *Superpave* ewoluował, dzięki czemu uwzględniono w znaczącym stopniu stosowanie asfaltów modyfikowanych różnymi dodatkami, a także zweryfikowano przydatność niektórych metod badawczych.

W niniejszym rozdziale prezentujemy wyniki badań właściwości nisko-, średnio- oraz wysokotemperaturowych lepiszczczy asfaltowych, przeprowadzone zgodnie z metodyką *Superpave*.

Jednocześnie zaznaczamy, 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.

4.2. PROGRAM BADAŃ

W programie badawczym przeprowadzonym przez Dział Badań i Rozwoju 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.

4.3. OTRZYMANE WYNIKI BADAŃ

4.3.1. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI W NISKICH TEMPERATURACH

W systemie *Superpave* do badań zachowania asfaltu w niskiej temperaturze wykorzystuje się reometr zginanej belki BBR (*Bending Beam Rheometer*) – rys. 4.1. Badanie wykonuje się wg normy PN-EN 14771 lub AASHTO PP 42 [13, 14].



Rys.4.1. Reometr zginanej belki BBR (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o. dzięki uprzejmości laboratorium UniCRE)

Za pomocą reometru BBR mierzy się pęczanie lepiszcza asfaltowego pod stałym obciążeniem w różnych wartościach temperatury i na tej podstawie uzyskuje się krzywą podatności na pęczanie tego lepiszcza w funkcji czasu. Wykonanie badania w kilku wartościach temperatury pozwala określić wrażliwość temperaturową danego lepiszcza asfaltowego w zakresie podatności na pęczanie.

Analizując wyniki badań w BBR oceniamy stopień usztywnienia asfaltu w niskiej temperaturze (parametr sztywności **S**) – zbyt duża sztywność lepiszcza jest niekorzystna, ponieważ wpływa na powstawanie spękań. Oceniamy także zdolność asfaltu do relaksacji naprężeń (parametr **m**). Oba parametry (**S** i **m**) powinny rozpatrywać się łącznie – nie można ich traktować osobno, bowiem każdy z nich opisuje inne zachowanie lepiszcza asfaltowego i każdy jest istotny do oceny właściwości niskotemperaturowych.

W systemie *Superpave* przyjęto, że:

- wartość sztywności pełzania $S(t)$ nie powinna być większa niż 300 MPa, co powinno zapewnić odpowiednią odporność lepiszcza na powstawanie spękań niskotemperaturowych (zabezpieczenie przed przesztywnieniem i kruchością),
- wartość parametru m -value – gradientu zmiany sztywności w funkcji czasu obciążenia, powinna być z kolei większa niż 0,300, ponieważ w asfaltach z wysokim parametrem m bardziej efektywnie następuje relaksacja naprężeń powstających w lepiszczu podczas spadku temperatury.

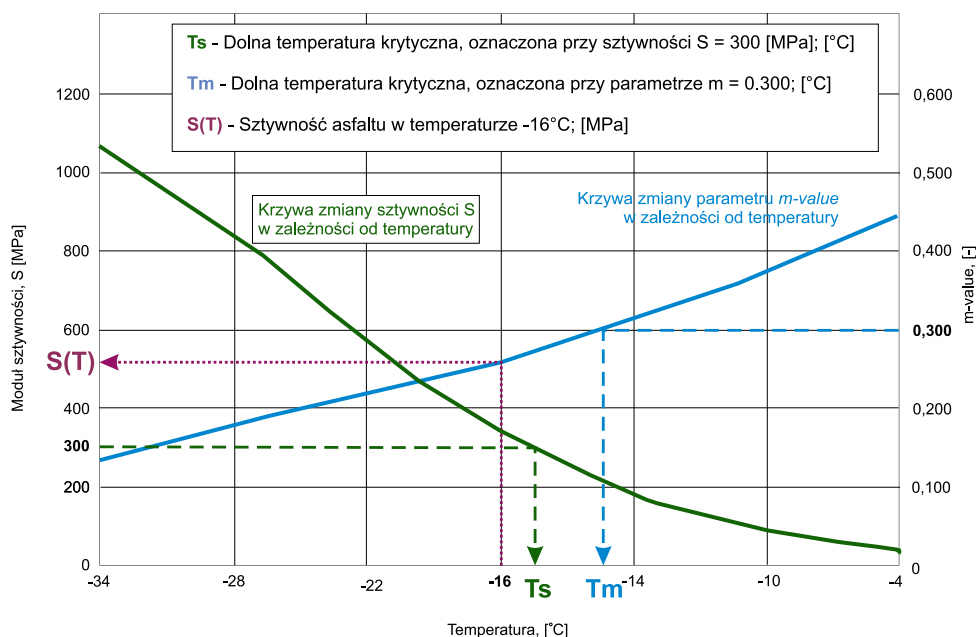
Można powiedzieć, że w kontekście pożądaných właściwości niskotemperaturowych asfaltów, korzystna jest niższa wartość S i wyższa wartość parametru m – wówczas dane lepiszcze asfaltowe charakteryzuje się mniejszą sztywnością oraz bardziej efektywną relaksacją naprężeń, co prowadzi do ograniczenia powstawania spękań niskotemperaturowych.

Badanie w aparacie BBR wykonuje się w przedziale temperatury od 0°C do -30°C . Próbkę przed badaniem poddaje się starzeniu metodami RTFOT oraz PAV.

W wyniku przeprowadzonego pomiaru, otrzymuje się następujące parametry:

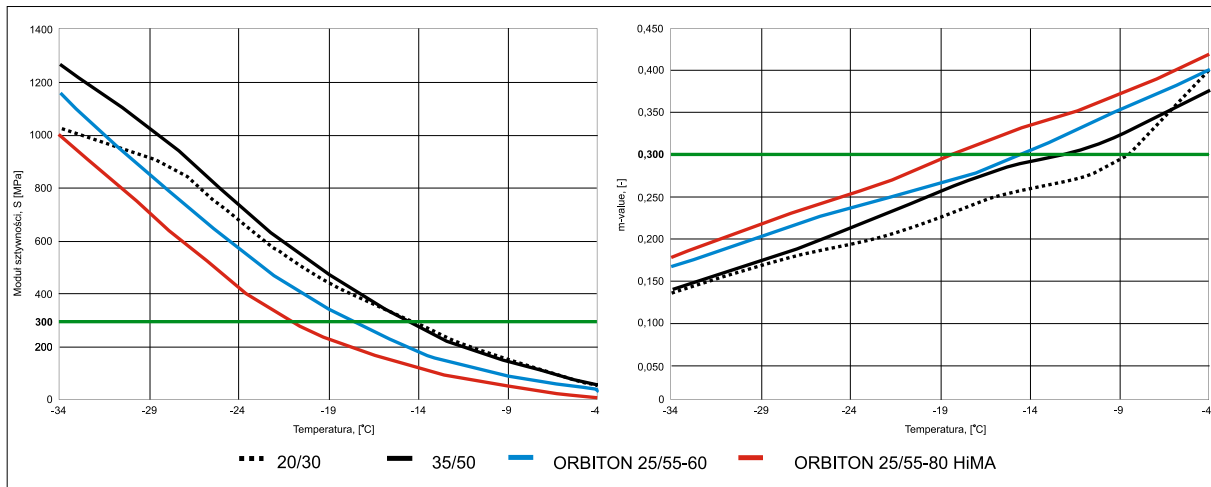
- Zmianę sztywności S lepiszcza asfaltowego, w zależności od temperatury,
- Zmianę parametru m -value, w zależności od temperatury,
- Dolną temperaturę krytyczną (LCT – *Low Critical Temperature*), przy sztywności $S=300$ MPa – T_s (wartość odczytana po 60s obciążenia),
- Dolną temperaturę krytyczną (LCT – *Low Critical Temperature*), przy $m=0,300$ – T_m (wartość odczytana po 60s obciążenia),
- Sztywność asfaltu w temperaturze $T = -16^{\circ}\text{C}$ (ten parametr nie jest związany z *Superpave*, ale z zaleceniami Norm Europejskich o dostarczaniu danych porównawczych przez producentów lepiszczy asfaltowych).

Wyniki przeprowadzonego badania, można przedstawić graficznie w następujący sposób, rys. 4.2.:

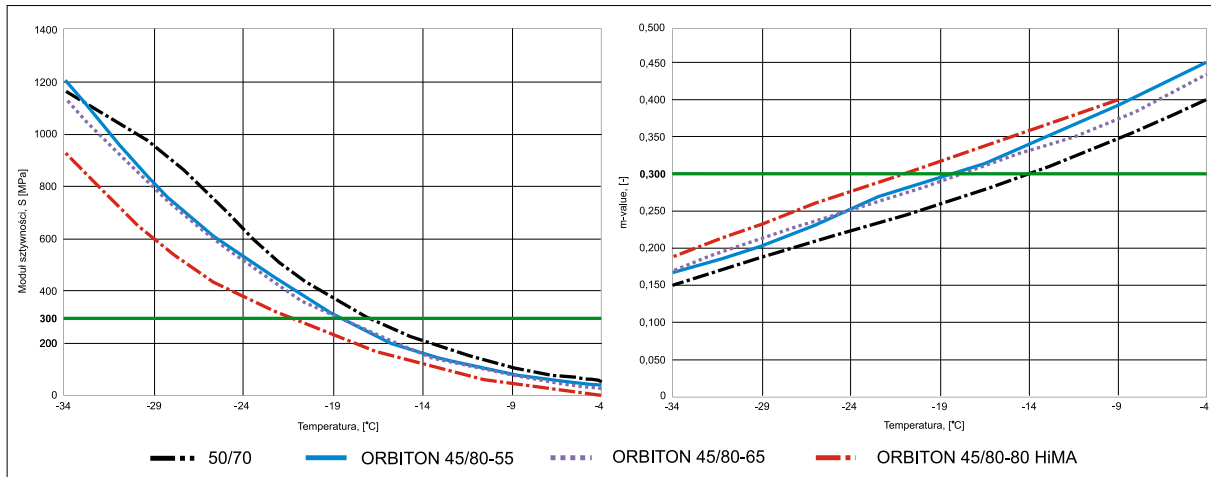


Rys. 4.2. Graficzna interpretacja wyników badania w BBR

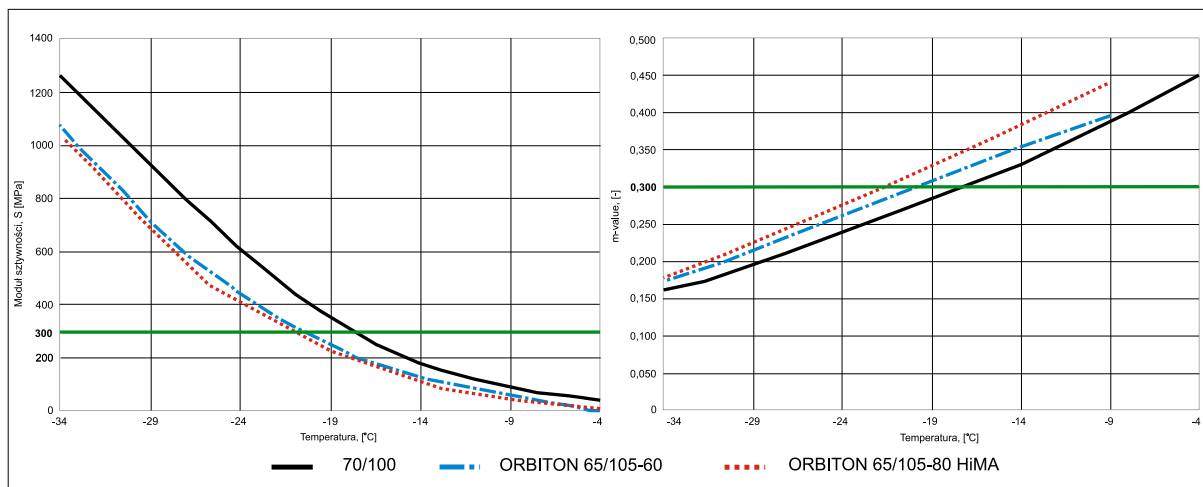
Na rys. 4.3.-4.5. przedstawiono porównanie zmiany sztywności S oraz zmianę parametru m , w zależności od temperatury, dla wszystkich badanych asfaltów. Interpretacja wykresów: niższa wartość S = lepiej, większa wartość parametru m = lepiej. Zieloną linią zaznaczono sztywność przy $S=300$ MPa oraz parametr m -value=0,300.



Rys. 4.3. Zmiana sztywności S oraz parametru m -value w zależności od temperatury dla asfaltów: 20/30, 35/50, PMB 25/55-60 oraz PMB 25/55-80 HiMA [badania własne ORLEN Asphalt]



Rys. 4.4. Zmiana sztywności S oraz parametru m -value w zależności od temperatury dla asfaltów: 50/70, PMB 45/80-55, PMB 45/80-65 oraz PMB 45/80-80 HiMA [badania własne ORLEN Asphalt]



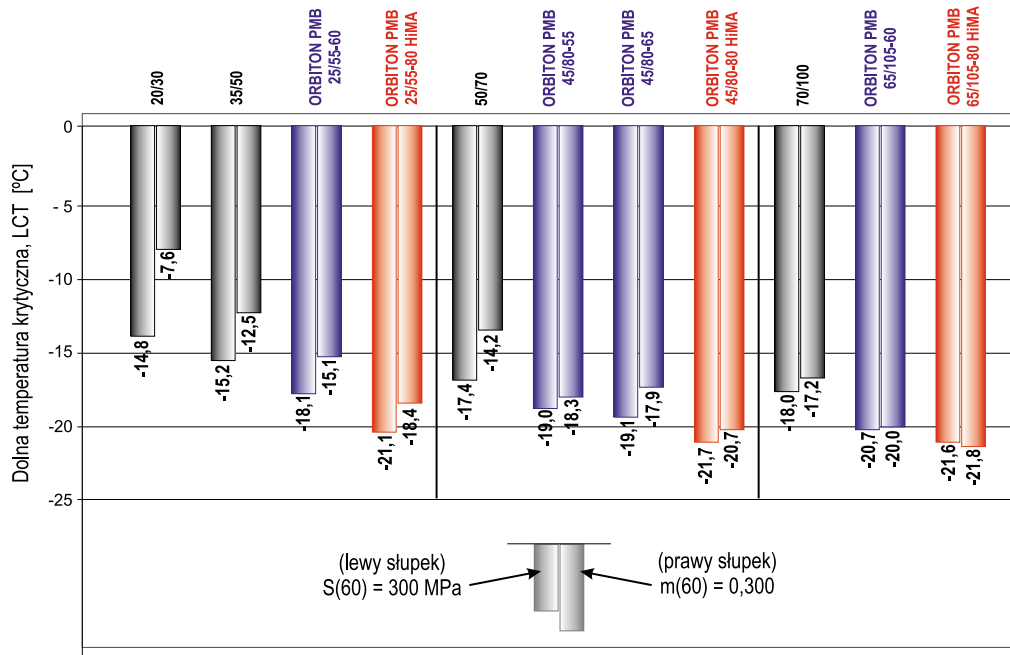
Rys. 4.5. Zmiana sztywności S oraz parametru m -value w zależności od temperatury dla asfaltów: 70/100, PMB 65/105-60 oraz PMB 65/105-80 HiMA [badania własne ORLEN Asfalt]

W tabeli 4.1. przedstawiono wyniki badań dolnej temperatury krytycznej (LCT – *Low Critical Temperature*) badanych asfaltów, oznaczonej przy $S=300$ MPa oraz $m=0,300$. W tabeli podano również wartości sztywności asfaltów w temperaturze $T=-16^{\circ}\text{C}$ oraz wyniki parametru ΔT_c . Parametr ΔT_c został wyjaśniony dalej, razem z rys. 4.7.

Tabela 4.1. Wyniki badań właściwości niskotemperaturowych badanych asfaltów: $S(60) = 300$ MPa, $m(60) = 0,3$, ΔT_c oraz $S(T)_{-16}$ [MPa]. Próbki po starzeniu RTFOT+PAV [badania własne ORLEN Asfalt]

Rodzaj asfaltu	Dolna temperatura krytyczna $^{\circ}\text{C}$ – LCT		Różnica LCT(S)-LCT(m), ΔT_c	Sztywność asfaltu w temperaturze -16°C $S(T)_{-16}$ [MPa]
	Temperatura przy $S(60) = 300$ MPa $T(S)_{60}$ $^{\circ}\text{C}$	Temperatura przy $m(60) = 0,300$ $T(m)_{60}$ $^{\circ}\text{C}$		
Interpretacja	mniej = lepiej			
20/30	-14,8	-7,6	-7,2	339
35/50	-15,2	-12,5	-2,7	346
50/70	-17,4	-14,2	-3,2	265
70/100	-18,0	-17,2	-0,8	233
ORBITON 25/55-60	-18,1	-15,1	-3,0	242
ORBITON 45/80-55	-19,0	-18,3	-0,7	208
ORBITON 45/80-65	-19,1	-17,9	-1,2	214
ORBITON 65/105-60	-20,7	-20,0	-0,7	168
ORBITON 25/55-80 HiMA	-21,1	-18,4	-2,7	170
ORBITON 45/80-80 HiMA	-21,7	-20,7	-1,0	145
ORBITON 65/105-80 HiMA	-21,6	-21,8	0,2	149

W celu łatwiejszej analizy, na rysunku 4.6. przedstawiono w sposób graficzny otrzymane wyniki dolnej temperatury krytycznej – LCT przy $S(60) = 300$ MPa (lewy słupek) oraz przy $m(60) = 0,300$ (prawy słupek). Asfalty pogrupowano według zakresów penetracji odpowiadających grupom lepkości do konkretnych zastosowań drogowych.

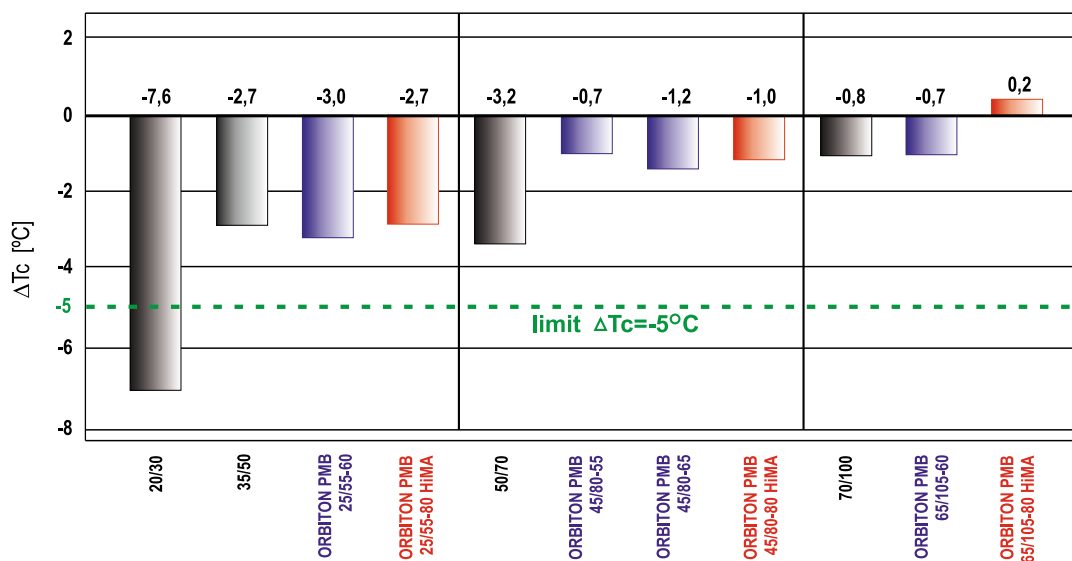


Rys. 4.6. Prezentacja wyników dolnej temperatury krytycznej – LCT, przy $S(60) = 300$ MPa (lewy słupek) oraz przy $m(60) = 0,300$ (prawy słupek). Asfalty po starzeniu RTFOT + PAV [badania własne ORLEN Asphalt]. Interpretacja wykresu: mniej = lepiej

Na rys. 4.7. przedstawiono dodatkowo, wartość parametru ΔT_c . Parametr ΔT_c , definiowany jest jako różnica pomiędzy dolną temperaturą krytyczną, oznaczoną przy sztywności $S(60) = 300$ MPa, oraz dolną temperaturą krytyczną, w której wartość parametru m -value jest równa $m(60) = 0,300$. Oblicza się go zgodnie ze wzorem [21]:

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

Parametr ΔT_c , służy do przewidywania podatności lepiszczy asfaltowych na pękanie niskotemperaturowe. Oszacowano, że wartość parametru ΔT_c nie powinna być mniejsza niż -5°C , ponieważ poniżej tej wartości lepiszcze asfaltowe może charakteryzować się zwiększoną podatnością na pękanie i starzenie [6, 8].



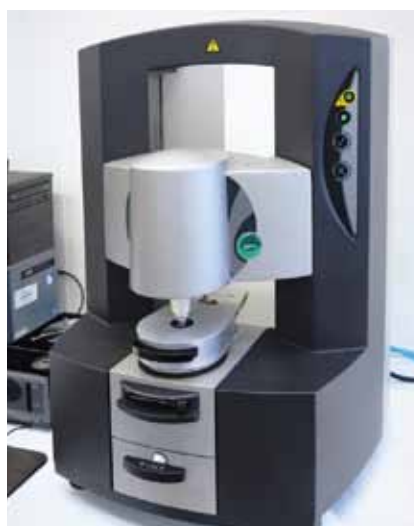
Rys. 4.7. Porównanie wartości parametru ΔT_c [badania własne ORLEN Asphalt]. Interpretacja wykresu: mniej = lepiej

Ujemne wartości ΔT_c większości badanych asfaltów świadczą o tym, że parametr ten jest kontrolowany przez wartość m -value $m(60)$.

4.3.2. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI W WYSOKICH TEMPERATURACH

4.3.2.1. Klasyczna metoda z DSR (G^* i δ)

Do badań właściwości wysokotemperaturowych lepiszczy asfaltowych wykorzystano reometr dynamicznego ścinania – DSR (rys. 4.8). Badania wykonuje się wg normy AASHTO T315 oraz ASTM D7175 [15, 16].

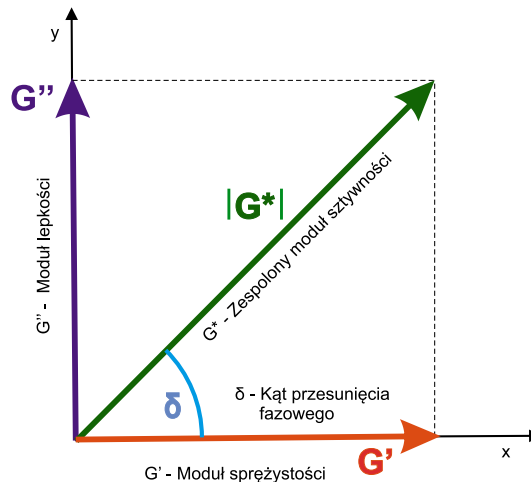


Rys.4.8. Reometr dynamicznego ścinania DSR (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o. dzięki uprzejmości laboratorium UniCRE)

W badaniu DSR określa się następujące parametry:

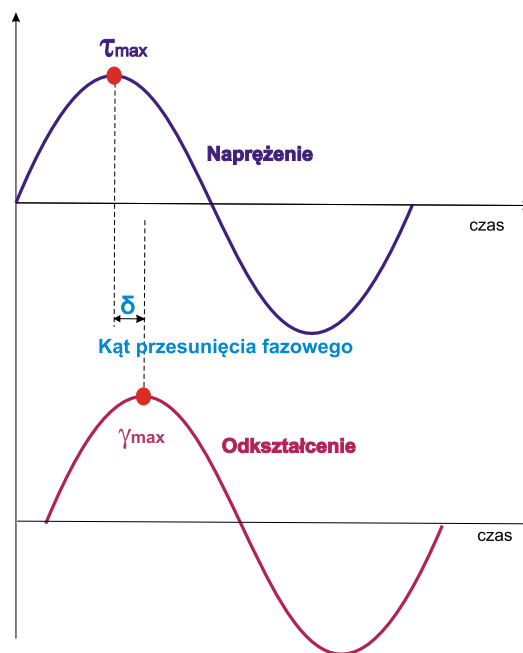
- zespolony moduł sztywności G^* i kąt przesunięcia fazowego δ asfaltu przed starzeniem metodą RTFOT,
- zespolony moduł sztywności G^* i kąt przesunięcia fazowego δ asfaltu po starzeniu metodą RTFOT.

Zespolony moduł sztywności G^* jest miarą całkowitej odporności lepiscza na odkształcenia. Składa się on z części sprężystej i z części lepkiej (rys. 4.9.). Pożądane jest, aby część sprężysta lepiscza – G' , była składową dominującą zespolonego modułu sztywności G^* .



Rys. 4.9. Graficzna interpretacja zespolonego modułu sztywności $|G^*|$

Kąt przesunięcia fazowego δ , określa z kolei opóźnienie powstałego odkształcenia w stosunku do przyłożonego naprężenia (rys. 4.10). Dla materiału doskonale sprężystego kąt przesunięcia fazowego δ byłby równy $\delta=0^\circ$, dla materiału doskonale lepkiego – $\delta=90^\circ$. W przypadku lepisczy asfaltowych oznacza to, że im mniejszy kąt przesunięcia fazowego, tym lepiej.



Rys. 4.10. Graficzna interpretacja kąta przesunięcia fazowego δ

Pełną charakterystykę danego asfaltu uzyskuje się znając jednocześnie $|G^*|$ oraz δ , bowiem przy tej samej wartości zespolonego modułu sztywności $|G^*|$ lepszycza mogą wykazywać różny udział części sprężystej i lepkiej. Obie wielkości są silnie zależne od temperatury i czasu obciążenia próbki – czyli prędkości ścinania.

Zgodnie z AASHTO M 320 wymagane jest, aby w określonej najwyższej temperaturze pracy asfaltu w nawierzchni (tzn. w „górnym PG”) asfalt posiadał określone parametry zbadane 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.

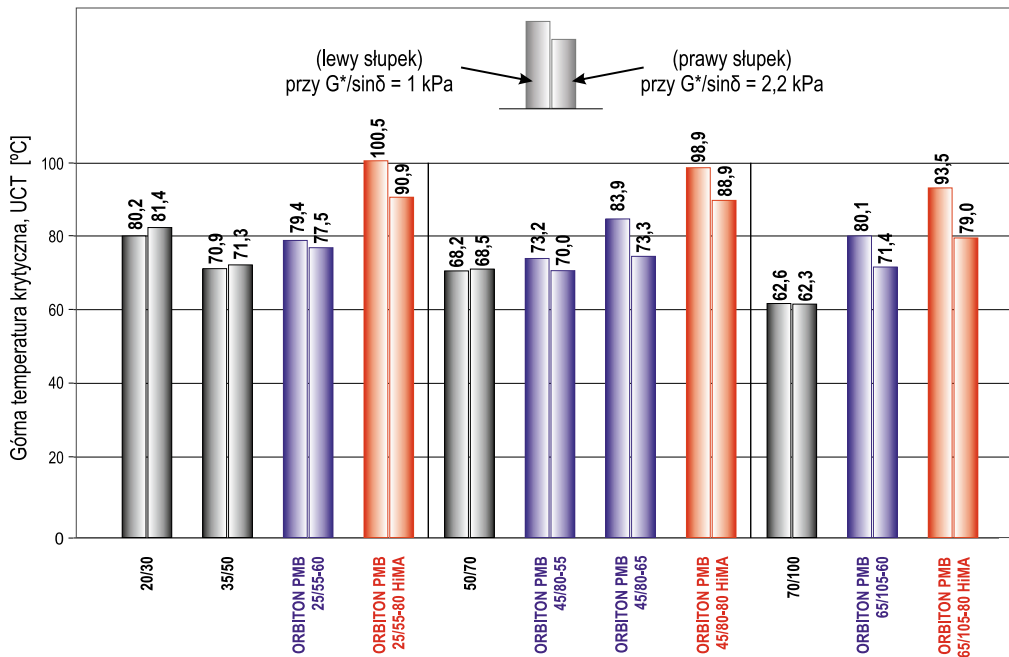
W tabeli 4.2. przedstawiono wyniki badań górnej temperatury krytycznej (*UCT – Upper Critical Temperature*).

W nowszej wersji specyfikacji, wg AASHTO M 332, zlikwidowano wymaganie $G^*/\sin\delta \geq 2.20$ kPa po RTFOT, zastępując je wymaganiami do MSCR (*Multiple Stress Creep Recovery Test*).

Tabela 4.2. Wyniki badań właściwości wysokotemperaturowych badanych asfaltów: Górna temperatura krytyczna – UCT, oznaczona przy $G^*/\sin\delta = 1$ kPa oraz $G^*/\sin\delta = 2.2$ kPa [*badania własne ORLEN Asphalt*]

Rodzaj asfaltu	Górna temperatura krytyczna [°C] – UCT	
	$G^*/\sin\delta = 1$ kPa asfalt przed starzeniem RTFOT	$G^*/\sin\delta = 2.2$ kPa asfalt po starzeniu RTFOT
Interpretacja	więcej = lepiej	
20/30	80,2	81,4
35/50	70,9	71,3
50/70	68,2	68,5
70/100	62,6	62,3
ORBITON 25/55-60	79,4	77,5
ORBITON 45/80-55	73,2	70,0
ORBITON 45/80-65	83,9	73,3
ORBITON 65/105-60	80,1	71,4
ORBITON 25/55-80 HiMA	100,5	90,9
ORBITON 45/80-80 HiMA	98,9	88,9
ORBITON 65/105-80 HiMA	93,5	79,0

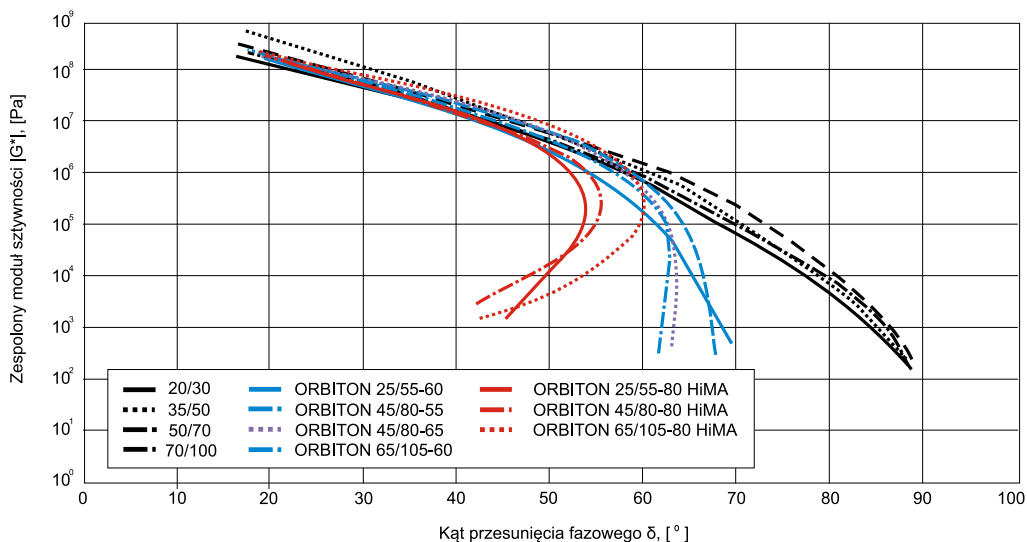
Na rys. 4.11. przedstawiono w sposób graficzny, otrzymane wyniki górnej temperatury krytycznej – UCT, oznaczonej przy $G^*/\sin\delta = 1$ kPa (lewy słupek) oraz $G^*/\sin\delta = 2.2$ kPa (prawy słupek). Asfalty pogrupowano według zakresów penetracji odpowiadających grupom lepszyczy do konkretnych zastosowań drogowych.



Rys. 4.11. Prezentacja wyników górnej temperatury krytycznej przy $G^*/\sin\delta = 1$ kPa – lewy słupek (asfalty przed RTFOT) oraz przy $G^*/\sin\delta = 2.2$ kPa – prawy słupek (asfalty po RTFOT) [badania własne ORLEN Asphalt]. Interpretacja wykresu: więcej = lepiej

Na rysunku 4.12. przedstawiono krzywe Blacka dla badanych lepszczu asfaltowych.

Krzywa Blacka służy do oceny zależności zespolonego modułu sztywności lepszczu $|G^*|$ w funkcji kąta przesunięcia fazowego δ . Jak widać na rysunkach, w przypadku bardziej elastycznych lepszczu, wraz z obniżaniem wartości zespolonego modułu sztywności $|G^*|$, bardziej zaznacza się część sprężysta pracy lepszczu w postaci zmniejszania kąta przesunięcia fazowego.



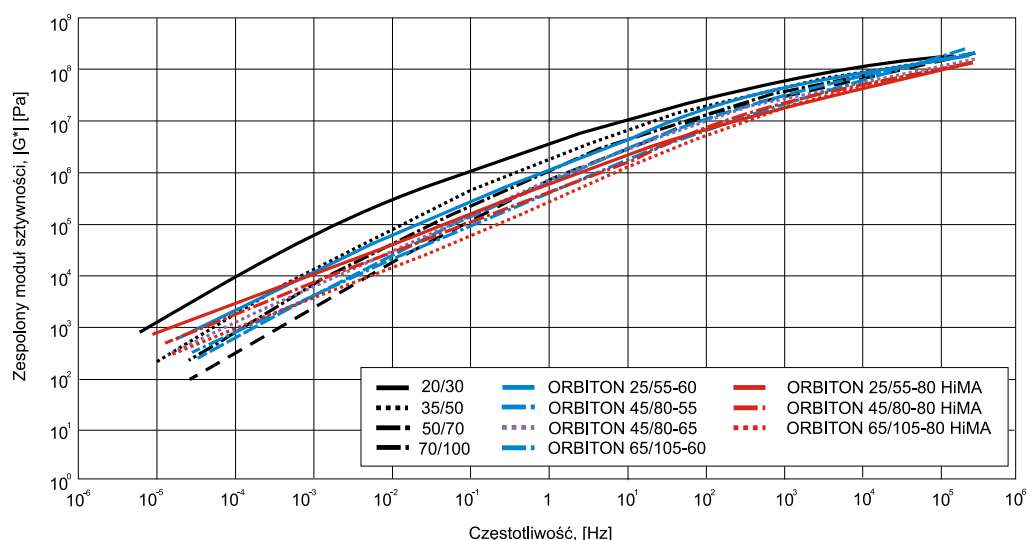
Rys.4.12. Krzywe Blacka dla badanych asfaltów. Próbki po starzeniu metodą RTFOT [badania własne ORLEN Asphalt]

Na rysunkach 4.13.-4.14. przedstawiono z kolei krzywe wiodące (ang. *master curves*) zespolonego modułu sztywności $|G^*|$ i kąta przesunięcia fazowego δ w funkcji częstotliwości, dla wszystkich badanych lepszczu asfaltowych.

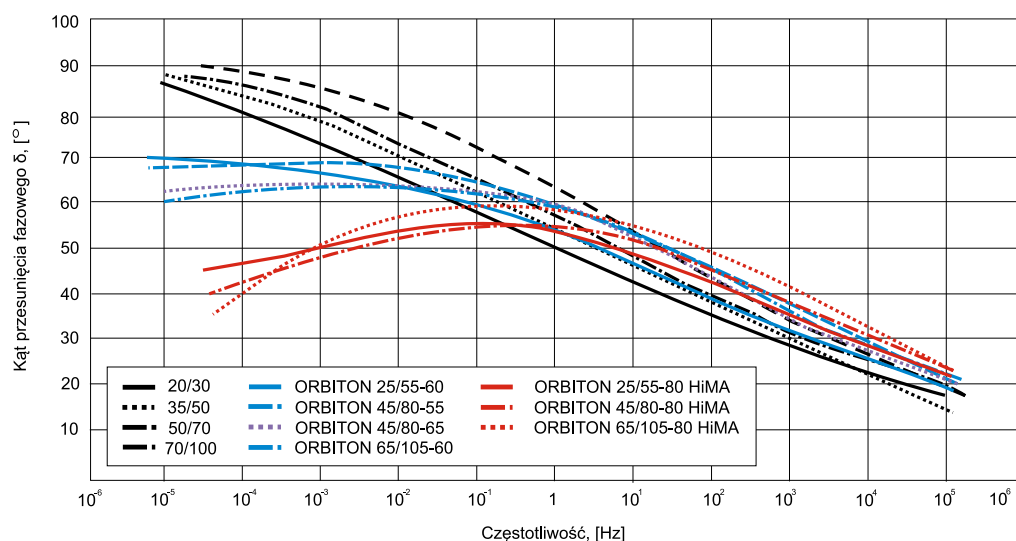
Pomiary wykonano w zakresie częstotliwości $0,1 \div 10$ Hz dla temperatury $-10, 0, 10, 25, 40, 60, 70^{\circ}\text{C}$, a następnie wykorzystując metodę superpozycji temperatury i częstotliwości otrzymano krzywe wiodące dla temperatury 25°C .

Podstawowym założeniem wykorzystywanym podczas tworzenia krzywych wiodących jest zasada superpozycji czasowo-temperaturowej. Zakłada ona, że w przypadku każdego materiału liniowo lepkoelastycznego istnieje krzywa, która pozwala opisać jego parametry w każdym, dowolnie wybranym czasie obciążenia lub temperaturze.

Krzywe wiodące pozwalają więc na określanie właściwości asfaltu w bardzo szerokim zakresie temperatury i czasu obciążenia z racji tego, że można je ekstrapolować poza obszar, w którym wykonywano badania. Dokładność krzywej wiodącej zależy od jakości wyników źródłowych z DSR, ich interpretacji oraz metodyki tworzenia krzywej wiodącej. W warunkach badania DSR umożliwia to poznanie pełnej charakterystyki danego lepiszcza asfaltowego.



Rys. 4.13. Krzywa wiodąca zespolonego modułu sztywności $|G^*|$ w funkcji częstotliwości dla badanych asfaltów. Próbkę po starzeniu metodą RTFOT. Przemiatanie w zakresie częstotliwości od $0,1$ do 10 Hz, temperatura referencyjna $T=25^{\circ}\text{C}$ [badania własne ORLEN Asphalt]



Rys. 4.14. Krzywa wiodąca kąta przesunięcia fazowego δ w funkcji częstotliwości dla badanych asfaltów. Próbkę po starzeniu metodą RTFOT. Przemiatanie w zakresie częstotliwości od $0,1$ do 10 Hz, temperatura referencyjna $T=25^{\circ}\text{C}$ [badania własne ORLEN Asphalt]

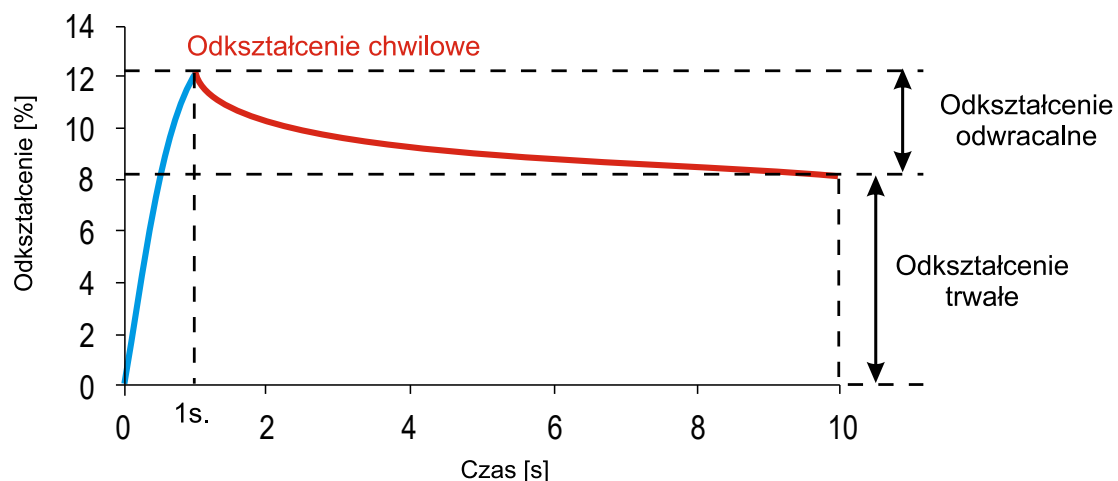
4.3.2.2. Test MSCR

Klasyfikacja lepiszczy asfaltowych oparta na wynikach górnej temperatury krytycznej UCT ($G^*/\sin\delta=1$ kPa oraz $G^*/\sin\delta=2.2$ kPa po RTFOT), mająca wskazywać na odporność danego asfaltu na deformacje trwałe okazała się nieadekwatna w przypadku asfaltów modyfikowanych polimerami [20]. 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 [22].

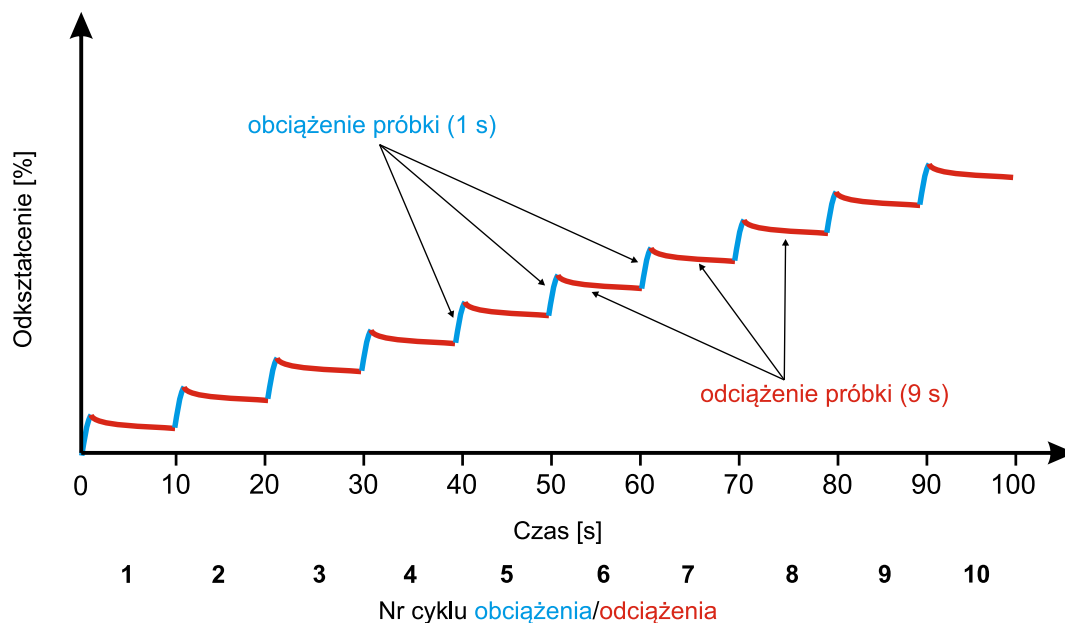
Wyniki badań porównawczych między MSCR a odpornością na koleinowanie, wykonane przez ORLEN Asphalt znajdują się w rozdziale 6.

Istotą wykonania badania MSCR jest pomiar właściwości lepiszcza asfaltowego w najwyższej oczekiwanej temperaturze pracy nawierzchni. Badanie przeprowadza się zgodnie z normami: AASHTO T 350 [23] (poprzednio AASHTO TP 70 [18]) lub ASTM D7405 [19], w reometrze dynamicznego ścinania DSR. **Wyniki badania określają wpływ danego asfaltu na odporność mieszanki mineralno-asfaltowej na koleinowanie oraz, w przypadku PMB, oceniają poziom sprężystości materiału.**

Badanie przeprowadza się przy dwóch wartościach przykładanego 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, rys. 4.15. Podczas jednego badania wykonuje się 10 cykli pełzania i odprężania przy niższej wartości naprężenia, a następnie procedurę powtarza się dla wyższej wartości naprężenia, rys. 4.16. Łącznie wykonuje się więc 20 cykli.



Rys. 4.15. Schemat jednego cyklu pełzania (1 s) i odprężenia (9 s)



Rys. 4.16. Zasada wykonania testu MSCR (10 cykli pełzania i odprężenia) przy jednej wartości naprężenia ścinającego

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 i 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 sprężysty R dostarcza dodatkowych informacji o zachowaniu lepiszcza w określonej temperaturze i 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.

Na podstawie wyników J_{nr} w normie AASHTO M 332 wprowadzono dodatkową klasyfikację w systemie *Performance Grade*, w której przy pomocy symboli literowych określa się maksymalne obciążenie ruchem dla danego lepiszcza asfaltowego. **Przydatność asfaltu do danej kategorii obciążenia nawierzchni oceniana jest na podstawie parametru $J_{nr,3.2} [kPa^{-1}]$ oraz $J_{nr,diff}$** . Klasyfikację wymagań do asfaltów przedstawiono w tabeli 4.3.

Tabela 4.3. Klasyfikacja lepiszczy asfaltowych oraz wymagania w odniesieniu do obciążenia ruchem i jego charakterystyki wg AASHTO M 332 [22] oraz AASHTO T 350 [23]

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 $J_{nr,diff}$ (ang. <i>Stress sensitivity parameter</i> *)
S – standardowy (ang. <i>Standard</i>)	< 10 milionów osi i ruch standardowy (>70 km/h)	≤ 4,5	≤ 75%
H – ciężki (ang. <i>Heavy</i>)	10-30 milionów osi lub ruch powolny (20-70 km/h)	≤ 2,0	
V – bardzo ciężki (ang. <i>Very Heavy</i>)	>30 milionów osi lub postój pojazdów (<20 km/h)	≤ 1,0	
E – ekstremalnie ciężki (ang. <i>Extreme</i>)	>30 milionów osi i postój pojazdów (<20 km/h)	≤ 0,5	
*) wskaźnik wrażliwości asfaltu na zmiany naprężenia			

Planując badania lepiszczy metodą MSCR założono, że maksymalna temperatura nawierzchni w Polsce nie przekracza z reguły wartości 55-60°C, dlatego też pomiary wykonano w następujących warunkach:

- asfalty drogowe: 58°C i 64°C,
- asfalty modyfikowane ORBITON oraz wysokomodyfikowane ORBITON HiMA: 64°C i 70°C.

Wszystkie próbki asfaltów przed badaniem MSCR zostały poddane starzeniu metodą RTFOT. W tabeli 4.4. przedstawiono wyniki badań MSCR otrzymane w temperaturach: 58, 64 oraz 70°C. Wyniki dla $J_{nr,diff}$ zostały obliczone na podstawie wartości J_{nr} przed zaokrągleniem do 0,1. Dla asfaltów wysokomodyfikowanych ORBITON HiMA uzyskane wyniki J_{nr} w 64°C i 70°C są tak małe, że nie mieszczą się w precyzji metody MSCR, w związku z tym nie obliczano dla nich wartości $J_{nr,diff}$.

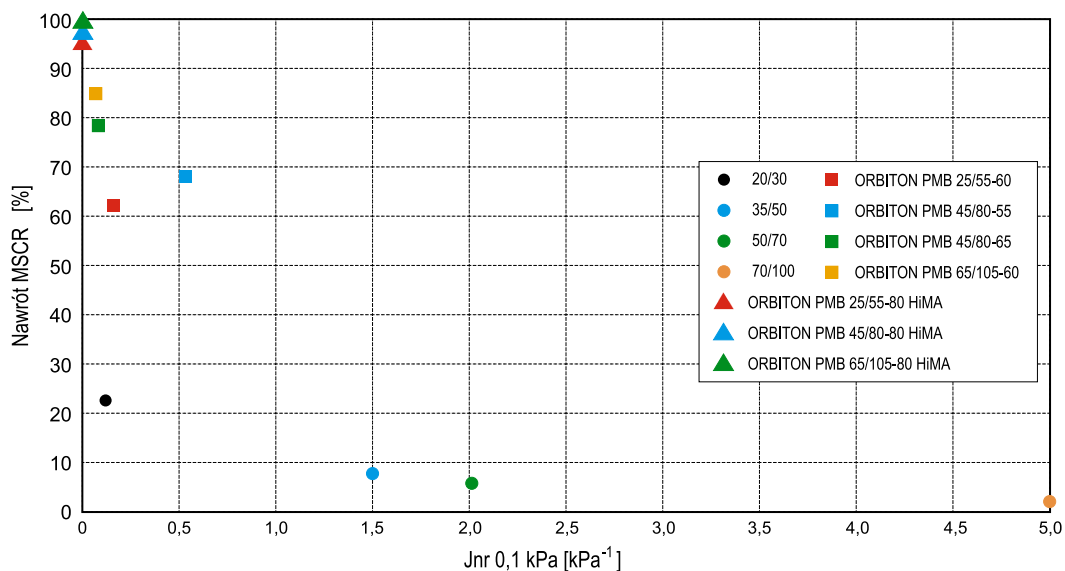
Tabela 4.4. Wyniki badań testu MSCR – parametry: J_{nr} [kPa^{-1}] oraz R [%], otrzymane przy naprężeniu 0,1 oraz 3,2 kPa, w temperaturze 58, 64 oraz 70°C

Interpretacja: im mniejsza wartość J_{nr} tym większa odporność na koleinowanie, im większy nawrót R, tym bardziej sprężyste lepizsze [badania własne ORLEN Asphalt]

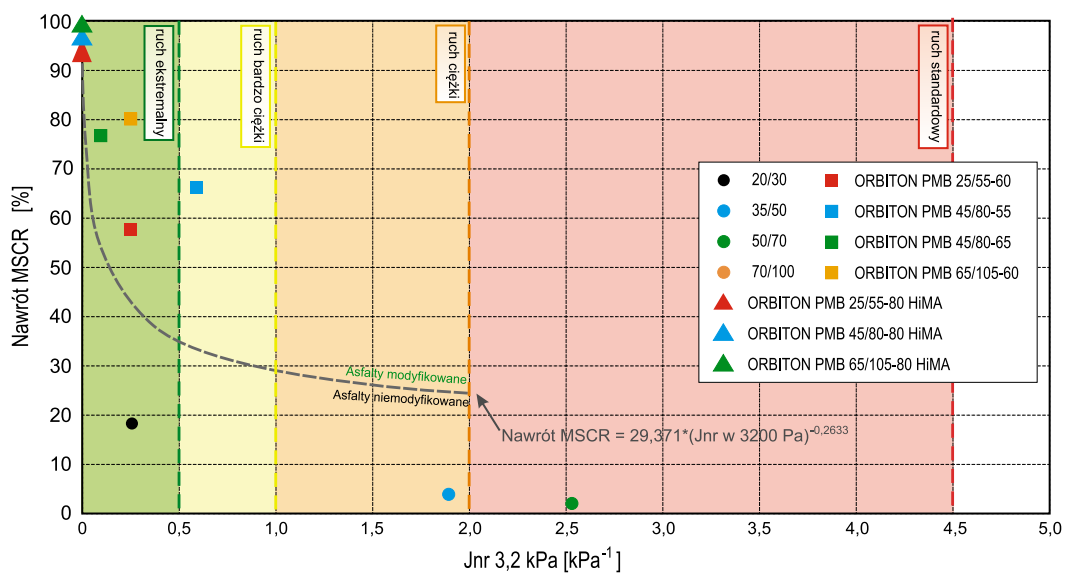
Rodzaj asfaltu		20/30	35/50	50/70	70/100	25/55-60	45/80-55	45/80-65	65/105-60	25/55-80 HiMA	45/80-80 HiMA	65/105-80 HiMA
Oznaczany parametr	Jednostka	Wyniki testu MSCR w T = 58°C										
R 0,1	[%]	32.0	14.9	9.1	5.1							
R 3,2	[%]	30.7	9.9	3.4	1.2							
R _{diff}	[%]	4.0	33.3	62.9	76.9							
J _{nr} 0,1	[kPa^{-1}]	0.1	0.6	1.2	2.2							
J _{nr} 3,2	[kPa^{-1}]	0.1	0.6	1.3	2.5							
J _{nr} diff	[%]	4.5	9.7	13.5	11.6							
Oznaczany parametr	Jednostka	Wyniki testu MSCR w T = 64°C										
R 0,1	[%]	21.9	8.5	5.4	2.3	61.9	68.2	79.1	86.0	95.6	96.8	98.6
R 3,2	[%]	18.7	2.4	1.3	-0.3	57.1	65.8	79.3	79.9	94.3	95.3	97.3
R _{diff}	[%]	14.7	71.1	75.2	111.6	7.7	3.6	-0.3	7.1	1.4	1.5	1.3
J _{nr} 0,1	[kPa^{-1}]	0.3	1.5	2.2	5.4	0.3	0.5	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0
J _{nr} 3,2	[kPa^{-1}]	0.3	1.8	2.5	6.1	0.3	0.6	0.2	0.3	0.0	0.0	0.0
J _{nr} diff	[%]	7.5	15.3	13.8	13.2	19.0	15.9	6.7	54.9	—	—	—
Oznaczany parametr	Jednostka	Wyniki testu MSCR w T = 70°C										
R 0,1	[%]					55.1	60.8	74.0	74.9	95.8	96.7	98.4
R 3,2	[%]					43.1	46.9	70.8	71.4	94.3	95.0	96.9
R _{diff}	[%]					21.8	22.9	4.4	4.6	1.5	1.8	1.5
J _{nr} 0,1	[kPa^{-1}]					0.6	1.2	0.4	0.5	0.0	0.0	0.0
J _{nr} 3,2	[kPa^{-1}]					0.9	1.8	0.6	0.6	0.0	0.0	0.0
J _{nr} diff	[%]					41.5	51.0	23.8	23.8	—	—	—

Dodatkowo, na rysunkach 4.17. oraz 4.18. przedstawiono w sposób graficzny wyniki badania MSCR – nawrót R w funkcji J_{nr} przy obciążeniu 0,1 oraz 3,2 kPa, wykonane w temperaturze 64°C.

Na wykresie 4.18. oraz w tabeli 4.5. pokazano również klasyfikację lepiszczy asfaltowych po badaniu MSCR odnośnie przydatności do danej kategorii ruchu drogowego – opracowaną na podstawie danych z tabeli 4.3.



Rys. 4.17. Prezentacja wyników badania MSCR: nawrót R w funkcji J_{nr} przy obciążeniu 0,1 kPa w temperaturze 64°C. Interpretacja wykresu: im mniejsza wartość J_{nr} tym większa odporność na koleinowanie, im większy nawrót, tym bardziej sprężyste lepiszcze [badania własne ORLEN Asphalt]



Rys. 4.18. Prezentacja wyników badania MSCR: nawrót R w funkcji J_{nr} przy obciążeniu 3,2 kPa w temperaturze 64°C. Interpretacja wykresu: im mniejsza wartość J_{nr} tym większa odporność na koleinowanie, im większy nawrót, tym bardziej sprężyste lepiszcze [badania własne ORLEN Asphalt]

Tabela 4.5. zawiera klasyfikację wszystkich lepiszczy asfaltowych w odniesieniu do obciążenia ruchem, dla każdej temperatury badania.

Tabela 4.5. Klasyfikacja lepiszczy po badaniu MSCR według obciążenia ruchem, na podstawie zakresów z tabeli 4.3. [badania własne ORLEN Asphalt]

Rodzaj asfaltu	Końcowa klasyfikacja przydatności dla ruchu drogowego (w temperaturze badania) wg. klasyfikacji PG		
	58°C	64°C	70°C
Drogowy 20/30	E	E	
Drogowy 35/50	V	H	
Drogowy 50/70	H	S	
Drogowy 70/100	S	*	
ORBITON 25/55-60		E	V
ORBITON 45/80-55		V	H
ORBITON 45/80-65		E	V
ORBITON 65/105-60		E	V
ORBITON 25/55-80 HiMA		E	E
ORBITON 45/80-80 HiMA		E	E
ORBITON 65/105-80 HiMA		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)

4.3.3. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI W TEMPERATURZE POŚREDNIEJ

4.3.3.1. Zmęczeniowa temperatura krytyczna FCCT

Do badań właściwości w temperaturach pośrednich tzw. właściwości zmęczeniowych wykorzystuje się również reometr dynamicznego ścinania DSR (rys. 4.8.). Badania wykonuje się zgodnie z normą AASHTO T315 [15].

Badanie odporności lepiszczy asfaltowych na powstawanie spękań zmęczeniowych wykonywane jest w tzw. pośredniej temperaturze eksploatacji nawierzchni, uzależnionej od rodzaju PG danego asfaltu (górnej i dolnej temperatury krytycznej). Próbki asfaltów zostają wcześniej poddane starzeniu metodą RTFOT oraz PAV. Badanie ma na celu sprawdzenie, czy moduł zespolony G^* nie jest zbyt wysoki, a więc, czy nawierzchnia nie jest zbyt sztywna – lub inaczej – sprawdzenie od jakiej temperatury nawierzchnia staje się na tyle sztywna, żeby powstawały procesy zmęczeniowe. 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).

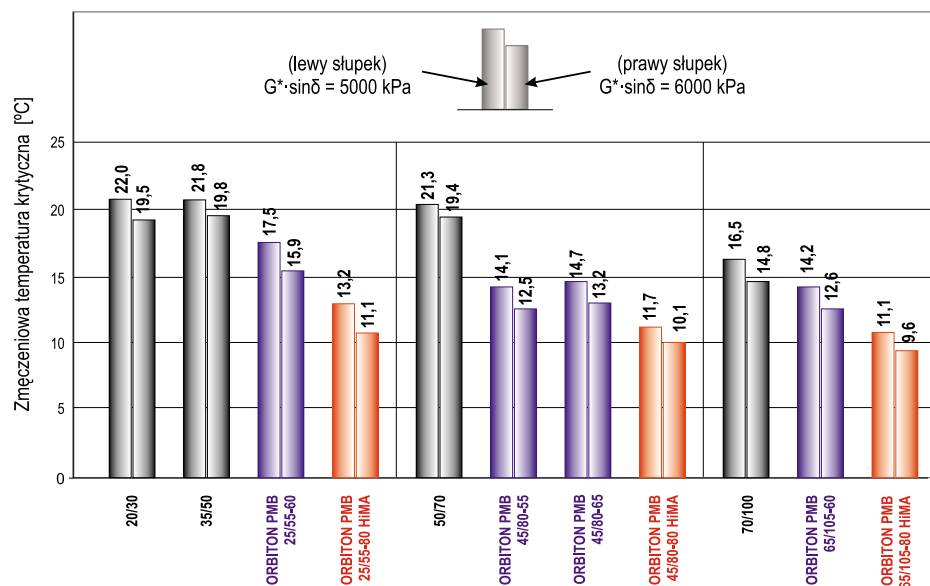
W celu uniknięcia spękań zmęczeniowych nawierzchni, lepiszcze asfaltowe po starzeniu metodą RTFOT i PAV powinno być nadal wystarczająco sprężyste. Wskazane jest więc, aby asfalt charakteryzował się niższą wartością modułu G'' (mniejsza sztywność nawierzchni) oraz stosunkowo małym kątem przesunięcia fazowego (większy udział części sprężystej).

W tabeli 4.6. przedstawiono wyniki badań zmęczeniowej temperatury krytycznej (FCCT – *Fatigue Cracking Critical Temperature*) badanych asfaltów.

Tabela 4.6. 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	22,0	19,5
35/50	21,8	19,8
50/70	21,3	19,4
70/100	16,5	14,8
ORBITON 25/55-60	17,5	15,9
ORBITON 45/80-55	14,1	12,5
ORBITON 45/80-65	14,7	13,2
ORBITON 65/105-60	14,2	12,6
ORBITON 25/55-80 HiMA	13,2	11,1
ORBITON 45/80-80 HiMA	11,7	10,1
ORBITON 65/105-80 HiMA	11,1	9,6

Na rys. 4.19. przedstawiono dodatkowo porównanie właściwości w pośrednich temperaturach wszystkich badanych lepiszczy asfaltowych. W celu łatwiejszej analizy, asfalty pogrupowano wg zakresów penetracji.



Rys. 4.19. Prezentacja wyników zmęczeniowej temperatury krytycznej – FCCT, przy $G^* \cdot \sin \delta = 5000$ kPa (lewy słupek) oraz przy $G^* \cdot \sin \delta = 6000$ kPa (prawy słupek). Asfalty po starzeniu RTFOT + PAV [badania własne ORLEN Asphalt]. Interpretacja wykresu: mniej = lepiej

4.3.3.2. Parametr *Glover-Rowe* oraz *R-value*

Parametry *Glover-Rowe* (G-R) oraz *R-value* opracowano stosunkowo niedawno w celu przeprowadzenia oceny trwałości oraz podatności na spękania nawierzchni z danym lepiszczem asfaltowym [9, 10, 21, 24]. Obydwa parametry nie dotyczą spękań związanych z obciążeniem ruchem pojazdów (*non-load related cracking*).

Podane parametry zostały wyznaczone jako wartości eksperymentalne, wykonane po raz pierwszy w Polsce, wspólnie z prof. A. Zofka.

Badania obu parametrów wykonuje się w reometrze dynamicznego ścinania DSR. W badaniach ORLEN Asphalt próbki poddano wcześniej starzeniu metodą RTFOT.

Parametr *Glover-Rowe*

Aby wyznaczyć parametr *Glover-Rowe* (G-R) należy kolejno [7, 8, 9]:

- sporządzić izotermy w trzech wartościach temperatury: 5, 15 i 25°C, w zakresie częstotliwości od 0,1 do 10 Hz,
- utworzyć tzw. zredukowaną krzywą wiodącą, w temperaturze referencyjnej, którą ustalono na 15°C,
- oznaczyć poprzez ekstrapolację moduł zespolony G^* oraz kąt przesunięcia fazowego δ , dla częstotliwości 0,005 rad/s,
- obliczyć parametr *Glover-Rowe* zgodnie ze wzorem:

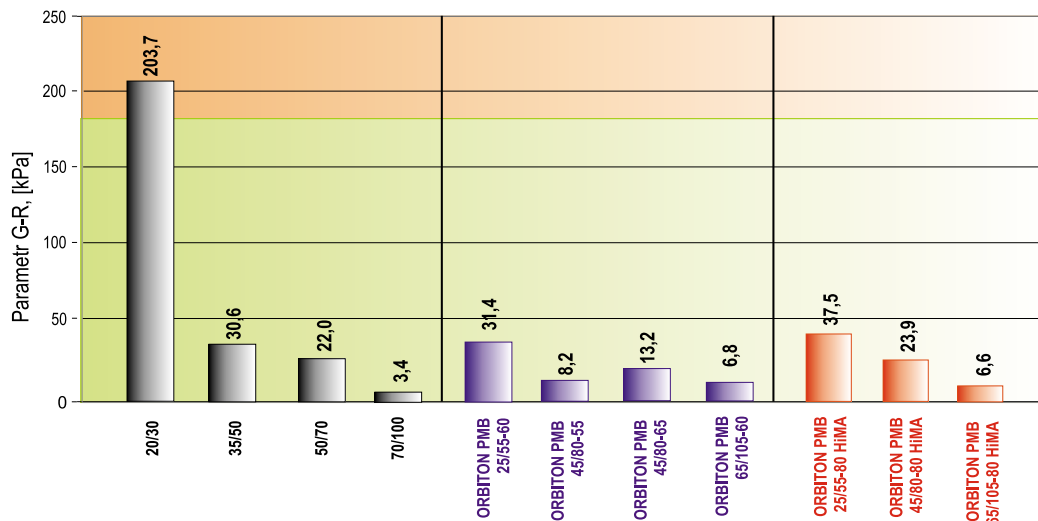
$$G-R = \frac{G^* \cdot (\cos\delta)^2}{\sin}$$

Określono, że im wyższa wartość parametru *Glover-Rowe*, tym mniejsza jest odporność danego lepiszcza asfaltowego na spękania. Strefa powstawania spękań rozpoczyna się dopiero, gdy parametr $G-R \geq 180$ kPa [7, 8]. A zatem zalecane jest, aby parametr G-R był mniejszy od 180 kPa.

W tabeli 4.7. oraz na rys. 4.20. przedstawiono wyniki parametru *G-R* dla badanych asfaltów.

Tabela 4.7. Wyniki badań parametru *Glover-Rowe* dla badanych lepiszczy asfaltowych [badania własne ORLEN Asphalt]

Rodzaj asfaltu	Parametr <i>Glover-Rowe</i> [kPa] Asfalt po starzeniu RTFOT
Interpretacja	mniej = lepiej
20/30	203,7
35/50	30,6
50/70	22,0
70/100	3,4
ORBITON 25/55-60	31,4
ORBITON 45/80-55	8,2
ORBITON 45/80-65	13,2
ORBITON 65/105-60	6,8
ORBITON 25/55-80 HiMA	37,5
ORBITON 45/80-80 HiMA	23,9
ORBITON 65/105-80 HiMA	6,6



Rys. 4.20. Prezentacja wyników parametru Glover-Rowe. Asfalty po starzeniu RTFOT [badania własne ORLEN Asfalt].
Interpretacja wykresu: mniej = lepiej

Z porównania przedstawionego w tabeli 4.7. oraz na rys. 4.20. jednoznacznie wynika, że według kryterium $G-R \geq 180$ kPa, asfaltem najbardziej narażonym na spękania jest asfalt drogowy 20/30.

Parametr R -value

Parametr R -value jest wyznacznikiem zdolności lepiszczy asfaltowych do relaksacji naprężeń. Za pomocą parametru R -value można wyznaczyć sztywność asfaltów. Jest on również określany jako indeks reologiczny [10].

Określono, że im większa wartość parametru R , tym lepszycze asfaltowe charakteryzuje się większą sztywnością i podatnością na spękania [7, 10].

Parametr R -value wyznacza się w następujący sposób [10]:

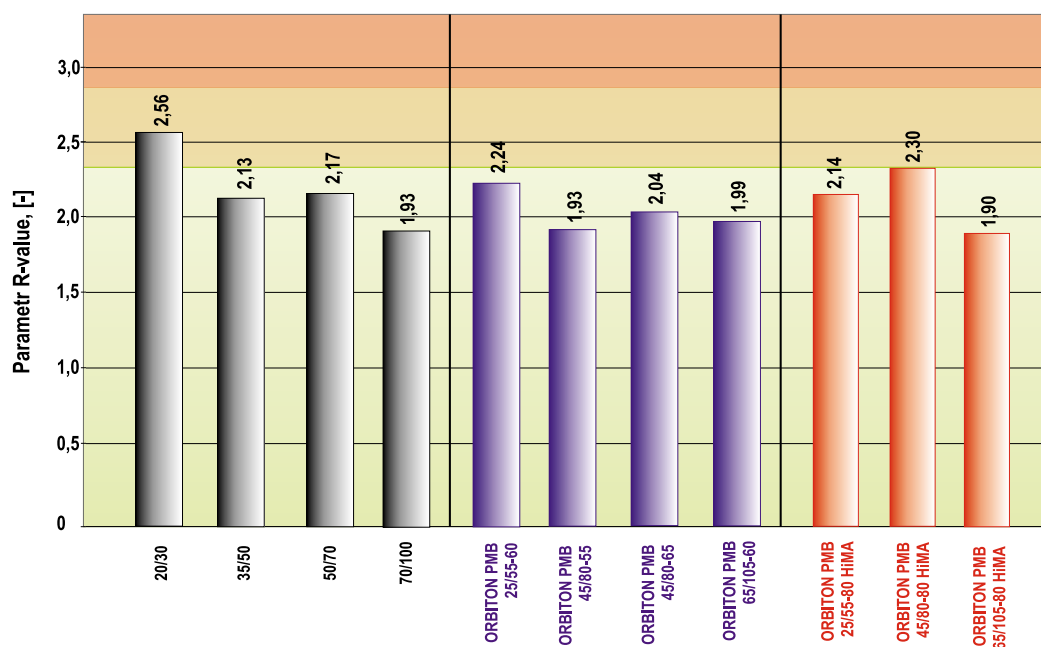
- tak jak w przypadku oznaczania $G-R$, należy najpierw sporządzić izotermy w trzech wartościach temperatury: 5, 15 i 25°C, w zakresie częstotliwości od 0,1 do 10 Hz, a następnie utworzyć tzw. zredukowaną krzywą wiodącą w temperaturze referencyjnej = 15°C,
- wyszukać częstotliwość rozgraniczającą (ω_0), która jest zdefiniowana jako częstotliwość, przy której część sprężysta – G' oraz część lepka – G'' modułu zespolonego G^* są sobie równe (kąt przesunięcia fazowego δ wynosi wówczas 45°),
- wyznaczyć ze zredukowanej krzywej wzorcowej wartość modułu zespolonego G^* , przy określonej częstotliwości rozgraniczającej $G^*(\omega_0)$,
- obliczyć wartość parametru R -value, zgodnie z równaniem:

$$R = \log(10^9) - \log(G^*(\omega_0)) = 9 - \log(G^*(\omega_0))$$

W tabeli 4.8. oraz na rys. 4.21. przedstawiono wyniki parametru R -value dla badanych asfaltów.

Tabela 4.8. Wyniki badań parametru *R-value* dla badanych lepiszczy asfaltowych [badania własne ORLEN Asphalt]

Rodzaj asfaltu	Parametr <i>R-value</i> [-] Asfalt po starzeniu RTFOT
Interpretacja	mniej = lepiej
20/30	2,56
35/50	2,13
50/70	2,17
70/100	1,93
ORBITON 25/55-60	2,24
ORBITON 45/80-55	1,93
ORBITON 45/80-65	2,04
ORBITON 65/105-60	1,99
ORBITON 25/55-80 HiMA	2,14
ORBITON 45/80-80 HiMA	2,30
ORBITON 65/105-80 HiMA	1,90



Rys.4.21. Prezentacja wyników parametru *R-value*. Asfalty po starzeniu RTFOT [badania własne ORLEN Asphalt].
Interpretacja wykresu: mniej = lepiej

Kryteria oceny parametru *R-value* są ciągle weryfikowane, wstępnie początek powstawania spękań określono przy wartości parametru $R=2,3$. Z kolei intensywna strefa spękań rozpoczyna się po przekroczeniu wartości $R=2,7$ [10]. Niemniej jednak po zakończeniu prac badawczych podane wartości graniczne mogą ulec zmianie.

Podsumowanie wyników G-R i R-value

Pomimo, że przedstawione parametry charakteryzują lepiszcza asfaltowe w nieco odmienny sposób (rys. 4.20. i 4.21.), to w zakresie oceny podatności na spękania parametry G-R oraz R-value należy rozpatrywać łącznie.

Otrzymane wyniki badań wskazują jednak, że niezbędne jest przeprowadzenie dodatkowych analiz porównawczych oraz wiarygodnych badań terenowych, w celu ustalenia realnej zależności obu parametrów od rzeczywistej podatności na spękania danego asfaltu. Jeden wniosek jest bez wątpienia zgodny z dotychczasowymi doświadczeniami krajowymi – asfalt drogowy 20/30 charakteryzuje się największym potencjałem spękań ze wszystkich stosowanych w drogownictwie.

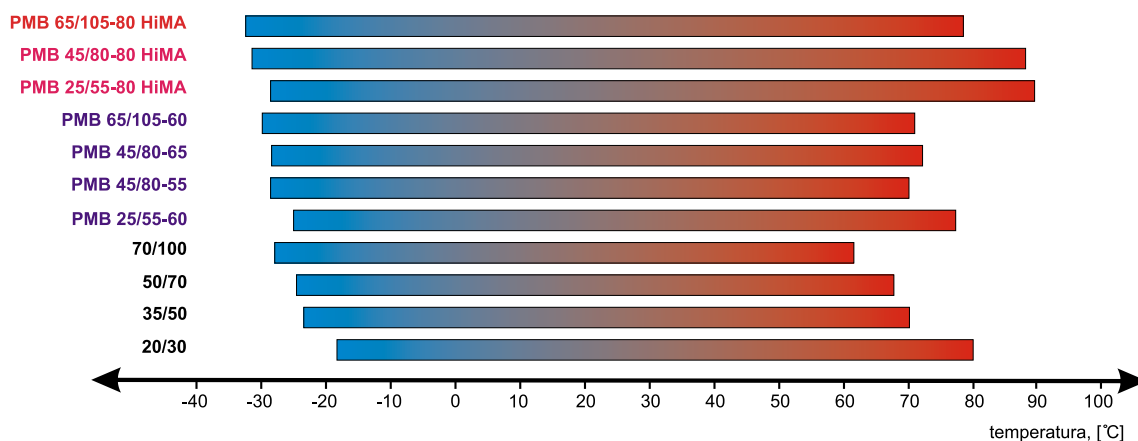
4.3.4. KLASYFIKACJA LEPISZCZY ASFALTOWYCH WG SYSTEMU PERFORMANCE GRADE

W tabeli 4.9. przedstawiono klasy badanych lepiszczy asfaltowych wg systemu *Performance Grade* na podstawie normy AASHTO M 320 (bez MSCR), natomiast w tabeli 4.10. klasy wg AASHTO M 332 (z MSCR).

Tabela 4.9. Klasyfikacja badanych asfaltów wg *Performance Grade* system AASHTO M 320 [badania własne ORLEN Asphalt]

Rodzaj asfaltu	Rzeczywiste PG grade (real PG)	PG grade
20/30	80-18	76-16
35/50	70-23	70-22
50/70	68-24	64-22
70/100	62-27	58-22
ORBITON 25/55-60	77-25	76-22
ORBITON 45/80-55	70-28	70-28
ORBITON 45/80-65	73-27	70-22
ORBITON 65/105-60	71-30	70-28
ORBITON 25/55-80 HiMA	90-28	88-28
ORBITON 45/80-80 HiMA	88-31	88-28
ORBITON 65/105-80 HiMA	79-32	76-28

Na rys. 4.22. znajduje się graficzne przedstawienie zakresów funkcjonalnych PG badanych lepiszczy asfaltowych.



Rys. 4.22. Graficzna prezentacja klasyfikacji lepiszczy asfaltowych – rzeczywiste PG grade wg AASHTO M 320 [badania własne ORLEN Asphalt]

Tabela 4.10. Klasyfikacja badanych asfaltów wg Performance Grade system AASHTO M 332 [badania własne ORLEN Asphalt]

Rodzaj asfaltu	PG grade AASHTO M 320	Dostępne lepiszcza spełniające wymagania AASHTO M 332 w zakresie UCT odpowiadającej polskim warunkom klimatycznym
20/30	76-16	58E-16, 64E-16
35/50	70-22	58V-22, 64H-22
50/70	64-22	58H-22, 64S-22
70/100	58-22	58S-22
ORBITON 25/55-60	76-22	58E-22, 64E-22, 70V-22
ORBITON 45/80-55	70-28	58E-28, 64V-28, 70H-28
ORBITON 45/80-65	82-22	58E-22, 64E-22, 70V-22
ORBITON 65/105-60	76-28	58E-28, 64E-28, 70V-28
ORBITON 25/55-80 HiMA	100-28	58E-28, 64E-28, 70E-28
ORBITON 45/80-80 HiMA	94-28	58E-28, 64E-28, 70E-28
ORBITON 65/105-80 HiMA	88-28	58E-28, 64E-28, 70E-28

Przedstawiona w tabeli 4.10. paleta dostępnych lepiszczy asfaltowych z oferty Grupy ORLEN została określona na podstawie wymagań AASHTO M 332, w oparciu o zestaw wymagań uzupełniony o test MSCR. Kolumna *PG grade* reprezentuje nominalny zakres temperaturowy zastosowania danego lepiszcza, ustalony na podstawie zasad 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 58°C do 70°C. Dla tego zakresu dopasowano lepiszcza podając ich *PG grade* uzupełnione o klasyfikację ruchu (S, H, V, E – patrz tab. 4.3.), według kryteriów MSCR. Oznacza to, że np. asfalt drogowy 50/70 w temperaturze nawierzchni 58°C jest odpowiedni do ruchu H (ciężkiego), a jeśli temperatura nawierzchni wyniesie 64°C to już tylko do ruchu S (standardowego). Spośród wszystkich lepiszczy tylko asfalty wysokomodyfikowane ORBITON HiMA spełniają wymagania do ruchu E (ekstremalnego) w całym zakresie temperatury 58-70°C, z kolei dla zakresu 58-64°C do ruchu E może być zastosowana większość asfaltów modyfikowanych.

ORBITON HiMA

– najbardziej innowacyjny produkt na rynku.

Główną ideą asfaltów wysokomodyfikowanych jest:

zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej warstw asfaltowych

przeciwdziałanie spękanom nawierzchni

przeciwdziałanie koleinom



+40,2°C

Badania potwierdziły wytrzymałość mieszanki mineralno-asfaltowej nawet w temperaturze 40,2°C – najwyższej temperaturze powietrza w historii odnotowanej w Polsce.

2013 ROK

Pierwszy w Polsce odcinek doświadczalny nawierzchni drogowej z zastosowaniem asfaltu wysokomodyfikowanego

ORBITON HiMA.



Do **50 lat** – tyle wynosi czas użytkowania drogi z zastosowaniem asfaltów wysokomodyfikowanych

ORBITON HiMA

w pełnej technologii bez konieczności przeprowadzania głębokich remontów.

50 lat

Asfalty

wyskomodyfikowane

to jeden z głównych kierunków rozwoju technologii asfaltowych w Polsce według GDDKiA



CZĘŚĆ II

ASFALTY W MIESZANKACH MINERALNO-ASFALTOWYCH



ROZDZIAŁ 5

TECHNOLOGIA STOSOWANIA ASFALTÓW

Poprawne stosowanie lepiszczy asfaltowych 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.

Wszystkie przedstawione wskazówki dotyczą asfaltów wyprodukowanych przez Grupę ORLEN i dostarczanych przez ORLEN Asphalt.

5.1. WSKAZÓWKI LABORATORYJNE

5.1.1. USTALANIE TEMPERATURY TECHNOLOGICZNEJ

Asfalty różnią się zakresem lepkości w temperaturze 60-165°C (najczęściej badany zakres). Wyniki lepkości uzyskane dla asfaltu wyprodukowanego w rafinerii i nie poddanego starzeniu będą zawsze różniły się od wyników asfaltów po starzeniu. W wyniku starzenia asfalt utwardza się, a jego lepkość wzrasta. Symulacja tego zjawiska w zakresie starzenia technologicznego (krótkoterminowego) w laboratorium odbywa się w aparacie RTFOT, a dla starzenia eksploatacyjnego (długoterminowego) w aparacie PAV¹, po uprzednim kondycjonowaniu w aparacie RTFOT.

Krzywa zależności lepkość-temperatura po starzeniu technologicznym (RTFOT) z reguły nie pokrywa się z krzywą charakterystyczną dla asfaltu niestarzonego, jest przesunięta w kierunku większych lepkości. Oznacza to, że właściwa temperatura technologiczna powinna być określana na podstawie badania lepkości asfaltu zarówno przed, jak i po starzeniu metodą RTFOT.

Dla większości ważnych procesów technologicznych znana jest optymalna lepkość lub zakres lepkości i na tej podstawie możemy określić optymalne wartości temperatury technologicznej.

Do oznaczenia temperatury pompowania i otaczania kruszywa asfaltem należy 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).

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

Do oznaczenia temperatury początku i końca zagęszczania mieszanki mineralno-asfaltowej na budowie preferujemy w ORLEN Asphalt wyniki badań lepkości asfaltu po starzeniu met. RTFOT. Uważamy tak, ponieważ 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 etap ten trwa od kilkadziesiąt 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. Spada penetracja asfaltu, wzrasta jego temperatura mięknięcia i lepkość, pogarsza się temperatura łamliwości. A więc w momencie rozpoczęcia rozkładania mieszanki i jej zagęszczania lepiszcze asfaltowe znajdujące się w mieszance jest już po starzeniu technologicznym. Ponieważ lepkości wyprodukowanych asfaltów zależą w znacznym stopniu od właściwości surowca (pozostałości próżniowej z destylacji ropy naftowej), należy przyjmować, że określona temperatura technologiczna może się wahać w czasie sezonu produkcji w zależności od właściwości surowca stosowanego w rafinerii.

Krzywe zależności lepkość-temperatura dla asfaltów produkowanych przez Grupę ORLEN w roku 2017 zostały przedstawione na rysunkach w rozdziale 3.

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 [1]). Temperatura przygotowywania próbek mieszanki mineralno-asfaltowej powinna odnosić się do rzeczywistych warunków występujących na otaczarni i na budowie. Przyjęcie zbyt wysokiej temperatury w laboratorium spowoduje osiągnięcie wysokich wartości gęstości objętościowej mma w próbkach i zniżenie zawartości wolnych przestrzeni. Jeśli warunki na budowie będą znacząco różniły się od przyjętych w laboratorium, tzn. temperatura mieszanki mineralno-asfaltowej podczas zagęszczania warstwy będzie 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 – osiąganiem na budowie wskaźników zagęszczenia większych od 100% i zbyt małą zawartością wolnych przestrzeni w warstwie (co zwiększy ryzyko pojawienia się kolein). Dlatego przyjęcie właściwej temperatury zagęszczania próbek na etapie projektowania mieszanki w laboratorium jest bardzo ważne².

W przypadku asfaltów wysokomodyfikowanych typu HiMA opieranie się podczas ustalania wartości temperatury technologicznej wyłącznie na lepkości lepiszcza może prowadzić do jej zawyżenia, co z kolei przyczynia się do nadmiernego przegrzewania asfaltu i innych problemów.

Specjalny typ polimeru SBS stosowany do modyfikacji asfaltów typu HiMA, w temperaturze powyżej 100°C nie sprawia takich kłopotów jak standardowy SBS wykorzystywany do produkcji zwykłych lepiszczy modyfikowanych. W związku z tym, temperaturę stosowania należy dobierać bardzo ostrożnie i opierać się na doświadczeniach z odcinków testowych.

Ze względu na krótki okres przydatności asfaltów typu HiMA do wbudowania, długotrwałe przechowywanie tych lepiszczy w zbiornikach na otaczarni jest ryzykowne. Zaleca się wykorzystanie lepiszcza natychmiast po otrzymaniu dostawy. Rekomendowane jest także stosowanie procedury przechowywania HiMA w temperaturze poniżej 170°C (zalecane nawet poniżej 160°C). W tej temperaturze lepiszcze może być także użyte do produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej. Podgrzewanie lepiszcza i mieszanki do temperatury znacząco przekraczającej 180°C jest przeciwnie skuteczne, ponieważ nie prowadzi do obniżenia lepkości, a wręcz jej zwiększenia, co utrudnia wbudowanie warstwy. Szczegółowe informacje dotyczące przechowywania asfaltów typu HiMA, zamieszczono w pkt. 5.2.2.

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].

5.1.2. PRÓBKI 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 lepischer asfaltów od ORLEN Asphalt 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** przez 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 [3].

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. Jeżeli nie zostały dostarczone żadne informacje dotyczące sposobu postępowania z próbką danego asfaltu modyfikowanego polimerami, temperatura w suszarce powinna mieścić się w granicach od 180°C do 200°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 5.1. przedstawiono maksymalne temperatury rozgrzewania próbek tych asfaltów w laboratorium.

Tabela 5.1. Temperatura rozgrzewania próbek ORBITON HiMA w laboratorium

Wielkość próbki 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. 180	max. 180	max. 175
pojemnik 1 ÷ 2 litrów pojemności, - czas rozgrzewania próbki max. 3 godziny	max. 180	max. 180	max. 175
pojemnik 2 ÷ 3 litrów pojemności, - czas rozgrzewania próbki max. 3,5 godziny	max. 180	max. 180	max. 175
pojemnik 3 ÷ 5 litrów pojemności, - czas rozgrzewania próbki max. 4 godziny	max. 180	max. 180	max. 175
pojemnik powyżej 5 litrów pojemności, - czas rozgrzewania próbki max. 8 godzin	max. 160	max. 150	max. 140

Postępowanie z próbkami po rozgrzaniu:

- lepszcza 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 lepszycy asfaltowych do badania właściwości na zgodność z normą PN-EN 12591, PN-EN 14023 lub innych badań, 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 sito metalowe o oczkach #0,5 mm**, w celu wyeliminowania ewentualnych zanieczyszczeń wpływających na wyniki badań.

Próbki asfaltów otrzymane w wyniku:

- wykonania ekstrakcji mieszanki mineralno-asfaltowej (wg norm PN-EN 12697-1, PN-EN 12697-2, PN-EN 12697-4 [4, 5, 6]), 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 [7, 8, 9, 10] lub innej normy, która dotyczy twardnienia lub starzenia), należy przygotować i badać zgodnie z odpowiednimi metodami pobierania i badania.

5.1.3. PRZYCZEPNOŚĆ ASFALTU DO KRUSZYW MINERALNYCH

Przyczepność (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 przyczepnością asfaltu. Niemniej jednak wybór środka polepszającego adhezję asfaltu do kruszywa wymaga każdorazowo przeprowadzenia badań sprawdzających w laboratorium, ponieważ niestety niektóre środki chemiczne pogarszają adhezję asfaltu do kruszywa. Dostępne na rynku środki adhezyjne oraz ich zawartość w asfalcie, należy dobierać do konkretnego lepszycy 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 [11] oraz PN-EN 12697-12 [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 [13] lub WTW BT MMA 2018 ZDW w Katowicach [14].

5.2. MAGAZYNOWANIE LEPISSZCZY ASFALTOWYCH

5.2.1. UWAGI OGÓLNE

Lepiszczta asfaltowe należy magazynować w zbiornikach specjalnie do tego celu przeznaczonych, rys. 5.1.



Rys. 5.1. Zbiorniki na asfalt modyfikowany, instalacja w Płocku (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o.)

Asfalt w zbiorniku roboczym powinien być ogrzewany w sposób pośredni, z układem termostatowania, 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 węzownic 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 [15] – 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 węzownicach grzewczych. Powoduje to dodatkowe osadzanie koksu na dnie zbiornika oraz pogarsza właściwości lepiszcza.

Przykładowe czynniki wpływające na starzenie lepiszczy asfaltowych w zbiornikach magazynowych oraz sposoby ich ograniczania, przedstawiono w tabeli 5.2.

Tabela 5.2. 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 ujednorodnienia asfaltu w zbiorniku. Jeśli asfalt magazynowany jest przez dłuższy okres, najlepiej jest ograniczyć cyrkulację lub włączyć 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.

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

5.2.2. MAGAZYNOWANIE ASFALTÓW DROGOWYCH

Magazynowanie krótkotrwałe w wysokiej temperaturze (do 10 dni)

Tabela 5.3. Temperatry krótkotrwałego magazynowania asfaltów drogowych w wysokiej temperaturze

Lepiszczce asfaltowe	Zalecana 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 (do 185°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 [16],
- temperaturę mięknięcia wg PN-EN 1427 [17].

W przypadku nadmiernego zestarzenia lepiszcza należy rozpocząć proces kontrolowanego utylizowania produktu, zgodnie procedurą ZKP wg normy PN-EN 13108-21 [15].

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 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.

5.2.3. MAGAZYNOWANIE ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH POLIMERAMI

Magazynowanie krótkotrwałe w wysokiej temperaturze (do 7 dni)

Tabela 5.4. Temperatury krótkotrwałego magazynowania asfaltów modyfikowanych polimerami w wysokiej temperaturze

Lepiszczce 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-ciu 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 [16],
- temperatura mięknięcia wg PN-EN 1427 [17],
- nawrót sprężysty w 25°C wg PN-EN 13398 [18].

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 lepiscza okresowo, np. co 2 dni (zakres badań podano powyżej). Pożądane jest także mieszanie asfaltu w zbiorniku co najmniej 6 godzin w ciągu doby.

Zalecana temperatura magazynowania: 150 ÷ 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 upłynnieniem i w konsekwencji zmianami właściwości użytkowych.

5.2.4. MAGAZYNOWANIE ASFALTÓW WYSOKOMODYFIKOWANYCH ORBITON HIMA

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

W przypadku konieczności przechowywania (maksymalnie do 3 dni) zaleca się ujednorodnienie produktu przez mieszanie asfaltu w obiegu zamkniętym w jednym lub kilku zbiornikach. Wskazane jest, aby co najmniej jeden ze zbiorników wyposażony był w mieszadło. Zbyt długie przechowywanie (powyżej 3 dni) w wysokiej temperaturze (powyżej 170°C) może prowadzić do stopniowego przyrostu lepkości asfaltu wysokomodyfikowanego, ograniczającego możliwość jego zastosowania.

W przypadku planowanego przechowywania asfaltu w zbiorniku powyżej 3 dni zalecane jest obniżenie temperatury do max. 160°C i okresowe mieszanie (cyrkulacja).

Po upływie okresu 3 dni zaleca się przeprowadzanie podstawowych badań kontrolnych właściwości asfaltu wysokomodyfikowanego w celu upewnienia się, że produkt nie stracił swoich właściwości. Należy wykonać następujące badania kontrolne:

- penetracja w 25°C wg PN-EN 1426 [16],
- temperatura mięknięcia wg PN-EN 1427 [17],
- lepkość w 160°C wg PN-EN 13302 [19].

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

Nie zaleca się magazynowania asfaltów wysokomodyfikowanych w okresie dłuższym niż 3 dni w wysokiej temperaturze. Przechowywanie w obniżonej temperaturze jest możliwe (poniżej 160°C), ale wymaga częstej kontroli parametrów lepiszcza.

5.2.5. 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 PMB i trwałości 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 5.3.-5.6.
- Nie należy mieszać asfaltów wysokomodyfikowanych HiMA z innymi asfaltami; takie mieszanie powoduje znaczące pogorszenie właściwości użytkowych lepiszcza oraz wpływa na trwałość wykonanej nawierzchni.

5.3. PRODUKCJA MIESZANKI MINERALNO-ASFALTOWEJ

Asfalt dostarczony do wytwórni mieszanki mineralno-asfaltowej, powinien charakteryzować się lepkością na tyle małą, 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-go dnia magazynowania), dlatego też należy bezwzględnie przestrzegać wszystkich wskazówek dotyczących maksymalnej temperatury magazynowania oraz wartości temperatury technologicznej podanej w tabeli 5.6.

W chłodnych porach roku, podczas transportu asfaltu z rafinerii należy monitorować temperaturę asfaltu w autocysternie. Przyjmuje się, że minimalna temperatura pompowania osiągnąta jest przy lepkości asfaltu wynoszącej około 2 Pa·s.

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 [20].

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 5.5. oraz 5.6. podano zalecane wartości temperatury technologicznej stosowania asfaltów w mieszankach mineralno-asfaltowych.

5.4. 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, *Shuttle-buggy*). 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 „rozpływa 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.

5.5. 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 obniżających temperaturę wbudowywania. Należy zwracać uwagę na temperaturę i czas przechowywania mieszanki asfaltu lanego, wskazówki zamieszczono w tabelach 5.5. oraz 5.6.

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 – dane podane w tabeli 5.6.

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 przesuwac 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 oczyszczenie sprzętu (głównie rozkładarki) z resztek mieszanki, dopóki jest gorąca – uwaga dotyczy szczególnie asfaltów wysokomodyfikowanych.

5.6. 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 (niepodatne na wiatr),
- po zastosowaniu łatwy do usunięcia (nie tworzy mazi),
- w miarę możliwości antypoślizgowy.

5.7. TEMPERATURY TECHNOLOGICZNE

W tabelach 5.5. oraz 5.6. 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 5.5. 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 zyratorowej	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	≤185	≤185 do 200 ^{d)}	≤185 do 200 ^{d)}	do 180	do 180	do 180	do 180	do 180
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 rozkładarki)	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 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 5.6. Minimalna i maksymalna temperatura asfaltów i mieszanek mineralno-asfaltowych w zależności od rodzaju asfaltu wysokomodyfikowanego

Rodzaj asfaltu	Asfalty wysokomodyfikowane polimerami		
	ORBITON 25/55-80 HiMA	ORBITON 45/80-80 HiMA	ORBITON 65/105-80 HiMA
	Temperatura [°C]		
Laboratorium:			
Zalecana temperatura zagęszczania próbek w ubijaku Marshalla/w prasie żyrotorowej	150-160°C	150-155°C	145-150°C
Temperatura składników na otaczarni:			
Pompowanie asfaltu	powyżej 160°C	powyżej 160°C	powyżej 150°C
Magazynowanie asfaltu na otaczarni krótkotrwałe (do 3 dni)	max. 180°C (zalecane poniżej 170°C)	max. 180°C (zalecane poniżej 170°C)	max. 180°C (zalecane poniżej 170°C)
Magazynowanie asfaltu na otaczarni długotrwałe (powyżej 3 dni)	do 160°C	do 160°C	do 160°C
Temperatura gotowej mieszanki mineralno-asfaltowej w mieszalniku otaczarki:			
Beton asfaltowy, AC	max. 180°C	max. 180°C	max. 175°C
SMA	max. 180°C	max. 180°C	max. 175°C
Asfalt porowaty, PA	max. 180°C	max. 180°C	max. 175°C
Asfalt lany, MA	—	max. 180°C	max. 180°C
Temperatura na budowie:			
Minimalna temperatura dostarczonej mieszanki na budowę (w koszu rozkładarki)	160°C	160°C	155°C
Temperatura końca efektywnego zagęszczania	>130°C	>125°C	>120°C

Uwaga: **podane w tabeli 5.6. dane temperaturowe zostały określone na podstawie wniosków z różnego rodzaju zastosowań asfaltów typu HiMA. W następstwie zdobywania kolejnych doświadczeń mogą one ulec zmianie.**

ROZDZIAŁ 6

BADANIE MSCR ASFALTÓW A ODPORNOŚĆ MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH NA KOLEINOWANIE

Kompleksowe badania lepiszczy oraz mieszanek mineralno-asfaltowych prowadzone w latach 90-tych XX wieku w ramach programu SHRP (ang. *Strategic Highway Research Program*) wykazały, że właściwości asfaltów w znaczący sposób wpływają na zachowanie nawierzchni podczas jej eksploatacji. Nieodpowiedni dobór lepiszcza asfaltowego do danej strefy klimatycznej jest jedną z przyczyn powstawania zniszczeń w nawierzchni, w tym deformacji trwałych. Ocenia się, że w przypadku zapewnienia nawierzchni odporności na koleinowanie, lepiszcze asfaltowe decyduje w około 40% [1]. Jego rola nie jest więc kluczowa, aczkolwiek znacząca.

W latach 2015-2016 Dział Badań i Rozwoju ORLEN Asphalt prowadził pracę badawczą, mającą na celu znalezienie korelacji pomiędzy wynikami badań właściwości asfaltów w wysokiej temperaturze eksploatacji, a wynikami badań koleinowania mieszanek mineralno-asfaltowych.

W niniejszym rozdziale przedstawiono rezultaty przeprowadzonego programu badawczego.

Badania wykonano w ORLEN Laboratorium oraz w laboratorium drogowym Politechniki Gdańskiej.

6.1. BADANIA WŁAŚCIWOŚCI ASFALTÓW W WYSOKIEJ TEMPERATURZE EKSPLOATACJI

W USA i w Europie praktykuje się odmienne podejście w ocenie właściwości wysokotemperaturowych lepiszczy asfaltowych. Stosowane metody badań wg Norm Europejskich nie są wystarczające do oceny właściwości funkcjonalnych asfaltów i służą przede wszystkim sklasyfikowaniu danego wyrobu celem wprowadzenia go do obrotu na rynek, a zakres informacji o właściwościach funkcjonalnych asfaltu jest niewielki. Normy Europejskie dostarczają informacji dotyczących właściwości tylko w ściśle określonej temperaturze, która najczęściej nie jest związana z rzeczywistymi warunkami eksploatacji nawierzchni drogowej. W Europie wciąż podstawowym badaniem określającym właściwości asfaltu w wysokiej temperaturze jest badanie temperatury mięknięcia metodą pierścienia i kuli wg PN-EN 1427.

W odróżnieniu od standardów europejskich, w USA stosowane są metody badań pozwalające ocenić przydatność danego lepiszcza do pełnienia określonych funkcji w nawierzchni. Badania właściwości wysokotemperaturowych lepiszczy asfaltowych wykonuje się w oparciu o specyfikację AASHTO M 320 (specyfikacja PG bez MSCR) lub AASHTO M 332 (specyfikacja PG z MSCR) [2, 3]. W badaniach wykorzystuje się reometr dynamicznego ścinania DSR.

Odporność asfaltu na działanie wysokiej temperatury oceniana jest na podstawie badania zespolonego modułu sztywności G^* oraz kąta przesunięcia fazowego δ dla asfaltu niestarzzonego (wg AASHTO M 332). System klasyfikacji oparty na AASHTO M 320 dodatkowo zawiera badanie asfaltu po starzeniu RTFOT. Dokładne wyjaśnienie specyfiki wykonania tego badania przedstawiono w rozdziale 4.

Na podstawie badań przeprowadzonych w USA wykazano jednak, że stosowana metoda oparta na parametrze $G^*/\sin\delta$ jest mało skuteczna w zakresie oceny wpływu asfaltu na odporność nawierzchni na deformacje trwałe, szczególnie w przypadku asfaltów modyfikowanych polimerami [4]. Stwierdzono, że korelacja pomiędzy wynikami badań koleinowania, a parametrem $G^*/\sin\delta$ jest niezadowalająca [5]. Konieczność dostosowania wymagań w procesie wyboru odpowiedniego lepiszcza do temperatury nawierzchni i charakteru ruchu była jedną z przyczyn wprowadzenia nowej metody badania lepiszczy – **cyklicznego pełzania z odprężaniem – testu MSCR** (ang. *Multiple Stress Creep Recovery*), opisaną wówczas w normie AASHTO TP 70 [20].

Test MSCR jest badaniem stosowanym w USA w ramach systemu klasyfikacji lepiszczy asfaltowych *Performance Grade* [3] dołączonym do normy AASHTO M 332. Istotą wykonania badania MSCR jest pomiar właściwości lepiszcza w najwyższej oczekiwanej temperaturze pracy nawierzchni (wg standaryzacji amerykańskiej) lub dowolnie wybranej temperaturze porównawczej – zgodnie z założeniami europejskimi.

Procedura wykonania testu jest prosta i szybka, a otrzymane wyniki umożliwiają wyeliminowanie dodatkowych badań w wysokiej temperaturze dla asfaltów modyfikowanych, takich jak: nawrót sprężysty, rozciąganie z pomiarem siły, ciągliwość i wytrzymałość.

W USA badanie MSCR przeprowadza się zgodnie z normami: AASHTO T 350 [6] (poprzednio AASHTO TP 70 [20]) lub ASTM D7405 [7], przy użyciu odpowiednio skonfigurowanego reometru dynamicznego ścinania z układem płytek równoległych o średnicy 25 mm i szczelinie 1 mm (rys. 6.1.). Jakkolwiek norma pozwala na wykonanie badania na próbkach lepiszcza niestarzzonego, starzonego w RTFOT, PAV oraz RTFOT+PAV to **podstawowym założeniem do klasyfikacji i oceny lepiszczy asfaltowych na podstawie wyników otrzymanych w teście MSCR jest badanie próbki asfaltu po starzeniu metodą RTFOT**. Autorzy niniejszego Poradnika także zalecają to rozwiązanie, ponieważ asfalt po starzeniu metodą RTFOT odpowiada lepiszczu wbudowanemu w nawierzchnię. Jest to zgodne z wnioskami również innych autorów, np. [15].

W Europie test MSCR wykonuje się wg normy EN 16659:2015 [8], jednakże w odróżnieniu od standardów amerykańskich, norma ta nie zawiera informacji na temat sposobu przygotowania próbek (próbki przed czy po starzeniu metodą RTFOT), procedury oceny właściwości lepiszczy po badaniu oraz ich klasyfikacji na podstawie wyników testu MSCR. Badanie wykonuje się więc domyślnie na próbkach asfaltu niestarzzonego w podanej, zalecanej temperaturze badania: 50°C, 60°C, 70°C lub 80°C. Inna temperatura testu może zostać zastosowana, np. w celach porównawczych.

Wyniki badania MSCR określają wpływ danego lepiszcza na odporność mieszanki mineralno-asfaltowej na deformacje trwałe (koleinowanie) oraz dodatkowo oceniają poziom sprężystości materiału, co jest szczególnie istotne – w przypadku polimeroasfaltów.



Rys. 6.1. Reometr DSR oraz układ płytek równoległych stosowanych do badania MSCR (fot. ORLEN Asphalt dzięki uprzejmości ORLEN Laboratorium sp. z o.o.)

Dokładny opis wykonania testu MSCR, wraz ze sposobem przygotowania próbek oraz interpretacją wyników znajduje się w rozdziale 4.

6.2. BADANIE MSCR ASFALTÓW A ODPORNOŚĆ MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH NA KOLEINOWANIE

Liczne badania prowadzone na różnych asfaltach wskazują na dobrą bądź bardzo dobrą korelację parametru J_{nr} z wynikami badań koleinowania mieszanek mineralno-asfaltowych [9, 21]. Wielu autorów w swoich publikacjach zaznacza, że znacznie lepsze korelacje uzyskuje się przy naprężeniu równym 3.2 kPa, niż 0.1 kPa [10, 11]. Inne badania [12, 13] pokazują z kolei, że uzyskiwane korelacje są jeszcze lepsze, jeżeli w teście MSCR zastosuje się znacznie wyższe wartości przykładowych naprężeń np.: powyżej 6.4 kPa. Wynika to z faktu, że wartości J_{nr} uzyskiwane przede wszystkim dla polimeroasfaltów przy naprężeniu 0.1 oraz 3.2 kPa są na ogół bardzo małe (J_{nr} poniżej 0,1), co jest szczególnie dobrze widoczne w badaniach ORBITON HiMA. Stąd też im wyższe wartości naprężenia zastosujemy podczas testu MSCR, tym uzyskiwane parametry będą w większym stopniu zróżnicowane. Przy takim podejściu możliwa jest dokładniejsza ocena odporności danego PMB na koleinowanie.

Należy jednak zaznaczyć, że aby przeprowadzać badania przy innych wartościach naprężenia niż te podane w normach, trzeba zwrócić szczególną uwagę na powtarzalność otrzymywanych wyników oraz ustalić precyzję metody dla zmienionych warunków badania.

W Polsce również wykonano podobne badania i zauważono bardzo dobrą korelację pomiędzy wynikami badań testu MSCR w 64°C, a wynikami badaniami koleinowania wg EN 12697-22 przeprowadzonymi w temperaturze 60°C [10].

6.3. PROGRAM BADAŃ

W programie badawczym przeprowadzonym przez Dział Badań i Rozwoju ORLEN Asphalt, badaniami objęto następujące lepiszcza asfaltowe:

- asfalty drogowe: 20/30, 35/50, 50/70;
- asfalty modyfikowane polimerami ORBITON: 25/55-60, 45/80-55, 45/80-65;
- asfalty wysokomodyfikowane polimerami ORBITON HIMA: 25/55-80, 45/80-80, 65/105-80.

Wykorzystane do badań lepiszcza asfaltowe zostały wybrane losowo z bieżącej produkcji, w związku z czym publikowane wyniki należy analizować z zastrzeżeniem, że nie stanowią one wartości typowych, osiąganych w ciągu całego (i każdego) sezonu produkcji. W sposób oczywisty, nie są to wartości gwarantowane przez ORLEN Asphalt sp. z o.o.

Celem programu było sprawdzenie, czy istnieje korelacja pomiędzy badaniami lepiszczy a odpornością mieszanek mineralno-asfaltowych badanych w wysokich i bardzo wysokich wartościach temperatury, tzn. w zakresie od 58°C do 70°C. W ostatnich latach zdarzały się w Polsce okresy bardzo gorącego powietrza w lecie, co przekładało się na powstawanie kolein. Oznacza to także, że stosowane powszechnie badanie kontrolne odporności na koleinowanie mma w 60°C może okazać się niewystarczające w kontekście ekstremalnych zjawisk pogodowych. Dlatego też zdecydowano o wykonaniu dodatkowych badań koleinowania w 70°C.

6.3.1. BADANIE WŁAŚCIWOŚCI ASFALTÓW W WYSOKIEJ TEMPERATURZE EKSPLOATACJI

W pierwszym etapie programu badawczego przeprowadzono badania właściwości asfaltów w wysokiej temperaturze eksploatacji dwoma sposobami:

1. wg standardów europejskich – metoda pomiaru temperatury mięknięcia PiK, wg PN-EN 1427
2. wg metodyki amerykańskiej – test MSCR, wg ASTM D 7405-10a

Test MSCR wykonano przy użyciu reometru dynamicznego ścinania: MCR 102 firmy Anton Paar z oprogramowaniem Rheoplus (rys. 6.1.). Zastosowany zakres temperaturowy: 58°C, 64°C i 70°C.

Wszystkie próbki asfaltów przed badaniem MSCR zostały poddane starzeniu metodą RTFOT wg PN-EN 12607-1.

6.3.2. BADANIE ODPORNOŚCI MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH NA KOLEINOWANIE

W drugiej części pracy badawczej wykonano badania odporności na koleinowanie mieszanek mineralno-asfaltowych, zaprojektowanych z zastosowaniem tych samych lepiszczy asfaltowych, które badane były metodą PiK oraz w teście MSCR. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem małego aparatu do koleinowania, wg procedury B w powietrzu, zgodnie z normą PN-EN 12697-22 [14], w temperaturze 60°C i 70°C. Mieszanka mineralno-asfaltowa została poddana starzeniu krótkoterminowemu (2h 135±5°C) wg procedury zawartej w załączniku 2 do WT-2 2014.

Do badań wykorzystano mieszankę betonu asfaltowego AC 16 S do warstwy ścieralnej, o następujących parametrach:

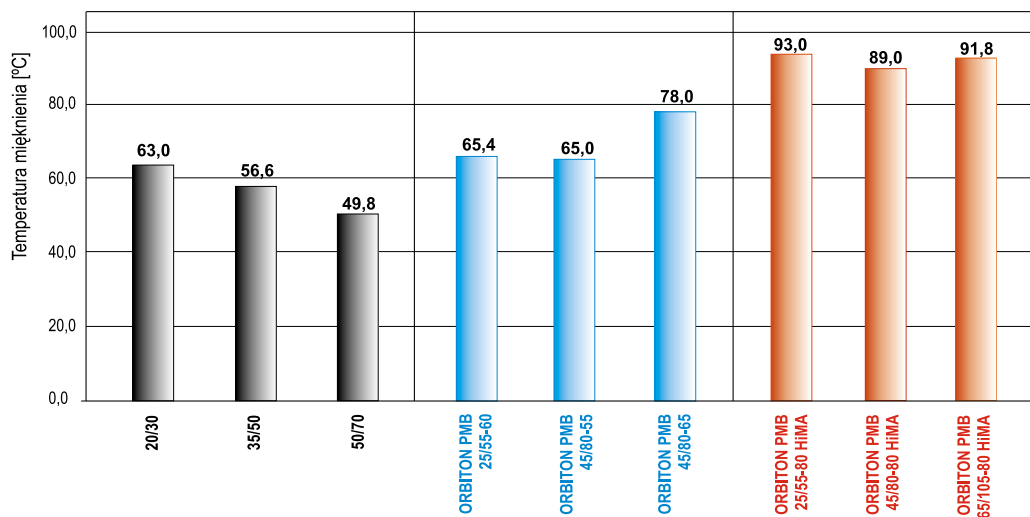
- Zawartość asfaltu – 5,6% (ilość taka sama we wszystkich badanych mieszankach, niezależnie od rodzaju lepiszcza asfaltowego)
- Taka sama mieszanka mineralna (kruszywa i uziarnienie)
- Zawartość wolnych przestrzeni w mieszance asfaltowej $V_m = 2,2\%$ v/v
- Zawartość wolnych przestrzeni wypełnionych lepiszczem VFB = 85,8 %
- Gęstość objętościowa $\rho_{bssd} = 2,421$ [Mg/m³]

W mieszance AC 16 S zastosowano nieco zawyżoną ilość lepiszcza (5,6%) w celu umożliwienia porównania szerokiego spektrum lepiszczy asfaltowych – od bardzo twardego 20/30 do bardzo miękkiego 50/70. Zastosowanie bardziej „suchej” mieszanki, spowodowałoby skumulowanie wyników wszystkich twardych lepiszczy w bardzo wąskim przedziale parametru WTS_{AIR} .

6.4. WYNIKI BADAŃ

6.4.1. TEMPERATURA MIĘKNIENIA

Rysunek 6.2. przedstawia wyniki badania temperatury mięknięcia PiK, wg PN-EN 1427, dla wszystkich wykorzystanych w programie lepiszczy asfaltowych.

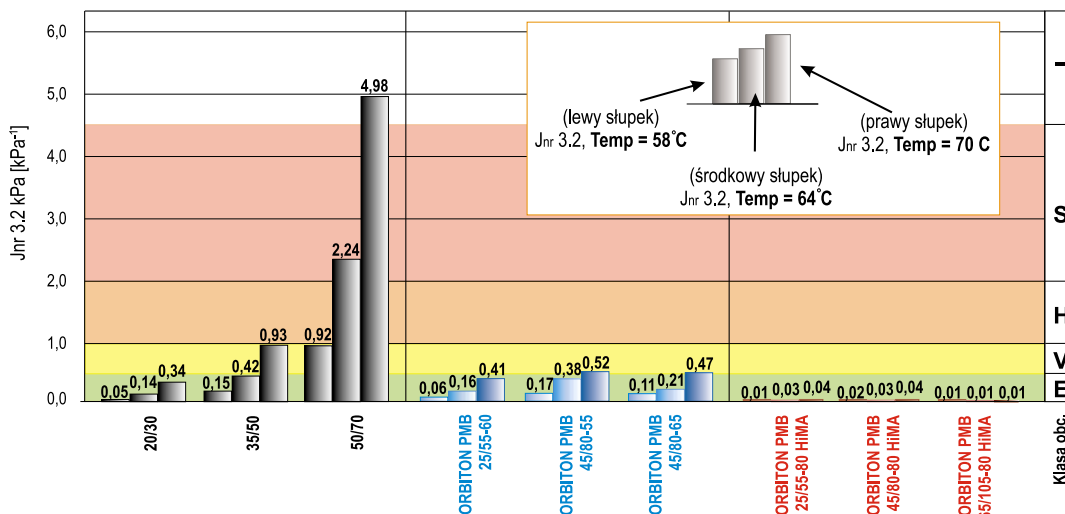


Rys. 6.2. Prezentacja wyników temperatury mięknięcia dla badanych asfaltów [badania własne ORLEN Asphalt]

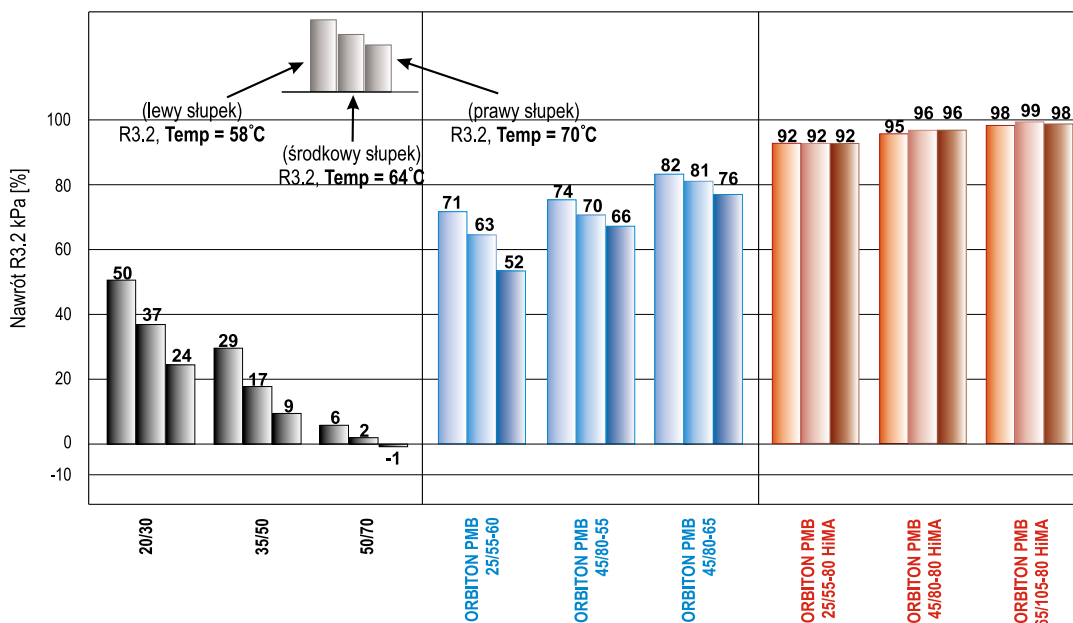
W kontekście zapewnienia dobrej odporności na koleinowanie mma, korzystna jest wyższa wartość temperatury mięknięcia. Należy mieć jednak na uwadze, że o ile dla asfaltów drogowych (niemodyfikowanych) wyższa temperatura mięknięcia oznacza także wyższą lepkość lepiszcza i co za tym idzie lepszą odporność na koleinowanie, o tyle dla asfaltów modyfikowanych (klasycznych i HiMA) temperatura mięknięcia jest już nieporównywalna. Stosowane są różnej twardości asfalty bazowe, różne zawartości i rodzaje polimerów, co finalnie sprawia, że nawet lepiszcza o takiej samej wartości temperatury mięknięcia PiK mogą charakteryzować się zupełnie odmiennymi właściwościami.

6.4.2. TEST MSCR

Na rysunkach 6.3. oraz 6.4. przedstawiono odpowiednio porównanie parametru J_{nr} oraz nawrotu R dla lepiszczy asfaltowych zbadanych metodą MSCR w temperaturze: 58°C, 64°C i 70°C.



Rys. 6.3. Prezentacja wyników parametru J_{nr} przy obciążeniu 3.2 kPa w temperaturze 58°C (lewy słupek), 64°C (środkowy słupek) i 70°C (prawy słupek), dla badanych asfaltów [badania własne ORLEN Asphalt].
Interpretacja wykresu: mniejsza wartość J_{nr} 3.2 = lepiej



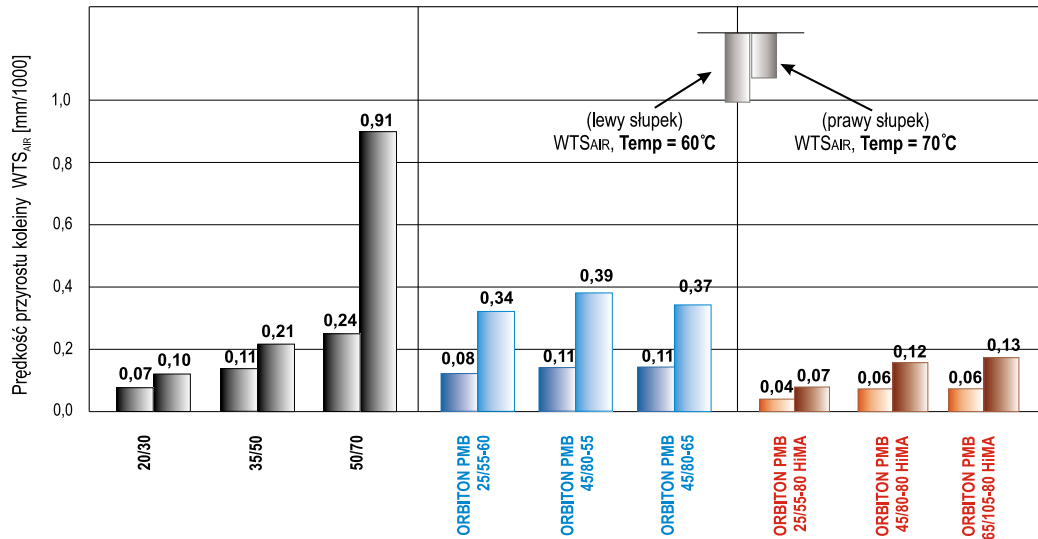
Rys. 6.4. Prezentacja wyników nawrotu R przy obciążeniu 3.2 kPa w temperaturze 58°C (lewy słupek), 64°C (środkowy słupek) i 70°C (prawy słupek), dla badanych asfaltów [badania własne ORLEN Asphalt].
Interpretacja wykresu: większa wartość R 3.2 = lepiej

Przedstawione wyniki testu MSCR w coraz wyższej temperaturze wyraźnie wskazują na dość dużą wrażliwość lepischer asfaltowych na ekstremalnie wysoką temperaturę. Na podstawie zmian wartości parametru J_{nr} 3.2 kPa należy zauważyć, że przy wzroście temperatury nawierzchni z 58°C na 70°C, dla niektórych powszechnie stosowanych lepischer może nastąpić zmiana jego przydatności do danej kategorii ruchu – w kierunku mniejszych obciążeń (szczegółowy opis klasyfikacji lepischer asfaltowych w systemie *Performance Grade* przedstawiono w rozdziale 4.). W konsekwencji może przyczynić się to do powstania kolein w momencie znaczącego wzrostu temperatury nawierzchni, w szczególności warstwy ścieralnej. Najlepszym przykładem może być asfalt drogowy 50/70, który w temperaturze badania 58°C sklasyfikowany został do ruchu bardzo ciężkiego, w 64°C do ruchu standardowego,

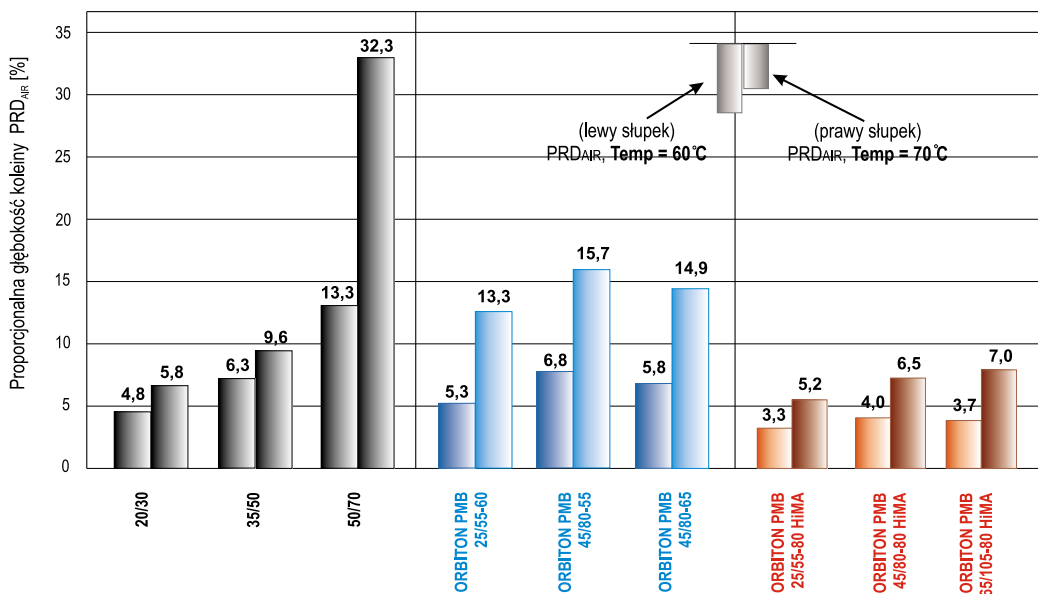
natomiast w 70°C wypadł poza klasyfikację ($J_{nr} \geq 4,5$). Podsumowując, najbardziej wrażliwe na podwyższanie temperatury są asfalty drogowe. Asfalty modyfikowane charakteryzują się lepszymi właściwościami niż asfalty drogowe, z wyjątkiem 20/30. **Na szczególną uwagę zasługują asfalty wysokomodyfikowane typu HiMA, których wyniki wskazują na bardzo dobre właściwości funkcjonalne, nawet w temperaturze 70°C.**

6.4.3. WYNIKI BADANIA ODPORNOŚCI MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH NA KOLEINOWANIE

Otrzymane wyniki badania koleinowania – parametry WTS_{AIR} i PRD_{AIR} przedstawiono na rysunkach 6.5. oraz 6.6.



Rys. 6.5. Prezentacja wyników badania odporności mieszanki AC 16 S na koleinowanie, parametr WTS_{AIR} [badania własne ORLEN Asfalt]. Interpretacja wykresu: mniej = lepiej



Rys. 6.6. Prezentacja wyników badania odporności mieszanki AC 16 S na koleinowanie, parametr PRD_{AIR} [badania własne ORLEN Asfalt]. Interpretacja wykresu: mniej = lepiej

Zgodnie z oczekiwaniami, na podstawie powyższych wykresów można zauważyć zależność pomiędzy wynikami parametrów koleinowania a twardością i lepkością wykorzystanych lepiszczy drogowych (niemodyfikowanych). Stosowanie twardych asfaltów, takich jak: asfalt drogowy 20/30 czy 35/50 pozwala uzyskać dobrą odporność na deformacje trwałe. Niestety w sytuacji zastosowania tak twardych lepiszczy do poszczególnych warstw nawierzchni, będą one charakteryzować się zmniejszoną elastycznością, a podczas spadku temperatury zwiększoną wartością skurczów niskotemperaturowych, co w konsekwencji może doprowadzić do powstawania spękań nawierzchni zimą. Tak sztywne lepiszcza nie powinny być więc stosowane w warstwach ścieralnych, które w większym stopniu narażone są na wahania temperatury czy działanie wody i mrozu. Uzyskanie z kolei dobrego wyniku koleinowania w mieszankach mineralno-asfaltowych z lepiszczami bardziej miękkimi typu 50/70 jest dosyć trudne. Stosowanie ich do warstw ścieralnych w nawierzchniach o większym obciążeniu ciężkim ruchem jest bardziej ryzykowne i powinno być poprzedzone badaniami odporności mma na koleinowanie.

Znacznie lepsze wyniki badań koleinowania uzyskuje się dla asfaltów modyfikowanych polimerami.

Najlepszą odporność na deformacje trwałe wykazują asfalty wysokomodyfikowane polimerami ORBITON HiMA, co jest zgodne z otrzymanymi wartościami parametrów z testu MSCR. Należy zaznaczyć również, że w przypadku zapewnienia nawierzchni odporności na koleinowanie wartość penetracji (twardość) PMB HiMA nie ma aż tak dużego znaczenia – asfalt o penetracji 25/55 charakteryzuje się zbliżoną odpornością na koleinowanie jak asfalt o penetracji 65/105.

6.4.4. KORELACJE WYNIKÓW BADAŃ ASFALTÓW Z WYNIKAMI BADAŃ KOLEINOWANIA MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH

W tabeli 6.2. zestawiono otrzymane korelacje pomiędzy wynikami badań lepiszczy asfaltowych, a wynikami badań koleinowania mieszanek mineralno-asfaltowych.

Tabela 6.2. Korelacje wyników badań lepiszczy asfaltowych (temperatura mięknięcia i parametr J_{nr}) z wynikami badań koleinowania mma (WTS_{AIR} i PRD_{AIR}), współczynniki determinacji R^2 [badania własne ORLEN Asphalt]

Zbadana właściwość asfaltu	Zbadana właściwość mieszanek mineralno-asfaltowych			
	PRD_{AIR} $T = 60^{\circ}C$	WTS_{AIR} $T = 60^{\circ}C$	PRD_{AIR} $T = 70^{\circ}C$	WTR_{AIR} $T = 70^{\circ}C$
Temperatura mięknięcia	$R^2 = 0,59$	$R^2 = 0,56$	$R^2 = 0,42$	$R^2 = 0,43$
J_{nr} , 3.2 kPa, Temp=58°C po RTFOT	$R^2 = 0,95$	$R^2 = 0,93$	$R^2 = 0,87$	$R^2 = 0,87$
J_{nr} , 3.2 kPa, Temp=64°C po RTFOT	$R^2 = 0,95$	$R^2 = 0,92$	$R^2 = 0,86$	$R^2 = 0,86$
J_{nr} , 3.2 kPa, Temp=70°C po RTFOT	$R^2 = 0,93$	$R^2 = 0,91$	$R^2 = 0,84$	$R^2 = 0,84$

Na podstawie analizy wyników współczynnika determinacji R^2 , przedstawionych w tabeli 6.2., można zaobserwować **bardzo dobre korelacje pomiędzy wynikami badań koleinowania mieszanek mineralno-asfaltowych, a parametrem J_{nr} 3,2 kPa uzyskiwanym w teście MSCR dla lepiszczy asfaltowych**. Oznacza to, że na podstawie wyników badania MSCR możemy z dość dużym prawdopodobieństwem przewidywać zachowanie nawierzchni w warunkach ekstremalnie wysokiej temperatury, dochodzącej nawet do 70°C (współczynnik determinacji $R^2 > 80\%$).

Korelacje uzyskane dla temperatury mięknięcia i odporności na koleinowanie mieszanek mineralno-asfaltowych są niezadowalające. Potwierdza to wspomniany w pierwszej części rozdziału brak możliwości przełożenia właściwości lepiszczy zbadanych zgodnie z PN-EN 1427 na zachowanie się nawierzchni drogowej w wysokiej temperaturze.

6.5. WNIOSKI

Główne spostrzeżenia wynikające z przeprowadzonych badań:

- Wyniki badania MSCR oraz wyniki badań koleinowania mieszanek mineralno-asfaltowych w coraz wyższej temperaturze wskazują na znaczną wrażliwość lepiszczy na wysoką temperaturę. Oznacza to, **że przypadki ekstremalnie gorącego powietrza, jakie pojawiają się w ostatnich latach, mogą w znaczący sposób przyczyniać się do powstawania kolein.**
- Stosowanie twardych asfaltów pozwala uzyskać dobrą odporność na koleinowanie, jednakże w przypadku asfaltów drogowych należy pamiętać, że są one bardziej podatne na spękania niskotemperaturowe. Tak twarde lepiszcza jak 20/30 mogą być stosowane tylko w warstwach przykrytych nawierzchni.
- Stosowanie asfaltów drogowych o penetracji 50/70 i 70/100 do warstw ścieralnych w nawierzchniach o większym obciążeniu ciężkim ruchem jest co najmniej wątpliwe i powinno być poprzedzone badaniami odporności mma na koleinowanie. W przypadku tak miękkich lepiszczy kluczowa jest umiejętność projektowania szkieletu mineralnego w mma.
- Rozwiązaniem tych problemów są **asfalty wysokomodyfikowane polimerami ORBITON HiMA, które charakteryzują się największą elastycznością oraz najlepszą odpornością na deformacje trwałe** spośród wszystkich badanych rodzajów asfaltów. Uzyskane odporności na koleinowanie mieszanek z ORBITON HiMA pozostają bardzo dobre nawet w temperaturze 70°C.
- Otrzymane korelacje wskazują na to, że **wyniki uzyskane w teście MSCR mogą być praktycznym narzędziem do oceny zachowania nawierzchni drogowej pod wpływem działania wysokiej temperatury**, stawiając tym samym na profilaktykę a nie naprawy zniszczonych konstrukcji drogowych w przyszłości. Jest to szczególnie istotne w kontekście wieloletnich gwarancji udzielanych na równość poprzeczną (koleiny) budowanych dróg. **Należy jednak zaznaczyć, że test MSCR określa tylko i wyłącznie wpływ lepiszcza asfaltowego na podatność mieszanek mineralno-asfaltowych na koleinowanie, pomija zaś rolę szkieletu mineralnego.**
- Kompletna ocena przydatności lepiszcza w obszarze trwałości nawierzchni powinna uwzględniać także badania właściwości niskotemperaturowych, odporności na zmęczenie itd.

Chcąc wprowadzić w Polsce wyniki testu MSCR jako jedno z wymagań funkcjonalnych dla lepiszczy asfaltowych, należałoby na pewno rozważyć kwestie związane ze sposobem przygotowania próbki do badań oraz wartościami temperatury i naprężenia wykorzystywanych podczas pomiaru – tak, aby dostosować metodykę wykonywania badania do warunków klimatycznych panujących w Polsce.

ROZDZIAŁ 7

PRZYLEGANIE ASFALTU DO KRUSZYW

7.1. WPROWADZENIE

Trwałość mieszanek mineralno-asfaltowych, a zarazem trwałość warstw asfaltowych nawierzchni drogowej zależy bezpośrednio od składu mieszanki i właściwości poszczególnych materiałów. Jednym z ważnych elementów składowych trwałości asfaltowych warstw ścieralnych jest trwałość powłoki z lepiszcza asfaltowego, która otacza ziarna kruszywa. W wielu metodach projektowania składu mieszanek mineralno-asfaltowych podkreśla się znaczenie właściwej grubości tej powłoki, co jest ważne między innymi ze względu na zapewnienie odpowiedniej ochrony ziaren mieszanki przed bezpośrednim działaniem wody i soli. Dzięki niej, można znacząco zwiększyć odporność warstwy ścieralnej nawierzchni asfaltowej w warunkach zimowych.

W czasie eksploatacji nawierzchni następuje starcie warstwy lepiszcza z powierzchni ziaren kruszywa na skutek wpływu różnych czynników: oddziaływania wody, środków odładzających, tarcia opon samochodowych itd. W efekcie, po usunięciu z ziaren warstwy lepiszcza, może nastąpić stopniowa degradacja odsłoniętego kruszywa (w sytuacji, gdy nie jest ono odporne na zamarzanie) i postępujące zniszczenie warstwy ścieralnej (rys. 7.1). Z drugiej strony warto przypomnieć, że zbyt gruba otoczka lepiszcza asfaltowego na powierzchni warstwy ścieralnej powoduje znane zjawisko zwane w żargonie drogowym „śliskością powykonawczą”.



Rys. 7.1. Uszkodzenia warstwy ścieralnej (fot. K. Błażejowski)

W analizowanym przypadku rozpatrywano trwałość mechanicznego przylegania powłoki z lepiszcza asfaltowego do ziaren kruszywa mieszanki mineralnej, w kontekście późniejszej trwałości nawierzchni w okresie zimowym.

W dotychczasowej praktyce drogowej koncentrowano się przede wszystkim na analizach wyników metody wg EN 12697-11 [11] – w Polsce stosowana jest metoda A z tej normy tzw. metoda obracanej butelki (ang. *rolling bottle test*). Polega ona na wizualnej ocenie procentowej powierzchni ziaren pokrytych asfaltem po określonym

czasie obracania butelki. Chociaż metoda obracanej butelki jest wymagana w krajowych wytycznych technicznych, w literaturze można znaleźć wiele krytycznych uwag co do jej przydatności przy ocenie trwałości przylegania lepischer asfaltowych do kruszywa. Przede wszystkim wątpliwy jest sam mechanizm odmywania, ponieważ na wynik badania silnie wpływa tarcie pomiędzy przesypanych ziarnami, a „odmycie” asfaltu zachodzi najczęściej na krawędziach ziaren. Liczne prace badawcze realizowane w Polsce wykazały, że występują wątpliwości w zakresie istnienia zależności pomiędzy wynikami otrzymanymi metodą obracanej butelki, a wynikami wymaganego wskaźnika ITSR (oznaczenia wrażliwości mieszanek mineralno-asfaltowych na działanie wody) [3, 4, 5]. Temat odpowiedniej metody badawczej właściwie reprezentującej trwałość przylegania asfaltu do kruszywa, zarówno w zakresie chemicznym (powinowactwo), jak i mechanicznym (zazębienie, odporność na ścieranie) jest podstawą szeregu prac i działań, między innymi w EAPA (*European Asphalt Pavement Association* – Europejskie Stowarzyszenie Nawierzchni Asfaltowych) i Eurobitume.

7.2. DLACZEGO METODA FAP?

W ramach realizowanych prac dyplomowych pod kierunkiem dr inż. Marty Wasilewskiej z Politechniki Białostockiej przy współpracy z ORLEN Asphalt Sp. z o. o. przeprowadzono program badawczy, który miał na celu określenie wpływu zastosowanych rodzajów asfaltów modyfikowanych polimerami na wybrane właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych przeznaczonych do warstwy ścieralnej nawierzchni drogowej.

Zakres badań obejmował również ocenę właściwości przeciwoślizgowych warstw ścieralnych w warunkach laboratoryjnych. Do tego celu wykorzystano urządzenie FAP (ang. *Friction After Polishing*), znane w literaturze jako urządzenie Wehner/Schulze. Urządzenie to zostało zakupione przez Politechnikę Białostocką w 2015 roku w ramach projektu INNO-EKO-TECH. Jest to jedyne tego typu stanowisko badawcze w Polsce [1].

Metoda została opracowana w Niemczech w latach 80. XX wieku przez prof. B. Wehnera i prof. K. H. Schulze. Głównym celem laboratoryjnych metod oceny właściwości przeciwoślizgowych jest weryfikacja poszczególnych materiałów oraz technologii wykonania warstw ścieralnych, aby zapobiegać śliskości nawierzchni drogowych. W rezultacie współpracy międzynarodowej w 2014 roku powstała norma EN 12697-49 [7].

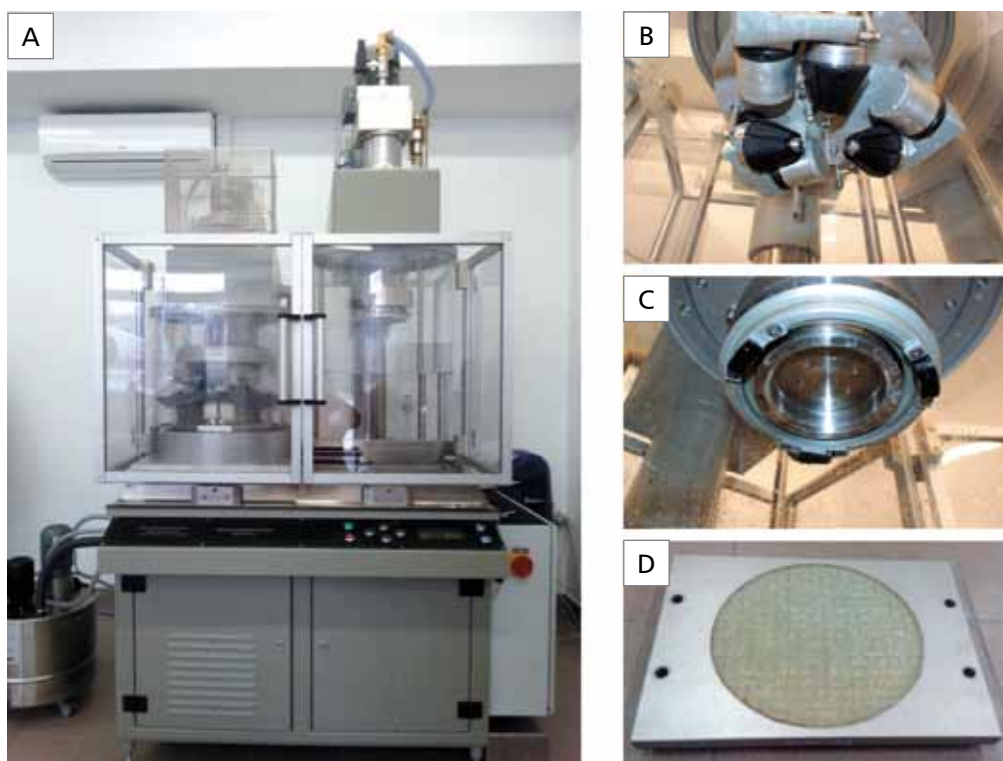
Podczas wykonywania prac w Politechnice Białostockiej okazało się, że trwałość przylegania lepischer asfaltowego do ziaren kruszywa można także określić w sposób pośredni, poprzez ocenę odporności powłoki asfaltowej na mechaniczne usuwanie jej z powierzchni ziaren. Należy zauważyć, że jest to określenie trwałości przylegania przez symulację oddziaływania opon samochodowych, w obecności wody i drobnych zanieczyszczeń mineralnych.

7.3. OPIS METODY FAP

Urządzenie FAP składa się z dwóch komór (rys. 7.2.). W pierwszej z nich symulowane jest zjawisko polerowania. Proces ten odbywa się za pomocą trzech głowic polerujących w formie stożków przy stałym dopływie wody i mączki kwarcytowej. W ten sposób symulowane jest oddziaływanie opon samochodowych na nawierzchnię. W drugiej komorze wykonywany jest pomiar współczynnika tarcia PWS podczas zatrzymania dysku z trzema ślizgaczami gumowymi. Podczas pomiaru dysk jest doprowadzany do prędkości 100 km/h. Przed jego opuszczeniem na badaną

powierzchnię wypływa woda o temperaturze 12°C w ilości 20 l/min. Po opuszczeniu dysku na powierzchnię próbki następuje pomiar współczynnika tarcia PWS przy prędkości poślizgu 60 km/h. Szczegółowa procedura i wyniki badań zostały zamieszczone w pracy [10].

Zgodnie z procedurą normową, przed rozpoczęciem badania próbki z mieszanek mineralno-asfaltowych muszą zostać poddane specjalnej obróbce strumieniowej w celu usunięcia błonki lepiszcza z kruszyw. W normie jednakże brak jest informacji o czasie wykonywania tego zabiegu. Wstępne wyniki prac wykonanych w naszym kraju wskazały, że proces mechanicznego ścierania może mieć wpływ na zmiany w kształcie ziaren kruszywa oraz w jego mikrostrukturze [10]. Aktualnie w Politechnice Białostockiej trwają prace nad opracowaniem klasyfikacji poszczególnych rozwiązań technologicznych wykonywania warstw ścieralnych pod kątem ich właściwości przeciwpoślizgowych.



Rys. 7.2. Metoda FAP – aparat Wehner-Schulze: A – widok aparatu, B – obrotowa głowica polerująca (tzw. stożki), C – głowica pomiarowa wsp. tarcia, D – płyta kalibracyjna (fot. M.Wasilewska, Politechnika Białostocka)

Dzięki zastosowaniu metody FAP możliwa jest ocena odporności na polerowanie kruszyw drogowych. Doświadczenia innych krajów pokazują, że istnieje bardzo dobra korelacja pomiędzy wynikami wskaźnika polerowalności PSV (*Polished Stone Value*) a wynikami współczynnika tarcia PWS otrzymanego na próbkach z kruszyw grubych [8].

Podczas realizacji prac związanych z oceną właściwości przeciwpoślizgowych warstw wykonanych z mieszanek mineralno-asfaltowych zauważono, że za pomocą urządzenia FAP możliwa jest ocena odporności na zjawiska zachodzące na powierzchni warstwy ścieralnej, w tym ocena trwałości warstwy lepiszcza asfaltowego na powierzchni wystających ziaren kruszywa grubego. W takim przypadku nie stosuje się obróbki strumieniowej powierzchni próbek z mieszanek mineralno-asfaltowych, a do obserwacji zmian powłoki lepiszcza zachodzących na powierzchni próbek potrzebny jest mikroskop optyczny.

7.4. PROGRAM BADAŃ

Badania wykonano na mieszance SMA 11 S, w której zastosowano następujące lepiszcza: ORBITON 45/80-55, ORBITON 45/80-65, ORBITON 45/80-80 HiMA. Wszystkie wymienione lepiszcza stosowane są do wykonywania warstw ścieralnych. Należą do grupy lepiszczy modyfikowanych polimerami wg EN 14023.

Asfalty ORBITON 45/80-55 oraz ORBITON 45/80-65 modyfikowane są klasyczną ilością polimeru SBS, natomiast ORBITON 45/80-80 HiMA należy do grupy asfaltów wysokomodyfikowanych o bardzo wysokiej zawartości polimeru (odwróconej fazie asfalt-polimer).

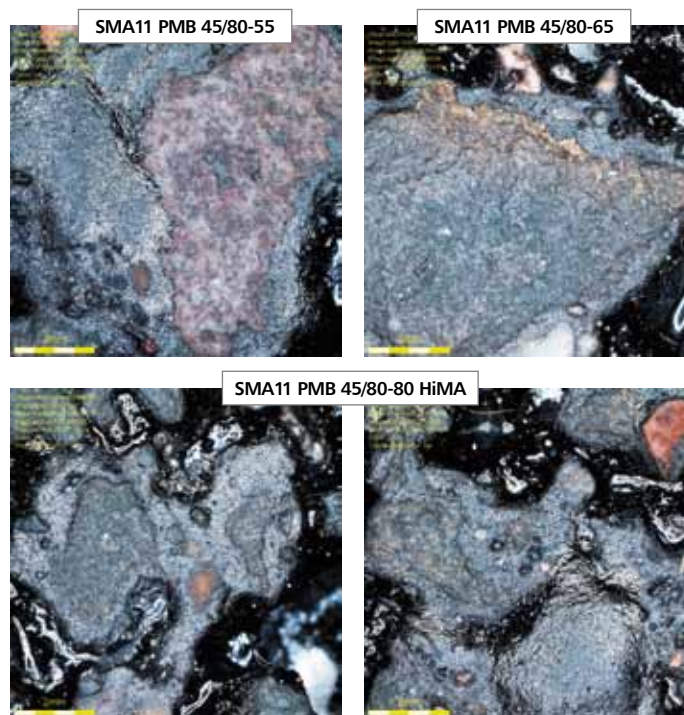
Mieszanka SMA 11 S została zaprojektowana z kruszywa melafirowego, wg WT-2 2014. Wskaźnik PSV kruszywa wynosił 52. Wszystkie mieszanki charakteryzowały się tą samą zawartością lepiszcza 6,6% m/m. Osiągnięte parametry objętościowe trzech mieszanek SMA wynosily:

- zawartość wolnych przestrzeni wg PN-EN 12697-8 = 2,3 – 3,0% v/v
- zawartość wolnych przestrzeni wypełnionych asfaltem VFB wg PN-EN 12697-8 = 83,2 – 86,5%
- zawartość wolnych przestrzeni w mieszance mineralnej VMA wg PN-EN 12697-8 = 17,2 – 17,8 % v/v

Należy zaznaczyć, że próbki z mieszanek mineralno-asfaltowych SMA11 nie były poddane mechanicznemu ścieraniu błonki asfaltowej w komorze strumieniowej, gdyż głównym celem badań było określenie wpływu rodzaju lepiszcza na zmiany współczynnika tarcia określonego w warunkach laboratoryjnych.

7.5. WYNIKI

W wyniku badań uzyskano wykres zależności współczynnika PWS od liczby cykli polerowania, w którym mieszanki SMA z ORBITON 45/80-55 oraz ORBITON 45/80-65 charakteryzowały się wyższymi wartościami PWS niż mieszanka z ORBITON 45/80-80 HiMA. Badanie powierzchni próbki, a w szczególności powierzchni odsłoniętych ziaren kruszywa w SMA 11 S wykazało przyczynę zmierzonych różnic PWS. Otóż błonka lepiszcza asfaltów modyfikowanych 45/80-55 i 45/80-65 została relatywnie szybko starta podczas polerowania głowicami gumowymi. Z kolei ziarna mieszanki SMA 11 S zawierającej ORBITON 45/80-80 HiMA, pomimo polerowania, wciąż były pokryte warstwą tego asfaltu. Porównanie otrzymanych obrazów mikroskopowych przedstawiono na rys. 7.3.



Rys. 7.3. Obrazy mikroskopowe powierzchni ziaren mieszanki SMA 11 po polerowaniu w urządzeniu Wehner-Schulze (fot. M.Wasilewska, Politechnika Białostocka) [2]

Obrazy mikroskopowe wyjaśniają, dlaczego wskaźnik PWS był niższy w przypadku SMA z ORBITON 45/80-80 HiMA – warstwa lepiszcza HiMA znacznie silniej przylega do powierzchni kruszywa i nie ulega spolerowaniu przez gumowe głowice aparatu. Trwałość przylegania jest więc znacząco silniejsza, a co za tym idzie – odporność mechaniczna na ścieranie większa niż w przypadku konwencjonalnych asfaltów modyfikowanych.

7.6. PODSUMOWANIE

Przyleganie powłoki z lepiszcza asfaltowego do kruszywa ma znaczący wpływ na trwałość nawierzchni w okresie zimowym. Na skuteczność przylegania mają wpływ nie tylko właściwości chemiczne lepiszcza asfaltowego i kruszywa (tzw. powinowactwo), ale także połączenie fizyczne materiałów (tzw. zazębienie) oraz mechaniczna trwałość otoczki z lepiszcza asfaltowego – rozumiana jako odporność na ścieranie przez opony samochodowe.

W wykonywanych badaniach metodą FAP w aparacie Wehner-Schulze okazało się, że lepiszcze wysokomodyfikowane ORBITON HiMA cechuje się znacząco większą odpornością na spolerowanie z powierzchni kruszywa w warstwie SMA, w porównaniu z klasycznymi polimeroasfaltami. Taka większa odporność ma swoje zalety przez znacząco dłuższą ochronę ziaren w SMA na działanie wody i środków chemicznych do zimowego utrzymania, co w konsekwencji zapewnia większą mrozoodporność całej warstwy ścieralnej.

Należy jednak wziąć pod uwagę także drugi aspekt tej cechy – większa odporność powłoki HiMA na spolerowanie oznacza, że aby zapewnić dobry współczynnik tarcia na powierzchni jezdni należy warstwę SMA uszorstnić przez stosowanie posypki z kruszywa (2/4 lub 2/5 lub 1/3 mm).

ROZDZIAŁ 8

DANE O LEPI SZCZACH ASFALTOWYCH DO PROJEKTOWANIA MECHANISTYCZNEGO

8.1. WPROWADZENIE

Zgodnie z polskimi przepisami technicznymi konstrukcje nawierzchni dróg przyjmuje się stosując katalogi lub projektując (wymiarując) je indywidualnie [1]. W ostatnim okresie, wraz ze wzrostem popularności przetargów w trybie „Projektuj i Buduj”, wzrosła także częstość projektowania indywidualnego związana z optymalizacją układów warstw nawierzchni.

W kwestii projektowania indywidualnego wyzwaniem pozostaje nadal zastosowanie odpowiednich danych wsadowych do obliczeń projektowych. W szczególności pojawienie się nowych i innowacyjnych lepiszczy asfaltowych, takich jak HiMA, z jednej strony otworzyło nowe możliwości, a z drugiej zwiększyło potrzebę weryfikacji wykorzystywanych danych.

W kolejnych częściach niniejszego rozdziału podano wyniki badań ORLEN Asphalt dotyczące modułów sztywności mieszanek mineralno-asfaltowych z zastosowaniem różnych lepiszczy produkowanych przez Grupę ORLEN.

8.2. MODUŁ SZTYWNOŚCI

W Polsce stosuje się kilka metod badawczych do określania wartości modułów sztywności mieszanek mineralno-asfaltowych, przede wszystkim:

- do modułu zespolonego – metodę 4PB-PR wg PN-EN 12697-26 Aneks B [2]
- do modułu sztywności sprężystej – metodę IT-CY wg PN-EN 12697-26 Aneks C [2]

W większości wymagań krajowych i specyfikacji, np. w WT-2 2014 GDDKiA [3], podaje się wyłącznie wymagania wobec zespolonego modułu sztywności dla metody 4PB-PR, przy zastosowaniu następujących parametrów badania: częstotliwość obciążenia 10 Hz, temperatura 10°C. Dla takich parametrów badania w tabeli 8.1. podano wyniki oznaczeń modułów zespolonych uzyskane z różnymi asfaltami w mieszance AC 16 W.

Metoda IT-CY jest metodą pomocniczą, stosowaną w czasie procesu projektowania mieszanek do sprawdzenia efektów zmian składu mma na wartość modułu sztywności sprężystej. Wyniki uzyskiwane metodą IT-CY są z reguły niższe niż z 4PB-PR.

Tabela 8.1. Przykładowe wyniki modułów sztywności dla mieszanki AC 16 W z różnymi lepiszczami [badania własne ORLEN Asphalt]

Lepiszczce zastosowane w mieszance mineralno-asfaltowej AC 16 W	Moduł zespolony, metoda 4PB-PR T=10°C, f=10 Hz [MPa]
20/30	13 096
35/50	11 720
50/70	10 020
ORBITON 25/55-60	11 313
ORBITON 45/80-55	9 686
ORBITON 25/55-80 HiMA	10 488
ORBITON 45/80-80 HiMA	8 799
ORBITON 65/105-80 HiMA	7 590

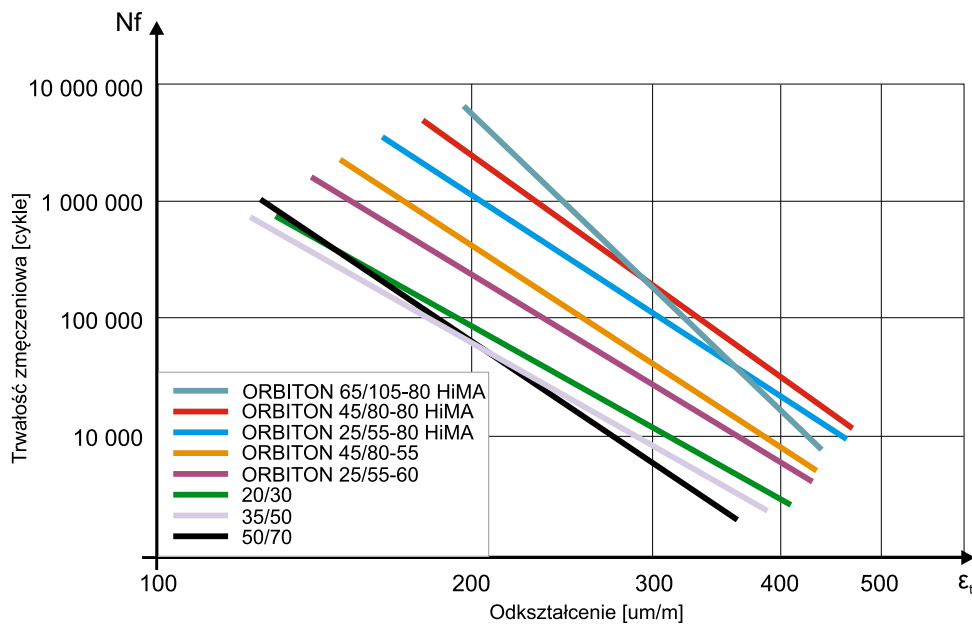
Uwaga: w tabeli 8.1. podano wyniki dla mieszanki AC 16 W, a nie dla mieszanki AC WMS. Dlatego też uzyskane wartości zespolonego modułu sztywności są niższe niż uzyskiwane typowo dla AC WMS. Najlepszym przykładem jest wynik dla AC 16 W z asfaltem drogowym 20/30 wynoszący ok. 13 000 MPa, podczas gdy dla AC 16 WMS z tym asfaltem wynik oscylowałby w granicach 16 000 MPa lub więcej.

Analizując wyniki podane w tabeli 8.1. warto zwrócić uwagę na niższe wartości modułów sztywności z asfaltami wysokomodyfikowanymi HiMA w porównaniu z pozostałymi lepiszczami. Jest to całkowicie prawidłowa zależność, ponieważ lepiszcza wysokomodyfikowane typu HiMA są lepiszczami o odwróconej fazie polimerowej. Większość ich objętości stanowi sieć elastomerowa i to ona w głównej mierze determinuje właściwości asfaltów typu HiMA. Cechą charakterystyczną każdej sieci polimerowej z elastomeru SBS jest zwiększanie elastyczności asfaltów modyfikowanych, co ma swoje konsekwencje w zakresie obniżenia modułów sztywności – zwyczajowo są one niższe w pośrednich i niskich wartościach temperatury. Ponieważ badania modułu zespolonego dla AC WMS wykonuje się metodą 4PB-PR w temperaturze 10°C, nie jest możliwe w łatwy sposób uzyskanie wysokich wartości sztywności mieszanki AC z PMB HiMA.

W dotychczasowych doświadczeniach z asfaltami wysokomodyfikowanymi, wymagania dla AC P WMS klasy 1 = 16 000 MPa okazały się nieosiągalne, z kolei wymagania klasy 2 = 14 000 MPa są osiągalne, ale niezwykle rzadko. Wymaganie $S_{min} = 11\ 000$ MPa dla warstwy wiążącej (wg WT-2 cz.1. 2014) jest do osiągnięcia, ale tylko dla ORBITON 25/55-80 HiMA i to także w specyficznych układach materiałowych. Pewien pogląd na możliwości uzyskania modułów sztywności mma dają dane z tabeli 8.1., uzyskane dla mieszanki AC 16 W (nie jest to AC WMS), z których jednoznacznie wynika, że zastosowanie ORBITON HiMA skutkuje znacznie niższymi modułami sztywności mieszanek mineralno-asfaltowych.

Mimo, że mieszanki z ORBITON 25/55-80 HiMA charakteryzują się najwyższą sztywnością spośród całej grupy asfaltów typu HiMA, to zgodnie z określonym w rozdziale 2. przeznaczeniem, nie ma wśród nich standardowych mieszank, w tym AC WMS.

Moduł sztywności mieszank z ORBITON HiMA nie jest tak wysoki, jak wartości sztywności uzyskiwane z lepiszczami standardowymi, co przekłada się na inny sposób pracy całej konstrukcji nawierzchni. Zastosowanie w pakiecie warstw asfaltowych lepiszczy typu HiMA o mniejszej sztywności skutkuje większymi ugięciami nawierzchni pod obciążeniem i co za tym idzie wystąpieniem większych wartości krytycznych odkształceń rozciągających w spodzie podbudowy asfaltowej. Niemniej jednak, jak widać na rys. 8.1., **zakres rezerwy wytrzymałości zmęczeniowej jest znacząco większy niż potencjalna szkoda powstała w wyniku zwiększonego odkształcenia.**



Rys. 8.1. Porównanie charakterystyk zmęczeniowych 8 mieszank AC 16 W z różnymi lepiszczami [badania własne ORLEN Asphalt]

W przypadku projektowania nawierzchni z asfaltem wysokomodyfikowanym ORBITON 45/80-80 HiMA w podziale na trzy okresy temperaturowe (-2°C, +10°C i +23°C) można wykorzystać dane z tabeli 8.2.

Tabela 8.2. Wyniki modułów sztywności dla mieszanki AC 16 W z ORBITON 45/80-80 HiMA w różnych wartościach temperatury, metoda 4PB-PR, f=10 Hz [badania własne ORLEN Asphalt]

Temperatura badania	Moduł zespolony, metoda 4PB-PR, f=10 Hz
-2°C	16 745
+10°C	8 799
+23°C	3 564

8.3. DANE DO OBLICZEŃ MODUŁÓW SZTYWNOŚCI MMA NA PODSTAWIE WYNIKÓW BADAŃ ASFALTÓW

Do obliczeń wartości modułów sztywności lepiszczu asfaltowych i dalej sztywności mieszanek mineralno-asfaltowych, przy wykorzystaniu programów komputerowych, można stosować dane podane w rozdziale 3. lub średnie wieloletnie zamieszczone przez ORLEN Asphalt na stronie internetowej, w zakładce „Dla laboratoriów”.

Uwaga: w celu uwzględnienia statystycznej zmienności właściwości asfaltów w projektowaniu mechanicznym konstrukcji nawierzchni asfaltowych należy uwzględnić odchylenia standardowe przy określaniu finalnej wartości danej cechy asfaltu.

12,4 mln ton

– tyle asfaltu sprzedała Grupa Kapitałowa ORLEN Asphalt od początku istnienia.

Ta ilość wystarczy do przygotowania warstwy ścieralnej na drogę jednopasmową, która okrąży

Równik aż 8 razy

– 320 600 km

x8



Jako pierwsi wdrożyliśmy w Polsce **technologię asfaltów wysokomodyfikowanych**

2011

– Rozpoczęcie prac badawczych

2014

Wprowadzenie **ORBITON HiMA** do oferty produktowej ORLEN Asphalt

2013

Pierwszy w Polsce odcinek doświadczalny nawierzchni drogowej z zastosowaniem asfaltu wysokomodyfikowanego

ORBITON HiMA

ORBITON HiMA

– najbardziej innowacyjny produkt na rynku

CZĘŚĆ III

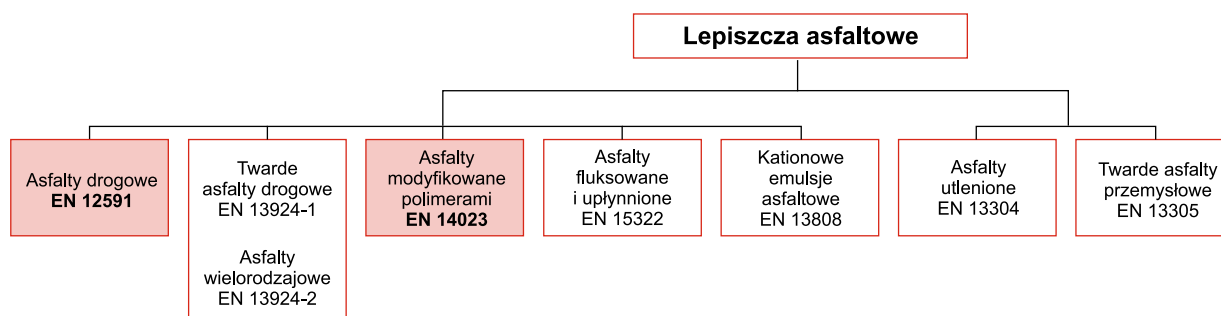
INFORMACJE TECHNICZNE



ROZDZIAŁ 9

OMÓWIENIE NORM PN-EN 12591 ORAZ PN-EN 14023

Produkowane przez Grupę ORLEN (instalacje w Płocku i w Trzebini) asfalty drogowe oraz modyfikowane polimerami spełniają wymagania norm polskich, odpowiednio **PN-EN 12591** oraz **PN-EN 14023** [1, 2]. Wymienione normy są częścią pakietu norm europejskich dotyczących lepiszczy asfaltowych (rys. 9.1.).



Rys. 9.1. Przyporządkowanie norm europejskich do różnych rodzajów lepiszczy.
Kolorem zostały oznaczone omawiane normy

W rozdziale tym omówiono informacje zawarte w PN-EN 12591:2010 i PN-EN 14023:2011 oraz krótko opisano zmiany znajdujące się w projekcie Normy Europejskiej do asfaltów drogowych z 2017 roku.

9.1. OMÓWIENIE NORM PN-EN 12591 ORAZ PN-EN 14023

Normy PN-EN 12591 i PN-EN 14023 są normami mandatowymi tzn. opracowanymi na podstawie mandatu, tj. Zlecenia Komisji Europejskiej dla CEN (*European Committee for Standardization* – Europejski Komitet Normalizacyjny). Początkowo normy te wspierały zasadnicze wymagania dyrektywy UE Wyroby Budowlane 89/106/EEC (*EU Construction Products Directive CPD 89/106/EEC*), którą uchylono z dniem 30.06.2013 roku. Od dnia 1.07.2013 r., wyroby budowlane – w tym także lepiszcza asfaltowe, objęte zostały Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady UE nr 305/2011 (CPR), które ustanawia zharmonizowane warunki wprowadzania ich do obrotu na rynek.

Normy PN-EN 12591:2010 oraz PN-EN 14023:2011 zawierają zasady wyboru właściwości i odpowiadające im metody badań, a także zakresy wymagań dla asfaltów przeznaczonych do budowy i utrzymania dróg, lotnisk i innych nawierzchni przeznaczonych do ruchu kołowego oraz zawierają pełne wymagania odnośnie oceny zgodności.

Norma **PN-EN 12591:2010** (EN 12591:2009) dla asfaltów drogowych jest normą częściowo klasyfikacyjną, tzn. większość wymagań dotycząca asfaltów jest stała, a tylko dla kilku pozostawiono swobodę wyboru krajom członkowskim CEN. Obecnie stosowana wersja normy EN (z 2009 r.) odnosi się do starych zasad wg dyrektywy CPD. Od kilku lat trwają jednak działania związane z nowelizacją normy, która zmieni te zasady na wymagania zgodne z CPR. Projekt prEN 12591 ukazał się w 2017 (patrz. pkt. 9.2.) [3].

Grupa ORLEN produkuje asfalty drogowe zgodnie z wymaganiami aktualnej normy europejskiej PN-EN 12591 od 2010 roku.

Norma PN-EN 14023:2011 (EN 14023:2010) dla asfaltów modyfikowanych polimerami, w odróżnieniu od większości zapisów PN-EN 12591, nie jest typową normą ustalającą sztywne wymagania wobec poszczególnych rodzajów asfaltów, ale jest normą klasyfikacyjną. Klasyfikacyjną, tzn. zawierającą zestaw właściwości i przypisanego do nich szeregu różnych poziomów wymagań. 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 wszystkich asfaltów modyfikowanych polimerami;
- **Tablica 2** – właściwości powiązane z przepisami prawnymi lub innymi warunkami krajowymi;
- **Tablica 3** – dodatkowe właściwości.

Asfalty modyfikowane polimerami zgodne z wymaganiami normy PN-EN 14023, produkowane są w Grupie ORLEN od marca 2011 roku.

Normy Europejskie obejmujące wymagania dla lepiszczy asfaltowych zakładają, że każdy kraj członkowski CEN dokona wyboru właściwości i przypisanych do nich poziomów wymagań w postaci opracowania tzw. Dokumentów Aplikacyjnych do omawianych norm (patrz. pkt. 9.1.2.).

Wymagania dla asfaltów wysokomodyfikowanych, zostały zawarte w wydanym przez Polski Komitet Normalizacyjny Załączniku Krajowym NA do normy PN-EN 14023:2011, opublikowanym poprawką Ap1:2014-04, w kwietniu 2014.

9.1.1. SYSTEMATYKA OZNACZANIA ASFALTÓW DO CELÓW DROGOWYCH

W tabeli 9.1. przedstawiono systematykę oznaczania lepiszczy asfaltowych produkowanych w oparciu o wymagania Norm Europejskich EN 12591 (asfalty drogowe) oraz EN 14023 (asfalty modyfikowane oraz wysokomodyfikowane polimerami).

Tabela 9.1. Systematyka oznaczania asfaltów drogowych, modyfikowanych polimerami oraz wysokomodyfikowanych polimerami produkowanych zgodnie z Normami Europejskimi EN 12591 oraz EN 14023

Lepiszcze asfaltowe	Asfalt drogowy	Asfalt modyfikowany	Asfalt wysokomodyfikowany
Dokument odniesienia	PN-EN 12591:2010	PN-EN 14023:2011	PN-EN 14023:2011
Oznaczenie normowe lepiszcza asfaltowego	XX/YY	PMB X/Y-Z	PMB X/Y-Z
Rodzaj lepiszcza asfaltowego produkowanego przez Grupę ORLEN (Płock, Trzebinia)	20/30, 35/50, 50/70, 70/100, 100/150, 160/220	ORBITON 10/40-65 ORBITON 25/55-60 ORBITON 45/80-55 ORBITON 45/80-65 ORBITON 65/105-60	ORBITON 25/55-80 HiMA ORBITON 45/80-80 HiMA ORBITON 65/105-80 HiMA
<p>Objaśnienia do oznaczeń:</p> <p>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] X – dolna granica penetracji w 25°C danego rodzaju asfaltu modyfikowanego polimerami [0,1 mm] Y – górna granica penetracji w 25°C danego rodzaju asfaltu modyfikowanego polimerami [0,1 mm] Z – dolna granica temperatury mięknięcia (PIK) danego rodzaju asfaltu modyfikowanego polimerami [°C] PMB – skrót pochodzi od „<i>polymer modified bitumen</i>” (zazwyczaj zastępowany nazwą handlową producenta asfaltu)</p>			

9.1.2. KRAJOWE DOKUMENTY APLIKACYJNE

Kraje członkowskie CEN opracowują tzw. Dokumenty Aplikacyjne w postaci „Załączników Krajowych” do norm, lub w postaci informacji z ustalonymi wymaganiami zamieszczonymi w odrębnych dokumentach dotyczących materiałów i technologii wykonywania nawierzchni asfaltowych. Taki sposób postępowania pozwala każdemu krajowi członkowskiemu określić własne wymagania, jakimi mają charakteryzować się lepszczka asfaltowe stosowane na jego terenie. Podyktowane jest to zróżnicowanymi warunkami klimatycznymi panującymi w różnych częściach Europy oraz wieloma innymi czynnikami technologicznymi.

W Polsce wszystkie Załączniki Krajowe do norm asfaltowych są opracowywane przez Podkomitet ds. Asfaltów (PK2) Komitetu Technicznego nr 222 Polskiego Komitetu Normalizacyjnego.

W tabeli 9.2. przedstawiono stan aktualny opracowanych norm asfaltowych, załączników krajowych jak również projektów norm.

Tabela 9.2. Stan aktualny opracowanych norm asfaltowych, załączników krajowych i projektów norm

Nazwa lepszczka	Norma EN/ Projekt EN	Norma PN-EN/ Projekt EN	Aktualny Załącznik krajowy, rok wydania	Uwagi
Asfalt drogowy	EN 12591:2009	PN-EN 12591:2010	2010	—
	prEN 12591:2017	—	—	projekt prPN-prEN 12591:2018 w przygotowaniu razem z nowym Załącznikiem Krajowym
Asfalt modyfikowany i wysokomodyfikowany polimerami	EN 14023:2010	PN-EN 14023:2011/ Ap1:2014-04	2014	—

W tabelach 9.3.-9.5. przedstawiono wymagania dotyczące lepszczki asfaltowych do stosowania w Polsce. Informacje te zebrano na podstawie danych zamieszczonych w Załącznikach Krajowych do norm PN-EN 12591:2010 oraz PN-EN 14023:2011/Ap1:2014-04.

Tabela 9.3. Wymagania dotyczące asfaltów drogowych w Polsce o penetracji od 20 × 0,1mm 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 tabeli	Penetracja w 25°C	PN-EN 1426	0,1 mm	20-30	35-50	50-70	70-100	100-150	160-220
	Temperatura mięknięcia	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 mięknięcia			≤ 8	≤ 8	≤ 9	≤ 9	≤ 10	≤ 11
	Zmiana masy* (wartość bezwzględna)	PN-EN ISO 2592	°C	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
	Temperatura zapłonu			≥ 240	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220
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 9.3. 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 – cd.

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	NR
	Lepkość dynamiczna w 60°C	PN-EN 12596	Pa • s	NR	NR	NR	NR	NR	NR
	Temperatura łamliwości Fraassa	PN-EN 12593	°C	NR	≤ -5	≤ -8	≤ -10	≤ -12	≤ -15
	Lepkość kinematyczna w 135°C	PN-EN 12595	mm ² /s	NR	NR	NR	NR	NR	NR

* zmiana masy może być wartością dodatnią lub ujemną
NR – (No Requirement) – oznacza brak wymagań dla danej właściwości

Tabela 9.4. Podział na rodzaje i wymagania wobec asfaltów modyfikowanych polimerami w Polsce wg załącznika krajowego NA do normy PN-EN 14023:2011/Ap1:2014-04

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 mięknięcia	PN-EN 1427	°C	≥ 65	5	≥ 60	6	≥ 55	7
	Siła rozciągania metodą z duktylo-metrem (rozciąganie 50 mm/min)	PN-EN 13589 PN-EN 13703	l/cm ²	≥ 2 w 10°C	6	≥ 2 w 10°C	6	≥ 3 w 5°C	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	≥ 60	7
	Wzrost temperatury mięknięcia po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 1427	°C	≤ 8	2	≤ 8	2	≤ 8	2
	Temperatura zapłonu	PN-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 mięknięcia 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 mięknięcia	PN-EN 13399 PN-EN 1427	°C	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5	2
Stabilność magazynowania – różnica penetracji	PN-EN 13399 PN-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)

Tabela 9.4. Podział na rodzaje i wymagania wobec asfaltów modyfikowanych polimerami w Polsce wg załącznika krajowego NA do normy PN-EN 14023:2011/Ap1:2014-04 – cd.

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 mięknięcia	PN-EN 1427	°C	≥ 65	5	≥ 60	6	≥ 45	9
	Siła rozciągania metodą z duktylo-metrem (rozciąganie 50 mm/min)	PN-EN 13589 PN-EN 13703	J/cm ²	≥ 2 w 10°C	6	≥ 3 w 5°C	2	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	≥ 50	5
	Wzrost temperatury mięknięcia po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 1427	°C	≤ 8	2	≤ 10	3	≤ 10	3
	Temperatura zapłonu	PN-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	3	≥ 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 mięknięcia 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 mięknięcia	PN-EN 13399 PN-EN 1427	°C	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5	2
	Stabilność magazynowania – różnica penetracji	PN-EN 13399 PN-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)

Tablica 9.5. Podział na rodzaje i wymagania wobec asfaltów wysokomodyfikowanych polimerami w Polsce wg załącznika krajowego NA, tablica NA.2 do normy PN-EN 14023:2011/Ap1:2014-04

Właściwość		Metoda badania	Jednostka	ORBITON 25/55-80 HiMA		ORBITON 45/80-80 HiMA		ORBITON 65/105-80 HiMA	
				wymaganie NA.2 2014	klasa	wymaganie NA.2 2014	klasa	wymaganie NA.2 2014	klasa
Penetracja w 25°C		PN-EN 1426	0,1 mm	od 25 do 55	3	od 45 do 80	4	od 65 do 105	3
Temperatura mięknięcia		PN-EN 1427	°C	≥ 80	2	≥ 80	2	≥ 80	2
Kohezja	Siła rozciągania metoda z duktylometrem (rozciąganie 50 mm/min)	PN-EN 13589 PN-EN 13703	J/cm ²	TBR (w 15°C)	—	TBR (w 10°C)	—	TBR (w 10°C)	—
Odporność na starzenie	Zmiana masy	PN-EN 12607-1	%	≤ 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		PN-EN ISO 2592	°C	≥ 235	3	≥ 235	3	≥ 235	3
Temperatura łamliwości		PN-EN 12593	°C	≤ -15	7	≤ -18	8	≤ -18	8
Nawrót sprężysty	w 25°C	PN-EN 13398	%	≥ 80	2	≥ 80	2	≥ 80	2
	w 10°C	PN-EN 13398	%	TBR	1	TBR	1	TBR	1
Spadek temperatury mięknięcia po badaniu wg EN 12607-1		PN-EN 1427	°C	TBR	1	TBR	1	TBR	1
Nawrót sprężysty w 25°C po badaniu wg EN 12607-1		PN-EN 13398	%	≥ 50	4	≥ 60	3	≥ 70	2
Nawrót sprężysty w 10°C po badaniu wg EN 12607-1		PN-EN 13398	%	NR	0	TBR	1	TBR	1
Stabilność magazynowania (3 dni) Różnica temperatury mięknięcia		PN-EN 13399 PN-EN 1427	°C	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5	2

* zmiana masy może być wartością dodatnią lub ujemną
 NR – No Requirement (brak wymagań)
 TBR – To Be Reported (do zadeklarowania)

9.1.3. OCENA ZGODNOŚCI

Zgodność właściwości lepiszczy drogowych z wymaganiami norm i z podanymi w nich wartościami powinna być wykazana przez:

- wykonanie wstępnego badania typu dla każdego rodzaju asfaltu,
- wdrożenie i funkcjonowanie Zakładowej Kontroli Produkcji (ZKP) (ang. *Factory Production Control – FPC*).

Normy PN-EN 12591:2010 oraz PN-EN 14023:2011 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.

Asfalty drogowe przeznaczone do budowy dróg i powierzchniowych utrwaleń oraz asfalty modyfikowane przeznaczone do budowy dróg, lotnisk i innych powierzchni przenoszących ruch kołowy zostały objęte **systemem oceny zgodności „2+”**, w którym wymagane jest, aby producent posiadał wdrożony system Zakładowej Kontroli

Produkcji potwierdzony Certyfikatem ZKP. Certyfikat powinien być wystawiony przez jednostkę notyfikowaną. Numery Certyfikatów ZKP dla ośrodków produkcyjnych w Płocku (PKN ORLEN S.A.) i Trzebini zamieszczono w rozdziale 11.

Załączniki ZA do wymienionych norm zawierają ponadto procedurę oceny zgodności asfaltów, podział zadań oceny zgodności między producenta i jednostkę notyfikowaną, rozdział dotyczący certyfikatu, deklaracji zgodności (asfalty drogowe) i deklaracji właściwości użytkowych (asfalty modyfikowane) oraz oznakowania CE i etykietowania. Przykład informacji towarzyszącej oznakowaniu CE asfaltu modyfikowanego ORBITON 45/80-55 produkcji ORLEN Asphalt można znaleźć na stronie produktowej www.orbiton.pl w zakładce Norma EN 14023.

9.2. NOWELIZACJA EN 12591

Projekt normy prEN 12591 przygotowanej przez CEN ukazał się w 2017 roku. Podobnie jak poprzednia wersja normy, zawiera on zasady określania właściwości i odpowiednich metod badań asfaltów przeznaczonych do budowy i utrzymania dróg, lotnisk i innych nawierzchni przenoszących ruch kołowy. Przedstawia dodatkowo informacje odnośnie systemu oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych (AVCP – *System of Assessment and Verification of Constancy of Performance*). W projekcie uwzględniono zmiany konieczne do zapewnienia zgodności z Rozporządzeniem w sprawie wyrobów budowlanych CPR. W trakcie prac nad Poradnikiem Asfaltowym 2018, trwały również działania w Podkomitecie ds. Asfaltów KT222 PKN związane z przygotowaniem zapisów w Załączniku Krajowym NA.

Z chwilą opublikowania w 2018 roku przez Polski Komitet Normalizacyjny normy PN-EN 12591 w języku polskim wraz z załącznikiem NA, będącym krajowym dokumentem aplikacyjnym, producenci asfaltów drogowych zobowiązani będą do wprowadzenia na rynek wyrobów zgodnych z nowymi wymaganiami podanymi w Załączniku Krajowym NA.

Główne zmiany, pojawiające się w projekcie normy prEN 12591:2017, w stosunku do wersji z 2009 r. są następujące:

- uzupełnienie wymagania wobec temperatury łamliwości przed RTFOT dla asfaltu drogowego 20/30 ($\leq -2^{\circ}\text{C}$),
- usunięcie treści załącznika B i zastąpienie go nowym załącznikiem B – „Właściwości informacyjne” (ang. *„Informative properties”*),
- wprowadzenie do załącznika ZA zmian zapewniających zgodność z aktualnymi wymaganiami rozporządzenia UE dotyczącego wyrobów budowlanych 305/2011 (CPR),
- wprowadzenie możliwości stosowania alternatywnych metod badań lepkości dynamicznej w 60°C wg EN 12595 [4] oraz lepkości kinematycznej w 135°C zgodnie z EN 12596 [5] – w obu przypadkach projekt normy mówi o możliwości wykonania badania wg EN 13302 lub EN 13702 [6, 7]. Jednakże w sytuacjach spornych, metodami referencyjnymi pozostają badania wg EN 12595 oraz EN 12596.

Najbardziej istotne zmiany wprowadza załącznik B, w którym wskazane zostały nowe metody badań asfaltów drogowych tj. BBR i DSR, które będą wykorzystywane w przyszłości w ocenie ich właściwości użytkowych (więcej informacji na temat tych badań znajduje się w rozdziale 4). Zostały one określone jako „Właściwości informacyjne”, które dostawca lepiszcza powinien udostępnić jako pojedynczą wartość RV (*Reported Value* – Odnotowana Wartość). Według projektu normy, wartości te należałoby udostępniać i aktualizować, przy każdym nowym badaniu typu, a w przypadku jego braku, przynajmniej raz do roku. Dane w ten sposób zgłoszone mogą być pomocne w przygotowaniu mieszanek mieszanek-asfaltowych.

Właściwości informacyjne, które producent powinien udostępnić jako RV wskazano poniżej:

- właściwości odnoszące się do **wrażliwości temperaturowej asfaltów**, badane przy użyciu **reometru dynamicznego ścinania DSR** wg EN 14770 [8], przy częstotliwości 1,59 Hz, na próbkach lepiszczy asfaltowych po starzeniu metodą RTFOT wg EN 12607-1 [9]:
 - Temperatura [°C], w której wartość modułu zespolonego $G^* = 5$ [MPa] – T1,
 - Wartość kąta fazowego δ [°] w temperaturze T1,
 - Temperatura [°C], przy wartości modułu zespolonego $G^* = 50$ [kPa] – T2,
 - Wartość kąta fazowego δ [°] w temperaturze T2.
- właściwości dotyczące **zachowania lepiszczy asfaltowych w niskiej temperaturze**, badanych przy użyciu **reometru zginanej belki BBR** zgodnie z normą EN 14771 [10], na próbkach asfaltów poddanych wcześniej starzeniu metodą RTFOT wg EN 12607-1 oraz metodą PAV (kondycjonowanie 100°C przez 20 h \pm 10 min) wg EN 14769 [11]:
 - Temperatura [°C], przy $S = 300$ [MPa],
 - Temperatura [°C], przy parametrze $m = 0,300$.

Dodatkowe informacje dotyczące konfiguracji reometru DSR określono w prEN 12591:2017. Wyjaśnienie zapisów i wymagań oraz sposób wyznaczania powyższych temperatur w badaniu DSR i BBR zostaną przedstawione w załączniku krajowym NA do znowelizowanej normy.

W tabeli 9.6. przedstawiono wyniki wstępnych badań dodatkowych właściwości informacyjnych (RV) wymaganych w Załączniku B nowelizowanej normy prEN 12591.

Tabela 9.6. Właściwości informacyjne asfaltów wg prEN 12591:2017: T1 [°C], δ (T1) [°], T2 [°C], δ (T2) [°], T(S) [°C] oraz T(m) [°C] [badania własne ORLEN Asphalt]

Rodzaj lepiszcza	Właściwości informacyjne					
	Wrażliwość temperaturowa Asfalt po starzeniu RTFOT				Zachowanie niskotemperaturowe Asfalt po starzeniu RTFOT+PAV	
	Temperatura przy $G^* = 5$ MPa T1 [°C]	Kąt przesunięcia fazowego przy T1 δ (T1) [°]	Temperatura przy $G^* = 50$ kPa T2 [°C]	Kąt przesunięcia fazowego przy T2 δ (T2) [°]	Temperatura przy $S = 300$ MPa T(S) [°C]	Temperatura przy $m = 0,300$ T(m) [°C]
20/30	23,6	42,1	57,5	67,6	-14,8	-7,6
35/50	20,8	47,9	48,1	70,6	-15,2	-12,5
50/70	18,9	49,1	46,3	71,8	-17,4	-14,2
70/100	14,2	51,7	40,6	75,0	-18,0	-17,2
ORBITON 25/55-60	17,3	46,6	49,9	62,9	-15,1	-18,1
ORBITON 45/80-55	16,2	50,4	41,3	65,2	-19,0	-18,3
ORBITON 45/80-65	14,6	48,8	43,3	62,6	-19,1	-17,9
ORBITON 65/105-60	13,3	46,1	39,4	63,1	-20,7	-20,0
ORBITON 25/55-80 HiMA	13,9	45,6	48,1	52,5	-21,1	-18,4
ORBITON 45/80-80 HiMA	11,0	46,1	45,0	52,3	-21,7	-20,7
ORBITON 65/105-80 HiMA	8,9	50,5	38,6	57,2	-21,6	-21,8

ROZDZIAŁ 10

JAKOŚĆ DOSTAW ASFALTÓW. KONTROLA WG PN-EN ISO 4259

Każdy pomiar, bez względu na to jak starannie zostanie wykonany, obarczony jest pewnym błędem. Nie jesteśmy bowiem w stanie dokładnie zmierzyć prawdziwej wartości badanego parametru. Wielkość powstałego błędu zależy od precyzji zastosowanego przyrządu pomiarowego, jego prawidłowej kalibracji, oraz wielu innych, charakterystycznych dla danego miejsca i czasu czynników zewnętrznych. Na powstanie błędów mają także wpływ doświadczenie i kompetencje operatora oraz słabość ludzkich zmysłów, ponieważ to ludzie obsługują aparaty do wykonywania analiz.

Zdarza się czasami, że pomiędzy odbiorcą a dostawcą lepiszcza asfaltowego dochodzi do sporu o jakość dostarczonego produktu. Weźmy przykładowo wymaganie 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?

W niniejszym rozdziale omówiono szereg zagadnień związanych z właściwą interpretacją wyników otrzymanych z laboratorium oraz odniesieniem ich do wymagań odpowiedniej normy jakościowej.

10.1. KRÓTKI WSTĘP DO PRAWIDŁOWEJ INTERPRETACJI WYNIKÓW KONTROLNYCH

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) [2].

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.

10.1.1. BŁĄD I NIEPEWNOŚĆ POMIARU

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 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 [3, 9]:

- **błędy systematyczne** – są to błędy, które pozostają stałe podczas wykonywania serii pomiarów danej cechy, w takich samych warunkach (taki 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.

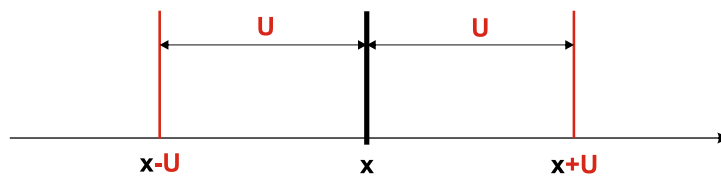
Jeżeli na wynik danego badania nałoży się kilka różnych błędów pomiarowych wówczas otrzymany wynik będzie całkowicie odbiegał od rzeczywistości.

Niepewność pomiaru jest parametrem także związanym z otrzymanym wynikiem. Charakteryzuje ona rozrzut wartości, które można przypisać do danej wielkości mierzonej [5]. 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 [5, 6]. Różne sposoby liczenia niepewności pomiaru, można znaleźć w publikacjach oznaczonych przypisami 5 i 6.

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:

$$X = x \pm U$$



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

Rys. 10.1. Graficzna interpretacja niepewności pomiaru [9]

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

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

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

gdzie:

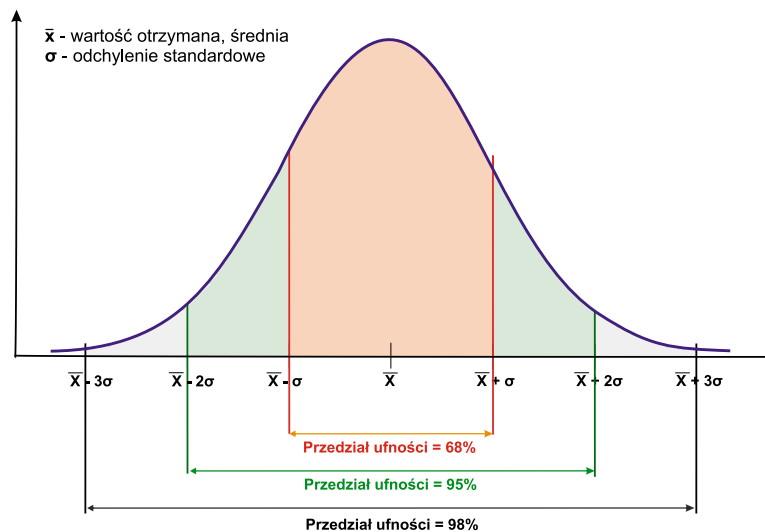
U – jest wyznaczoną niepewnością pomiaru dla danego laboratorium

p – jest przyjętym przedziałem 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.

Graficzną interpretację różnych przedziałów ufności dla rozkładu normalnego można przedstawić w następujący sposób:

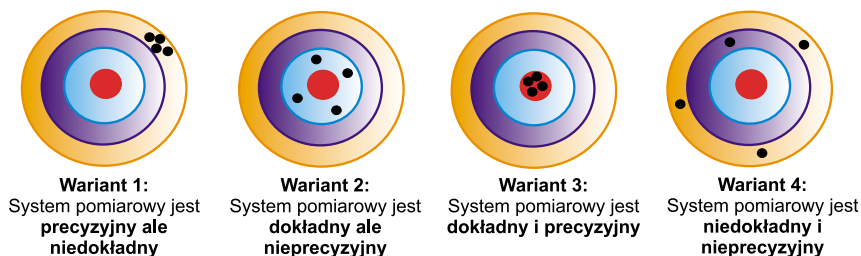


Rys. 10.2. Graficzna interpretacja różnych przedziałów ufności dla rozkładu normalnego [9]

10.1.2. PRECYZJA I DOKŁADNOŚĆ BADANIA

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. 10.3.



Rys.10.3. Graficzna interpretacja precyzji i dokładności badania

Pomiar jest uznawany za prawidłowy jeśli jest zarówno dokładny jak i precyzyjny – wariant 3 na rys. 10.3.

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. Definicję odchylenia standardowego wyjaśniono w rozdziale 3.

10.1.3. POWTARZALNOŚĆ I ODTWARZALNOŚĆ

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, odczynniki itd.).

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 podane są w odpowiednich normach czynnościowych.

Wartości powtarzalności i odtwarzalności dla parametru penetracji asfaltów drogowych, określone w normie czynnościowej oznaczania penetracji asfaltów – PN-EN 1426, przedstawiono w tabeli 10.1.:

Tabela 10.1. 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

10.2. INTERPRETACJA WYNIKÓW BADAŃ ZGODNIE Z PN-EN ISO 4259

Norma PN-EN ISO 4259 „Przetwory naftowe. Wyznaczanie i stosowanie precyzji metod badania” [10] 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 odbiorcy.

10.2.1. GRANICE CECHY

Tak jak już wcześniej napisano, w praktyce laboratoryjnej nigdy nie można dokładnie ustalić rzeczywistej wartości badanej cechy. 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 tąpliwości 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 wymaganiami jednostronnymi „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 przecież nie może być większy od 100%.

W normie PN-EN ISO 4259 górną granicę oznaczana jest jako A_1 , a dolną jako A_2 .

10.2.2. 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:

$$A_1 \geq 2 \cdot R \text{ lub } A_2 \geq 2 \cdot R$$

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 dla danej cechy muszą uwzględniać precyzję metody badawczej. W przeciwnym wypadku konflikty na styku dostawca-odbiorca będą nieuniknione.

10.2.3. OCENA WYNIKU POMIARU NA ZGODNOŚĆ ZE SPECYFIKACJĄ

W sytuacji, w której jedynym źródłem informacji o danym parametrze produktu jest pojedynczy wynik¹, 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 zwykle wynik poza dolną lub górną granicą przedziału wymagań).

Wracając do przykładu z wartością penetracji asfaltu drogowego 35/50 – rozpatrujemy sytuację, w której odbiorca otrzymał wynik badania kontrolnego z własnego laboratorium: Pen25=34 [0,1 mm].

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 Pen25=34 [0,1 mm], oznaczymy 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 więc wynik Pen25=34 [0,1 mm] jest tuż poza dolną granicą specyfikacji.

Norma na badanie penetracji lepizczy 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].

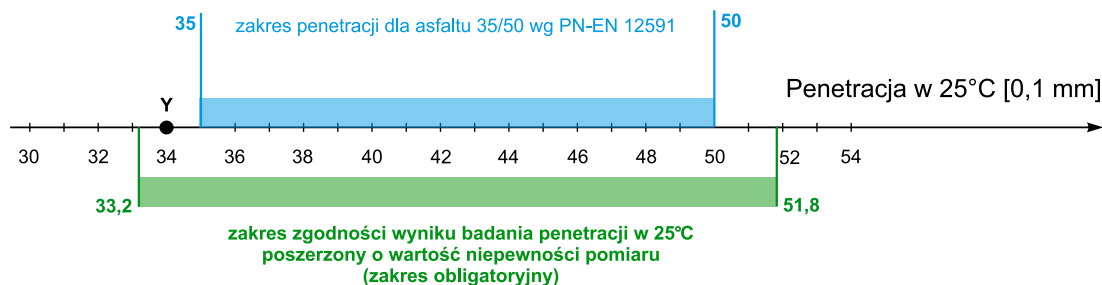
Obliczmy, czy dostawca dostarczył asfalt zgodny z normą:

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

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

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. 10.4).

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



Rys. 10.4. Ilustracja do przykładu – zakresy zgodności dla wyniku penetracji, rozszerzone o wartość niepewności pomiaru [opracowanie własne]

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

10.3. PRZYPADKI SPORNE

W przypadku, gdy odbiorca i dostawca wyrobu nie mogą się porozumieć w sprawie jakości dostarczonego produktu, należy zastosować procedurę opisaną w pkt. 10 normy PN-EN ISO 4259, który dotyczy przyjmowania i odrzucania wyników w przypadkach spornych.

Poniżej przedstawiono skrócony opis postępowania podany w normie:

1. Laboratorium odbiorcy i dostawcy powinno odrzucić swoje wcześniejsze wyniki i uzyskać posługując się własną próbką kontrolną, przynajmniej trzy nowe, możliwe do przyjęcia wyniki – uzyskane w warunkach powtarzalności metody. Jeżeli powtórzenie wyników nie umożliwia rozstrzygnięcia sporu, wówczas należy zastosować sposób postępowania opisany w pkt 10.1. oraz 10.1.1. normy PN-EN ISO 4259.
2. Laboratorium odbiorcy i dostawcy powinny porównać pomiędzy sobą sposób wykonywania danego oznaczenia oraz stosowaną aparaturę. Po takim sprawdzeniu, należy wykonać test porównawczy pomiędzy laboratoriami w oparciu o dwie, nowe próbki kontrolne. W każdym laboratorium należy obliczyć średnią arytmetyczną przynajmniej z trzech wyników otrzymanych w warunkach powtarzalności a uzyskane średnie porównać w sposób opisany w pkt 10.1. oraz 10.1.1. normy PN-EN ISO 4259.
3. Jeżeli kwestia sporna nadal nie została rozstrzygnięta, należy zaprosić trzecie laboratorium – zaakceptowane przez obie strony, do wykonania oznaczenia kontrolnego przy użyciu trzeciej próbki. Po otrzymaniu wyników z laboratorium kontrolnego, należy zastosować procedurę ich oceny opisaną w pkt 10.3.1.-10.4.2. normy PN-EN ISO 4259.
4. Wyniki otrzymane z laboratorium kontrolnego powinny być wiążące dla obydwu stron.

ROZDZIAŁ 11

BEZPIECZEŃSTWO PRACY Z ASFALTAMI I OCHRONA ŚRODOWISKA

Asfalty w postaci stałej nie są klasyfikowane jako substancje niebezpieczne, jednak 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, dostarczanych przez ORLEN Asphalt.

11.1. ASFALTY – INFORMACJE OGÓLNE

Asfalt naftowy – jest nietlonym materiałem, otrzymywanym z przerobu ciężkich frakcji ropy naftowej. Jest substancją o bardzo wysokiej lepkości lub prawie stałej konsystencji w temperaturze otoczenia. Jest wodoodporny, 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 stosowane w budownictwie drogowym są wyrobami budowlanymi, w związku z czym podlegają Rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady UE nr 305/2011 (dalej 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+, oraz utrzymywania Zakładowej Kontroli Produkcji (ZKP). Zgodnie z powyżej przytoczonymi przepisami, ORLEN Asphalt oraz PKN ORLEN posiadają wdrożony system Zakładowej Kontroli Produkcji, a ośrodki produkcyjne w Płocku i Trzebini dysponują odpowiednimi certyfikatami ZKP, wydanymi przez jednostkę notyfikowaną (Tabela 11.1.). Certyfikaty ZKP dostępne są na stronie internetowej spółki [4].

Tabela 11.1. Wykaz Certyfikatów ZKP dla Zakładów Produkcyjnych w Płocku i Trzebini

	Numer Certyfikatu ZKP dla zakładu produkcyjnego w Płocku (PKN ORLEN S.A.)	Numer Certyfikatu ZKP dla zakładu produkcyjnego w Trzebini (ORLEN Asphalt)
Asfalty drogowe	1434-CPR-0183	1434-CPR-0185
Asfalty modyfikowane polimerami ORBITON Asfalty wysokomodyfikowane polimerami ORBITON HiMA	1434-CPR-0184	1434-CPR-0186

11.2. KLASYFIKACJA ASFALTÓW ZGODNIE Z ROZPORZĄDZENIEM REACH

Rozporządzenie REACH (ang. *Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals – 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 – *European Chemicals Agency*).

Asfalty dystrybuowane przez ORLEN Asphalt zgodnie z powyższymi przepisami, zostały zarejestrowane w ECHA. Dane rejestracyjne, przedstawiono w tabeli 11.2.

Tabela. 11.2. Dane dotyczące rejestracji REACH

	Zakład produkcyjny w Płocku Producent: PKN ORLEN S.A.	Zakład produkcyjny w Trzebini Producent: ORLEN Asphalt
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

Rozporządzenie REACH, nakłada także na przedsiębiorców wymaganie dotyczące sporządzania oraz dostarczania wszystkim użytkownikom w łańcuchu dostaw aktualnych kart charakterystyki wytwarzanych przez nich substancji niebezpiecznych (MSDS – *Material Safety Data Sheet*).

Pomimo tego, że lepiszcza asfaltowe nie zostały sklasyfikowane jako substancje niebezpieczne i teoretycznie nie ma formalnego wymagania dotyczącego sporządzania kart charakterystyki, ORLEN Asphalt zgodnie z obowiązującą praktyką branżową udostępnia aktualne karty charakterystyki swoich produktów na stronie internetowej spółki [4].

11.3. KLASYFIKACJA ASFALTÓW ZGODNIE Z ROZPORZĄDZENIEM CLP

Rozporządzenie CLP (ang. *Classification, Labelling, Packaging*), dotyczy stosowania na terenie całej Unii Europejskiej jednolitego systemu klasyfikacji, pakowania i oznakowania substancji niebezpiecznych i ich mieszanin.

Zgodnie z Rozporządzeniem CLP, asfalty nie zostały sklasyfikowane jako substancje niebezpieczne, w związku z tym, wszystkie miejsca przechowywania, magazynowania oraz transportu lepiszczy asfaltowych nie muszą być oznakowane specjalnymi piktogramami, określającymi konkretne zagrożenia [5].

11.4. TRANSPORT ASFALTU ZGODNIE Z RID ORAZ ADR

Transport asfaltów podlega międzynarodowym przepisom dotyczącym przewozu substancji niebezpiecznych, w których **asfalty sklasyfikowano jako niebezpieczne z powodu wysokiej temperatury podczas transportu**. Większość produktów ORLEN Asphalt przewożona jest cysternami samochodowymi (rys.11.1.) lub kolejowymi.



Rys. 11.1. Cysterna samochodowa do przewozu asfaltu (fot. ORLEN Asphalt sp. z o.o.)

Przewóz towarów niebezpiecznych koleją odbywa się zgodnie z przepisami Regulaminu RID (z fr. *Reglement concernant le transport Internationale ferroviaire des marchandises Dangereuses*) [7].

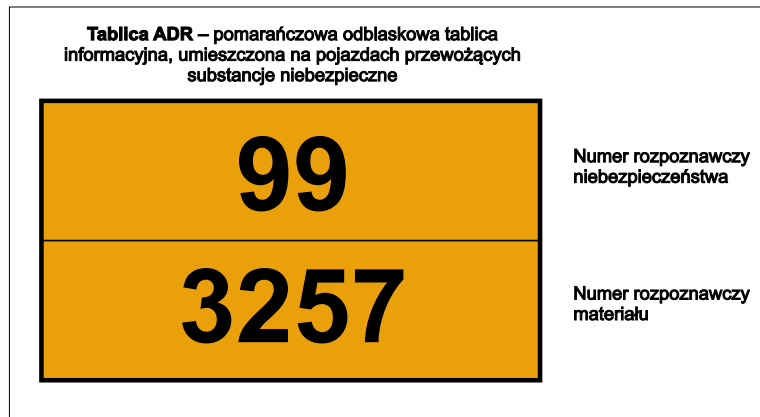
Transport drogowy substancji niebezpiecznych reguluje z kolei międzynarodowe porozumienie ADR (*L'Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route*) [6].

Zgodnie z przepisami ADR/RID, asfalty zostały sklasyfikowane w sposób przedstawiony w tabeli 11.3.

Tabela 11.3. Informacje dotyczące transportu, zgodnie z ADR/RID [6,7]

Parametr	Numer	Opis / Wyjaśnienie
Numer ONZ / Kod UN	3257	Materiał o podwyższonej temperaturze, ciekły, I.N.O.
Klasa zagrożenia w transporcie, wg ADR/RID	9	Różne materiały i przedmioty niebezpieczne
Numer identyfikacyjny zagrożenia	99	Niebezpieczeństwo gwałtownej reakcji w wyniku samoczynnego rozpadu lub polimeryzacji
Klasa pakowania	III	Materiały stwarzające małe zagrożenie

Na rys. 11.2. znajduje się schematycznie przedstawiona tablica ADR, która powinna znajdować się na wszystkich autocysternach przewożących gorący asfalt [6].



Rys. 11.2. Schemat tablicy ADR

Ponadto, na środkach transportu mogą pojawić się dodatkowe piktogramy, przedstawione na rys. 11.3a oraz 11.3 b, oznaczające kolejno: ostrzeżenie przed niebezpieczeństwem oraz ostrzeżenie przed wysoką temperaturą.



Rys. 11.3.a. Piktogram: Różne materiały i przedmioty niebezpieczne



Rys. 11.3.b. Piktogram: Oznakowanie dla materiałów o podwyższonej temperaturze

11.5. POTENCJALNE ZAGROŻENIA DLA ZDROWIA PODCZAS STOSOWANIA LEPISZCZY ASFALTOWYCH

Poniżej przedstawiono najbardziej niebezpieczne i prawdopodobne zagrożenia mogące wystąpić podczas pracy z gorącymi lepiszczami asfaltowymi.

11.5.1. OPARZENIA GORĄCYM ASFALTEM

Większość operacji technologicznych wykonywanych jest z gorącymi asfaltami. Temperatura podczas pracy z lepiszczami asfaltowymi przekracza zwykle 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. poborze próbek, rozładunku cysterny, pracach remontowych itp.), ale także podczas zdarzeń awaryjnych, takich jak: niekontrolowany wyciek gorącego asfaltu na skutek rozszczelnienia zbiornika, pęknięcia węża załadowniczego czy nieprawidłowa praca armatury odcinającej.

Aby zminimalizować ryzyko oparzeń, należy zawsze stosować środki ochrony osobistej oraz przestrzegać procedur BHP.

Do podstawowych środków ochrony indywidualnej, które należy stosować bezwzględnie w każdej sytuacji, zalicza się:

- kask ochronny z osłoną twarzy i karku, rys. 11.4.,
- odzież i obuwie robocze,
- rękawice ochronne odporne na działanie wysokiej temperatury (uwaga: należy upewnić się, że do rękawic nie dostanie się gorący asfalt!), rys. 11.5.



Rys. 11.4. Kask ochronny z przesłoną twarzy



Rys. 11.5. Termoodporne rękawice ochronne z mankietami

Pierwsza pomoc w przypadku oparzeń:

- należy natychmiast schładzać oparzone miejsca bieżącą, zimną wodą przez co najmniej 10 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.

11.5.2. NARAŻENIE NA OPARY ASFALTÓW (MGŁA ASFALTOWA, DYMY)

Lepiszczka asfaltowe podgrzane do temperatury powyżej 100°C mogą wydzielać opary. Opary asfaltowe składają się z fazy gazowej oraz fazy aerozolowej – tzw. „niebieskie dymy”. 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 [9].

Na podstawie Rozporządzenia REACH oraz Rozporządzenia Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 23 czerwca 2014 roku [2,11] opracowano limity maksymalnego narażenia pracowników mających kontakt z oparami asfaltowymi w miejscu pracy. Dane przedstawiono w tabeli 11.4.

Tabela 11.4. Limity maksymalnego narażenia na opary asfaltów [2, 11]

Parametr	Wyjaśnienie	Dopuszczalny limit
NDS (najwyższe dopuszczalne stężenie)	Wartość średnia stężenia czynnika szkodliwego dla zdrowia, którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego dobowego i przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, nie powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia, oraz w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń	5 mg/m ³
NDSch (najwyższe dopuszczalne stężenie chwilowe)	Wartość średnia stężenia czynnika szkodliwego dla zdrowia, 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	10 mg/m ³
DNEL _{pracownik} (ang. <i>derived no-effect level</i>)	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. <i>derived no-effect level</i>)		0.6 mg/m ³ /24h
PNEC (ang. <i>predicted no-effect concentration</i>)	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

Jeżeli temperatura technologiczna na budowie jest ściśle kontrolowana w celu minimalizowania emisji oparów z asfaltu, a obszar pracy jest otwarty i dobrze wentylowany (kontrola warunków pracy), wówczas nie ma dowodów, że opary asfaltów stanowią zagrożenie dla zdrowia pracowników. Potwierdzają to wyniki badań Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem (IARC – *The International Agency for Research on Cancer*), w których nie wykazano związku pomiędzy ryzykiem powstania raka płuc a ekspozycją na opary asfaltu [10].

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.

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 zastosowanie odpowiedniego rozwiązania.

Narażenie pracowników na opary/dymy asfaltów powinno być minimalizowane poprzez stosowanie tzw. dobrych praktyk [9]:

- 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.

11.5.3. 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 z grupy WWA jest ponadto 100, lecz z uwagi na ich toksyczność, oddziaływanie na człowieka oraz ilość dostępnych informacji, najczęściej oznaczanych i badanych jest 17, z czego najsilniejsze działanie kancerogenne ma benzo(a)piren [13].

W tabeli 11.5. podano maksymalne dopuszczalne limity narażenia pracowników na WWA, w tym osobno na benzo(a)piren, zawarte w Rozporządzeniu Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 23 czerwca 2014 roku [11] oraz wyniki badań wykonanych podczas prowadzenia robót drogowych w różnych ośrodkach krajowych i zagranicznych, przeprowadzone w ramach Strategicznego Programu Rządowego pod nazwą: „Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy” [13].

Tabela 11.5. Limity maksymalnego narażenia na WWA łącznie oraz oddzielnie dla benzo(a)pirenu [11, 13]

Czynnik szkodliwy	Parametr	Dopuszczalny limit	Wyniki pomiarów*
Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne WWA	NDS (najwyższe dopuszczalne stężenie)	0,002 mg/m ³	Nie określono
Benzo(a)piren	NDS (najwyższe dopuszczalne stężenie)	0,002 mg/m ³	0,000004 – 0,0013 mg/m ³
* Wyniki pomiarów szkodliwych substancji chemicznych podczas przygotowywania mas asfaltowych oraz robót drogowych przeprowadzone w różnych ośrodkach krajowych i zagranicznych [13]			

Jak wynika z tabeli 11.5., w przeprowadzonych badaniach nie stwierdzono przekroczeń maksymalnego stężenia benzo(a)pirenu na stanowiskach pracy w budownictwie drogowym.

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 (np. dym papierosowy, zła jakość powietrza), jak również z zastosowanego podejścia metodologicznego podczas analizy składu emitowanych oparów czy niewystarczająco czułych metod analitycznych.

Wyczerpujące badania środowiska pracy, przeprowadzone przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem IARC, również nie wykazały wpływu pracy z gorącymi lepiszczami asfaltowymi na zwiększenie ryzyka zachorowania na raka [10].

Pomimo tego, zaleca się rozważę i ostrożność podczas pracy z gorącymi asfaltami oraz w miarę możliwości unikanie wdychania oparów lepiszczy asfaltowych.

11.5.4. SIARKOWODÓR

Skład elementarny lepiszczycy asfaltowych jest zróżnicowany, między innymi w zależności od natury chemicznej ropy naftowej, z której zostały one wyprodukowane (więcej informacji dotyczących natury chemicznej lepiszczycy asfaltowych znajduje się w rozdziale 1). Większość asfaltów zawiera jednak w swoim składzie elementarnym niewielką ilość 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 (nr CAS 7783-064) – jest trującym i łatwopalnym gazem, cięższym od powietrza, który może gromadzić się w niskich i zamkniętych pomieszczeniach. Typowe objawy zatrucia siarkowodorem obejmują podrażnienie oczu, mdłości, wymioty oraz zawroty i bóle głowy. Długotrwałe narażenie na stężenie H_2S powyżej 50 ppm wywołuje podrażnienie oczu, nosa, gardła i płuc. Narażenie na stężenie powyżej 500 ppm grozi śmiercią. Poziom powyżej 700 ppm powoduje utratę przytomności w ciągu kilku sekund [12].

Dlatego też, przed wejściem do opróżnionego zbiornika magazynowego asfaltu konieczne jest jego wcześniejsze wywietrzenie, następnie pozostawienie pod stałym napływem świeżego powietrza oraz obniżenie temperatury. 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 powinien posiadać osobisty czujnik wykrywający stężenie H_2S .

W przypadku zatrucia siarkowodorem lub nadmiernego narażenia na działanie oparów siarkowodoru należy [12]:

- 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.

Na otwartej przestrzeni siarkowodór w asfalcie nie stanowi zagrożenia dla zdrowia i życia człowieka, ponieważ stężenie tego gazu w oparach i dymach asfaltu jest bardzo małe.

11.5.5. POŻAR ASFALTU

Działania zapobiegawcze

Aby nie dopuścić do wybuchu pożaru w zbiornikach magazynowych, lepiszczycy asfaltowe należy przechowywać w temperaturze min. $30^{\circ}C$ poniżej ich temperatury zapłonu.

Temperatura zapłonu asfaltów drogowych, badana w tyglu otwartym metodą Clevelanda wynosi z reguły ponad $300^{\circ}C$. 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 także mogą być źródłem samozapłonu.

W przypadku 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 również do utraty deklarowanych przez producenta właściwości produktu.

Nie należy także używać otwartego ognia w bezpośredniej odległości zbiorników magazynowych, oraz podczas załadunku i rozładunku asfaltu – takie działania mogą również 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 [3].

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 więc:

- 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 Straż Pożarną,
- 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.

11.5.6. 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 bądź 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.

11.5.7. 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). **Lepiszczka asfaltowa nie została sklasyfikowana jako substancja 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 lepiszczka asfaltowa znajdująca się w mieszance mineralno-asfaltowej jest w postaci stałej i nie stwarza zagrożenia ani dla zdrowia człowieka 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 lepiszczka asfaltowa są materiałem bezpiecznym dla środowiska naturalnego.

11.5.8. INNE ZAGROŻENIA

Jednym z potencjalnych źródeł zagrożenia stosowania lepiszczki asfaltowej jest możliwość mieszania ich z innymi substancjami czy dodatkami. Takie mieszaniny mogą generować dodatkowe, nieokreślone i nieznanne 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.

ORBITON HiMA

– najbardziej innowacyjny produkt na rynku

W latach **2013 – 2017**

ORBITON HiMA

został wykorzystany do realizacji ponad

40 odcinków drogowych

ORLEN Asfalt to jeden

z wiodących dostawców asfaltów

w Europie Środkowo-Wschodniej

1,4 mln ton

aktualny rekord sprzedaży

Grupy Kapitałowej ORLEN Asfalt,

sprzedającej swoje produkty

do **30 krajów na całym świecie**

Z tej ilości asfaltu można wybudować

pełną konstrukcję autostrady

z Warszawy do Cannes – 1 866 km

1866 km

WARSZAWA

CANNES

Główną ideą asfaltów wysokomodyfikowanych jest przeciwdziałanie spękaniam nawierzchni, deformacjom trwałym (koleinom) oraz zwiększenie wytrzymałości zmęczeniowej warstw asfaltowych.



AUTORZY PORADNIKA ASFALTOWEGO

dr inż. Krzysztof Błażejowski

Absolwent Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej (1992). Autor wielu publikacji z dziedziny lepiszczy asfaltowych i nawierzchni asfaltowych. Dyrektor ds. Badań i Rozwoju w ORLEN Asphalt. Rzecznik SITK RP w dziedzinie nawierzchni drogowych.



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 Działu Badań i Rozwoju w ORLEN Asphalt.



inż. Wiktoria Baranowska

Studentka Technologii Chemicznej na Politechnice Warszawskiej. Specjalizuje się w tematyce badawczej lepiszczy asfaltowych. Główny obszar zainteresowań to właściwości wysokotemperaturowe oraz stabilność koloidalna asfaltów. Pracownik Działu Badań i Rozwoju w ORLEN Asphalt.

Dział Badań i Rozwoju (GT)

Komórka organizacyjna spółki ORLEN Asphalt. Istnieje od początku funkcjonowania firmy, 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 dostarczanych przez spółkę.

W dorobku Działu B+R są zgłoszenia patentowe, złoty medal na Międzynarodowej Wystawie Wynalazków IWIS 2007 (asfalt wielorodzajowy BITREX) oraz nagroda polskiego Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego za osiągnięcia wynalazcze (2007). W 2016 r. ORLEN Asphalt uzyskał nagrodę Lider Innowacji w konkursie Diamenty Polskiej Infrastruktury za asfalt wysokomodyfikowany ORBITON HiMA opracowany przez Dział Badań i Rozwoju.

Doradztwo techniczne dostępne jest dla Klientów spółki pod adresem email: technology@orlen-asfalt.pl oraz doradztwo.technologiczne@orlen-asfalt.pl

BIBLIOGRAFIA

ROZDZIAŁ 1 – Natura chemiczna lepiszczy asfaltowych

- [1] Gawęł I., Kalabińska M., Piłat J., *Asfalty drogowe*, WKiŁ, Wyd. 2 zmienione, Warszawa 2014
- [2] Petersen J. C., *Chemical composition of Asphalt as related to Asphalt durability*, Asphaltenes and Asphalt, Elsevier S.c, Amsterdam 2000, T.2, p. 363
- [3] Michael L., Hauquet B., Diawara B., Martin D., Planche J.C., *Asphalt study by neutronal networks. Correlation between chemical and rheological properties*. Energy&Fuel 1997, 11, p. 1188
- [4] Soenen H., Ekblad J., Lu X., Redelius P., *Isothermal Hardening in Bitumen and in Asphalt Mixes*, Proceedings of the 3rd Euroasphalt and Eurobitume Congress, Vienna, May, 2004, vol. 2, p. 1364-1375
- [5] Anderson R.M., Butler K., *The Asphalt Binder Handbook*, Asphalt Institute, MS-26 First edition, ISBN: 978-1-934154-65-6, 2011
- [6] Nikolaides A., *Highway engineering. Pavements, materials and control of quality*, Tylor&Francis Group, 2015
- [7] Linu M., Chaffin J.M., Davison R.R., Glover C.J., Bullin J.A., *Changes in Corbett fraction composition during oxidation of asphalt fraction*, Transportation Research Record 1998, 1638, p. 40
- [8] Molenaar J.M., *Polymer Modified Bitumen*, Proc. Of International Symposium Chemistry of Bitumens, Rzym 1991, T.II, p. 860
- [9] Que G., Liang W., Liu Ch., Zhang Y., *Relationship between chemical composition and performance of paving asphalt*, Proc. of International Symposium Chemistry of Bitumens, Rzym, 1991. T.II, p. 517
- [10] Błażejowski K., Wójcik-Wiśniewska M., *Poradnik Asfaltowy 2016*, ORLEN Asphalt sp. z o.o., Płock 2016
- [11] Yen T.F., *Experimental evidence leading to various structural orders of asphaltens*, Proc. International symposium chemistry of bitumens, Rzym 1991, T.I. p. 382
- [12] Dickie J.P., Yen T.F., *Macrostructures of the asphaltic fractions by various instrumental methods*, Anal. Chem. 39, p. 1847
- [13] Osowiecka B., Zieliński J., Błażejowski K., Wójcik-Wiśniewska M., *Wpływ starzenia na skład grupowy lepiszczy asfaltowych*, Przemysł chemiczny, 96/4, 2017, p. 714-718, DOI: 10.15199/62.2017.4.2
- [14] Osowiecka B., Zieliński J., Błażejowski K., Wójcik-Wiśniewska M., *Wpływ starzenia na wybrane właściwości lepiszczy asfaltowych*, Przemysł chemiczny, 96/4, 2017, p. 710-713, DOI: 10.15199/62.2017.4.1
- [15] Bishara S.W., Wilkins E., *Rapid method for the chemical analysis of Asphalt cement. Quantitive determination of naphthene aromatic and polar aromatic fractions using high performance liquid chromatography*, Transportation Research Record, 1228, p. 183
- [16] Boduszyński M.M., Chadha B.R., Szkuta-Pochopień T., *Fractionation of Romashkin asphaltenes using ion-exchange chromatography*, Fuel, 56, p. 432
- [17] Jennings P.W., Pribanic J.A., Dawson K.R., Bricca C.E., *Use of HPLC and NMR spectroscopy to characterize asphaltic materials*, Prepr. Of Divison of Petroleum Chemistry ACS, 26, p. 915
- [18] *Binder Characterization and evaluation*, T.2. Chemistry. Report SHRP-A-368
- [19] Vellut D., Jose J., Behar E., Barreau A., *Comparative ebulliometry a simple reliable technique for accurate measurement of the number average molecular weight of macromolecules*, Rev. Inst. Francais Petrole, 53, p. 839
- [20] Winniford R.S., *The evidence for association of asphaltenes in dilute solutions*, Institute of Petroleum, 49, p. 215
- [21] ASTM D 4124-01 *Standard Test Methods for Separation of Asphalt into Four Fractions*
- [22] Pfeiffer J.P., Saal R.N., *Asphaltic bitumen as colloidal stability*, Journal of Physical Chemistry, 44, p. 139
- [23] Yen T.F., *Asphaltic materials*, Encyclopedia of Polymer Science and Engineering, T.II, p. 1
- [24] Papirer E., Bourgeois C., Stiffert B., Balard H., *Chemical nature and water/oil emulsifying properties of asphaltenes*, Fuel, 77, p. 443

- [25] Dabir B., Nematy M., Mehrabi A.R., Rassamdana H., Sochimi M., *Asphalt flocculation and deposition. The molecular weight distribution*, Fuel, 75, p. 1633
- [26] Loeber L., Muller G., Morel J., Sutton O., *Bitumen in colloidal science: chemical and structural and rheological approach*, Fuel, 77, p. 1443
- [27] Donnet J.B., Ducret J., Kennel M., Papirer E., *Electron microscopic observations of the morphology of bitumens*, Fuel, 66, p. 97
- [28] Sheu E.Y., Liang H.S., Sissal S.K., Overfield R.E., *Particle size distribution of a non-interacting dispersed system studied by small-angle scattering*, Journal of Colloid Interface Science, 153, p. 399
- [29] Gaestel C., Smajda R., Lamminan K.A., *Contribution a la connaissance des propriétés des bitumes routiers*, Rev. Gen. Routes at Aerodromes, 466, p. 85
- [30] Pauli A.T., *Asphalt compatibility testing using the automated Heithaus titration test*, 212th ACS National Meeting, Orlando FL., 1996, T.41, p. 1276
- [31] Jones D.R., Youtcheff J.S., *Toward an understanding of the relationships between bitumen chemistry and pavement performance*, The SHRP bitumen research program. Proc. of International Symposium Chemistry of bitumens, Rzym 1991, T. II, p. 486
- [32] Ensley E.K., *Thermodynamisc of asphalt intermolecular interactions and asphalt aggregate interactions*, Asphaltenes and Asphalt, T.I., p. 401
- [33] PN-EN 13632 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Wzrokowa ocena zdyspergowania polimeru w asfaltach modyfikowanych polimerami*
- [34] Read J., Whiteoak D., *The Shell Bitumen Handbook*, Shell Bitumen, 2005
- [35] Richardson U., *The modern asphalt pavement*, New York, 1913
- [36] Paliukaite M., Vaitkus A., Zofka A., *Influence of Bitumen Chemical Composition and Ageing on Pavement Performance*, Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, Vol. 10(1), pp: 97-104, 2015
- [37] SHRP2 R06B, *Evaluating Applications of Field Spectroscopy Devices to Fingerprint Commonly Used Construction Material*, 2016, DOI: 10.17226/22308

ROZDZIAŁ 2 – Przeznaczenie asfaltów

- [1] Błażejowski K., Wójcik-Wiśniewska M., Baranowska W. *Asfalty wysokomodyfikowane ORBITON HiMA. Poradnik stosowania*. ORLEN Asphalt 2018
- [2] Wymagania Techniczne GDDKiA – *Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. WT-2 2014 – część I – Mieszanki mineralno-asfaltowe*
- [3] PN-EN 12697-22 – *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 22: Koleinowanie*
- [4] PN-EN 13108-9 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Wymagania – Część 9: Beton asfaltowy do ultra cienkich warstw (AUTL)*

ROZDZIAŁ 3 – Podstawowe właściwości asfaltów

- [1] Wierzbicki J., *Statystyka opisowa*. Wydawnictwo Naukowe Wydziału Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego, 2006
- [2] Kurkiewicz J., Stonawski M., *Podstawy statystyki*. Krakowskie Towarzystwo Edukacyjne Oficyna Wydawnicza AFM, Kraków 2005
- [3] Sobczyk M., *Statystyka opisowa*. Wydawnictwo C.H. BECK, 2010, str. 7-18
- [4] Zimny, *Statystyka opisowa. Materiały pomocnicze do ćwiczeń. Wydanie drugie zmienione*. Wydawnictwo PWSZ w Koninie, Konin 2010

- [5] Konieczka P., *Statystyka matematyczna – narzędzie do opracowania i interpretacji wyników pomiarów*. XX Sympozjum Analityczne w Ślesinie „Nowa aparatura – stare problemy”, MS Spektrum 2014
- [6] 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)
- [7] <http://www.statystyka-zadania.pl/wykres-pudelkowy/> (dostęp dnia: 31.01.2017)
- [8] PN-EN 1426 *Asfalty i produkty asfaltowe. Oznaczanie penetracji igłą*
- [9] PN-EN 1427 *Asfalty i produkty asfaltowe. Oznaczanie temperatury mięknięcia. Metoda Pierścieni i Kula*
- [10] PN-EN 12593 *Asfalty i produkty asfaltowe. Oznaczanie temperatury tężliwości Fraassa*
- [11] Gawęł I., Kalabińska M., Piłat J., *Asfalty drogowe*, WKiŁ, Wyd. 2 zmienione, Warszawa 2014
- [12] PN-EN 12596 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie lepkości dynamicznej metodą próżniowej kapilary*
- [13] PN-EN 13702-1 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie lepkości dynamicznej asfaltów modyfikowanych. Część 1: Metoda stożek płaszczyzna*
- [14] PN-EN 13302 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie lepkości asfaltów lepkościomierzem obrotowym*
- [15] ASTM D 4402 *Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer*
- [16] PN-EN 12595 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie lepkości kinematycznej*
- [17] PN-EN 12607-1 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie odporności na starzenie pod wpływem ciepła i powietrza. Część 1: Metoda RTFOT*
- [18] PN-EN 15326 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Pomiar gęstości i gęstości względnej. Metoda z zastosowaniem piknometru z korkiem kapilarnym*
- [19] 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*
- [20] PN-EN 12697-8 *Mieszanki mineralno-asfaltowe na gorąco. Metody badań. Część 8: Oznaczanie zawartości wolnej przestrzeni*
- [21] PN-EN 13398 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie nawrotu sprężystego asfaltów modyfikowanych*
- [22] PN-EN 13632 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Wzrokowa ocena zdyspergowania polimeru w asfaltach modyfikowanych polimerami*
- [23] PN-EN 13589 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie siły rozciągania asfaltów modyfikowanych, metoda z duktylometrem*
- [24] PN-EN 13703 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie energii odkształcenia*
- [25] Read J., Whiteoak D., *The Shell Bitumen Handbook*, Thomas Telford, 5th edition, 2003, p. 433

ROZDZIAŁ 4 – Właściwości funkcjonalne asfaltów według systemu Superpave

- [1] *Superior Performing Asphalt Pavements – Superpave: The Product of the SHRP Asphalt Research Program*, National Research Council Washington, DC 1994
- [2] U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, *Superpave Asphalt Mixture Design Workshop Workbook*, 1999
- [3] 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
- [4] 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
- [5] 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)

- [6] *Asphalt Binder Characteristics Affecting Durability Cracking*, 11th Arizona Pavements/Materials Conference, November 19-20, 2014
- [7] King G., *Viewing Cracking Through a Black Space Telescope*, WRI Pavement Performance Symposium, 2011
- [8] Rowe G.M., Sharrock M.J., *Cracking of asphalt pavements and the development of specifications with rheological measurements*, 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress, Prague 2016, DOI: 10.14311/EE.2016.215
- [9] Rowe G.M., King G.N., Anderson M., *The influence of binder rheology on the cracking of asphalt mixes on airport and highway project*, presentation, 2013
- [10] Sharma B.K., Ma J., Kunwar B., Singhvi P., Ozer H., Rajagopalan N., *Modelling the performance properties of RAS and RAP blended asphalt mixes using chemical compositional information*, Research Report No. FHWA-ICT-17-001, Illinois Center for Transportation, 2017
- [11] Anderson M., *Asphalt Aging and its Impact on the Timing of Preventive Maintenance*, 19th Annual TERRA Pavement Conference, University of Minnesota, 2015
- [12] AASHTO M 320-10 – *Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder*
- [13] PN-EN 14771:2012 – *Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Oznaczanie sztywności pełzania przy zginaniu – Reometr zginanej belki (BBR)*
- [14] AASHTO PP 42 – *Standard practice for determination of low-temperature performance grade (PG) of asphalt binders*
- [15] AASHTO T 315 – *Standard Method of Test for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)*
- [16] ASTM D7175 – *Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer*
- [17] AASHTO MP1 – *Standard specification for performance graded asphalt binder*
- [18] AASHTO TP 70 – *Standard Method of Test for Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)*
- [19] ASTM D7405 – *Standard Test Method for Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer*
- [20] Anderson R.M., *Understanding the MSCR Test and its Use in the PG Asphalt Binder Specification*, Presentation Asphalt Institute, 31 August 2011
- [21] Anderson R.M., King G.N., Hanson D.I., *Blankenship P.B. 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
- [22] AASHTO M 332 *Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test*
- [23] AASHTO T 350 – *Standard Method of Test for Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)*
- [24] Rowe, G. *Evaluation of the relationship between asphalt binder properties and non-load related cracking. Prepared discussion*. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 80, 2011, pp. 649–663

ROZDZIAŁ 5 – Technologia stosowania asfaltów

- [1] PN-EN 13108-20 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Wymagania – Część 20: Badanie typu*
- [2] 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
- [3] PN-EN 12594 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Przygotowanie próbek do badań*
- [4] PN-EN 12697-1 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 1: Zawartość lepiszcza rozpuszczalnego*

- [5] PN-EN 12697-2 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metoda badania – Część 2: Oznaczanie uziarnienia*
- [6] PN-EN 12697-4 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań – Część 4: Odzyskiwanie asfaltu – Kolumna do destylacji frakcyjnej*
- [7] PN-EN 12607-1 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Oznaczanie odporności na starzenie pod wpływem ciepła i powietrza – Część 1: Metoda RTFOT*
- [8] PN-EN 12607-2 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Oznaczanie odporności na starzenie pod wpływem ciepła i powietrza – Część 2: Metoda TFOT*
- [9] PN-EN 12607-3 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Oznaczanie odporności na starzenie pod wpływem ciepła i powietrza – Część 3: Metoda RFT*
- [10] PN-EN 14769 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Przyspieszone starzenie długoterminowe/kondycjonowanie w komorze starzenia ciśnieniowego (PAV)*
- [11] PN-EN 12697-11 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 11: Oznaczanie powinowactwa pomiędzy kruszywem i asfaltem*
- [12] PN-EN 12697-12 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 12: Określanie wrażliwości próbek asfaltowych na wodę*
- [13] WT-2 cz.1 2014 *Wymagania Techniczne GDDKiA „Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. WT-2 2014 – część I Mieszanki mineralno-asfaltowe”*
- [14] WTW BT MMA 2018 *Wytyczne Techniczne Badanie Typu Mieszanki Mineralno-asfaltowej*. ZDW w Katowicach, 2018
- [15] PN-EN 13108-21 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Wymagania – Część 21: Zakładowa kontrola produkcji*
- [16] PN-EN 1426 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Oznaczanie penetracji igłą*
- [17] PN-EN 1427 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Oznaczanie temperatury mięknięcia – Metoda Pierścieni i Kula*
- [18] PN-EN 13398 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Oznaczanie nawrotu sprężystego asfaltów modyfikowanych*
- [19] PN-EN 13302 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Oznaczanie lepkości dynamicznej lepiszczy asfaltowych lepkościomierzem obrotowym*
- [20] PN-EN 12697-18 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań-- Część 18: Splywność lepiszcza*

ROZDZIAŁ 6 – Badanie MSCR asfaltów a odporność mieszanek mineralno-asfaltowych na koleinowanie

- [1] *Superior Performing Asphalt Pavements – Superpave: The Product of the SHRP Asphalt Research Program*, National Research Council Washington, DC 1994
- [2] *AASHTO M 320 Standard Specification For Performance-Graded Asphalt Binder*
- [3] *AASHTO M 332 Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test*
- [4] D'Angelo J., *New High-Temperature Binder Specification Using Multistress Creep and Recovery*. Transportation Research Circular E-C147. Developments in Asphalt Binder Specifications. TRB, December 2010
- [5] Anderson R.M., *Understanding the MSCR Test and its Use in the PG Asphalt Binder Specification*. Presentation Asphalt Institute, 2011
- [6] *AASHTO T 350 – Standard Method of Test for Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)*
- [7] *ASTM D7405 Standard Test Method for Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer*
- [8] *EN 16659:2015 Bitumen and Bituminous Binders – Multiple Stress Creep and Recovery Test (MSCRT)*
- [9] D'Angelo J., *The Relationship of the MSCR Test to Rutting* John A. *Road Materials and Pavement Design*, Vol. 10, Iss. sup1, 2009
- [10] Błażejowski K., Dołżycki B., *The relationships between asphalt mix rutting resistance and MSCR test results*. Design, Analysis, and Asphalt Material Characterization for Road and Airfield Pavements: 2014, pp. 202-209

- [11] Laukkanen O. Soenen H. Pellinen T. Heyrman S. Lemoine G., *Creep recovery behavior of bituminous binders and its relation to asphalt mixture rutting*. Materials and Structures, 2014
- [12] Dreesen S. Gallet T., *MSCR: Performance related test method for rutting prediction of asphalt mixtures from binder rheological characteristics*. E&E2012
- [13] Golalipour A., *Modification of Multiple Stress Creep and Recovery Test Procedure and Usage in Specification*. University of Wisconsin-Madison, 2011
- [14] PN-EN 12697-22 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 22: Koleinowanie*
- [15] Robertus C., Rooijen Van R., Thimm L., *A comparison of binder tests that relate to asphalt mixture deformation*. 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress, 13-15th June 2012, Istanbul
- [16] Pszczoła M., Ryś D., Jaskuła P., *Dobór rodzaju funkcjonalnego PG asfaltów według metody Superpave w zależności od stref klimatycznych w Polsce*, Nawierzchnie asfaltowe, 2/2017 (nr 50), 4-10.
- [17] Błażejowski K., Wójcik-Wiśniewska M., Baranowska W., *High-temperature properties of bituminous binders and asphalt mixtures*, Asphaltove Vozovky Conference 2017, Czech Republic.
- [18] Błażejowski K., Wójcik-Wiśniewska M., *Poradnik Asfaltowy*. ORLEN Asphalt 2016
- [19] AASHTO MP 19: *Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder Using Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test*, AASHTO, Washington, D.C., 2010
- [20] AASHTO TP 70 *Standard Method of Test for Multiple Stress Creep Recovery (MSCR) Test of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer (DSR)*
- [21] Bernier A., Zofka A., Yut I., *Laboratory Evaluation of Rutting Susceptibility of Polymer-Modified Asphalt Mixtures Containing Recycled Pavements*, Construction and Building Materials, Vol. 31 pp: 58–66, 2012, doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.12.09

ROZDZIAŁ 7 Przyleganie asfaltu do kruszywa

- [1] Wasilewska M., Gierasimiuk P. *Urządzenie Wehner/Schulze do laboratoryjnej oceny właściwości przeciwpoślizgowych nawierzchni drogowych*. Magazyn Autostrady 6/2016
- [2] Wasilewska M., Błażejowski K., Pęczak 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
- [3] Zięba M., Witczak S., *Prawdy i mity związane z powinowactwem pomiędzy asfaltem i kruszywem oznaczonym wg PN EN 12697 11*, Budownictwo i Architektura, 13(4) /2014
- [4] Błażejowski K., Olszacki J., Peciakowski H. *Wyniki programu badawczego dotyczącego przyczepności asfaltu do kruszywa*. Prezentacja na Seminarium eSeMA 2013, Zakopane, 20-22.02.2013
- [5] Witczak S. *Powinowactwo pomiędzy kruszywem i asfaltem wg PN-EN 12697-11:2009 oraz PN-84/B-06714/22*. Prezentacja na Seminarium eSeMA 2013, Zakopane, 20-22.02.2013
- [6] Krajewski M. *Składowe wpływające na określenie wrażliwości próbek asfaltowych na wodę (ITSR). Próba rozwiązania zagadki*. Prezentacja na Seminarium eSeMA 2013, Zakopane, 20-22.02.2013
- [7] EN 12697-49:2014 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 49: Określenie tarcia po polerowaniu*
- [8] Do M.T., Tang Z., Kane M., de Larrard F.: *Pavement polishing – Development of a dedicated laboratory test and its correlation with road results*. „Wear”, No. 263, 2009, s. 36-42.
- [9] Gardziejczyk W., Wasilewska M.: *Assessment of skid resistance of asphalt mixtures in laboratory conditions*. „Archives of Civil Engineering”, nr 58 (4), 2012, s. 521-534.

- [10] Wasilewska Marta. 2017. „*Evaluation of skid resistance of wearing course made of Stone Mastic Asphalt in laboratory conditions*”. IOP Conference Series-Materials Science and Engineering 245. DOI 10.1088/1757-899X/245/2/022043
- [11] PN-EN 12697-11 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 11: Oznaczanie powinowactwa pomiędzy kruszywem i asfaltem*

ROZDZIAŁ 8 – Dane o lepiszczach asfaltowych do projektowania mechanicznego

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lutego 2015 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dz.U. 2015 poz. 329 (tekst jednolity Dz. U. z 2016 r. poz. 124 z wyj. par. 2)
- [2] PN-EN 12697-26 *Mieszanki mineralno-asfaltowe – Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco – Część 26: Sztywność*
- [3] Wymagania Techniczne GDDKiA – *Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. WT-2 2014 – część I – Mieszanki mineralno-asfaltowe*

ROZDZIAŁ 9 – Omówienie norm PN-EN 12591 oraz PN-EN 14023

- [1] PN-EN 12591:2010 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Wymagania dla asfaltów drogowych*
- [2] PN-EN 14023:2011 *Asfalty i lepiszcza asfaltowe – Zasady klasyfikacji asfaltów modyfikowanych polimerami*
- [3] prEN 12591:2017 *Bitumen and bituminous binders – Specifications for paving grade bitumens*
- [4] EN 12595 *Bitumen and bituminous binders – Determination of kinematic viscosity*
- [5] EN 12596 *Bitumen and bituminous binders. Determination of dynamic viscosity by vacuum capillary*
- [6] EN 13302 *Bitumen and bituminous binders. Determination of dynamic viscosity of bituminous binder using a rotating spindle apparatus*
- [7] EN 13702 *Bitumen and bituminous binders. Determination of dynamic viscosity of modified bitumen by cone and plate method*

ROZDZIAŁ 10 – Jakość dostaw asfaltów. Kontrola wg PN-EN ISO 4259

- [1] PN-ISO/IEC 17025 „*Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorcujących*”
- [2] Burnos P., *Analiza błędów i niepewności wyników pomiarowych*, AGH, Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki, Laboratorium Metrologii, Kraków, 2010
- [3] Cyganik P., *Podstawy analizy niepewności pomiarowych*, Zakład Fizyki Nanostruktur i Nanotechnologii, Instytut Fizyki UJ, wykład, 2008
- [4] Julius B., Piersol A., *Metody analizy i pomiaru sygnałów losowych*, Warszawa, PWN, 1976
- [5] *Wyrażanie Niepewności Pomiaru – Przewodnik*, Warszawa, Główny Urząd Miar, 1999
- [6] Kubiacyk A. *Określanie niepewności pomiarów – poradnik*, Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, Warszawa, 2015
- [7] Kuśmirek Z., Kalus-Jęcek B., *Wzorce wielkości elektrycznych i ocena niepewności pomiaru*, Łódź, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, 2006
- [8] Tumański S., *Technika Pomiarowa*, Warszawa, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, 2007
- [9] <http://centrum-metrologii.pl>
- [10] PN-EN 4259 – *Przetwory naftowe – Wyznaczanie i stosowanie precyzji metod badania*

ROZDZIAŁ 11 – 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] Raport Bezpieczeństwa Chemicznego przygotowany przez CONCAWE. Część B. „Asfalt utleniony” i „Asfalt destylacyjny”
- [4] <http://www.ornen-asfalt.pl>
- [5] 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
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Dyrektywa 2008/68/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 24 września 2008 r. w sprawie transportu lądowego towarów niebezpiecznych
- [9] <http://www.eurobitume.eu>
- [10] 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
- [11] Rozporządzenie Ministra Pracy i Polityki Społecznej z dnia 23 czerwca 2014 roku w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz.U. 2014, poz. 817)
- [12] <https://www.ciop.pl>
- [13] Pośniak M., Makhniashvili I., Kowalska J., *Wielopierścieniowe 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
- [14] Binet S., Pfohl-Leszkwicz 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, 37-49
- [15] Heikkilä P.R., Vaananen V., Hameila M., Linnainmaa K., *Mutagenicity of bitumen and asphalt fumes*, Toxicology in Vitro, 2003, 17, 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, 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, 41-50
- [18] Burgaz S., Erdem O., Karahalil B., Karakaya A.E., *Cytogenetic biomonitoring of workers exposed to bitumen fumes*, Mutation Research, 1998, 419, 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, 43-47
- [20] Boczkaj G., Kamiński M., *Badania emisji lotnych związków organicznych podczas nalewu asfaltu do autocystern oraz budowy dróg asfaltowych*, Proceedings of EC Opole, 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

NOTATKI.....

NOTATKI.....

NOTATKI.....
