

POLITECHNIKA WARSZAWSKA

WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ

Instytut Dróg i Mostów

Zespół Technologii Materiałów i Nawierzchni  
Drogowych



2011

## Weryfikacja wymagań i metod oceny właściwości lepkosprężystych krajowych asfaltów i asfaltów modyfikowanych



Zlecniodawca:

**Generalna Dyrekcja Dróg  
Krajowych i Autostrad**

Warszawa, ul. Żelazna 59

Autorzy opracowania:

Prof. dr hab. inż. Piotr Radziszewski

Prof. dr hab. inż. Jerzy Piłat

Dr inż. Jan Król

Dr inż. Karol Kowalski

Dr inż. Michał Sarnowski

Współpraca badawcza:

Dr inż. Andrzej Plewa

Mgr inż. Andrzej Łaskiewicz

Inż. Przemysław Ostrowski

Warszawa, grudzień 2011

## Spis treści

<b>1</b>	<b>WSTĘP. CEL PRACY</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>ANALIZA RYNKU PRODUCENTÓW LEPISZCZY ASFALTOWYCH W POLSCE</b> .....	<b>6</b>
2.1	Rynek asfaltów w Polsce.....	9
<b>3</b>	<b>ANALIZA WYMAGAŃ TECHNICZNYCH DLA LEPISZCZY ASFALTOWYCH PRODUKOWANYCH W POLSCE</b> .....	<b>11</b>
3.1	Analiza wymagań i klasyfikacja lepiszczy asfaltowych wg europejskich wymagań (EN) .....	11
3.2	Wymagania i klasyfikacja lepiszczy asfaltowych wg amerykańskich wymagań Superpave .....	21
<b>4</b>	<b>PROGRAM BADAŃ LEPISZCZY ASFALTOWYCH</b> .....	<b>26</b>
4.1	Metodyka badań właściwości normowych oraz właściwości reologicznych lepiszczy asfaltowych.....	26
	Badania właściwości normowych asfaltów stosowanych do mieszanek mineralno-asfaltowych przewidując wykonywanie następujących testów: .....	26
4.2	Metodyka badań nowych właściwości lepiszczy asfaltowych .....	28
4.2.1	Właściwości niskotemperaturowe - metoda badania sztywności lepiszczy asfaltowych w reometrze zginanej belki (BBR) .....	29
4.2.2	Właściwości średnio- i wysokotemperaturowe - metoda badania modułu zespolonego i kąta przesunięcia fazowego w reometrze dynamicznego ścinania (DSR).....	32
4.3	Planowanie doświadczenia .....	33
4.4	Opracowanie metody poboru próbek .....	35
<b>5</b>	<b>BADANIA NORMOWE ASFALTÓW I ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ</b> .....	<b>38</b>
5.1	Metodyka badań laboratoryjnych .....	38
5.2	Badanie penetracji.....	39
5.3	Badanie temperatury mięknięcia.....	44
5.4	Temperatura zapłonu lepiszczy asfaltowych .....	48
5.5	Badanie temperatury łamliwości lepiszczy asfaltowych .....	49
5.6	Zakres plastyczności lepiszczy asfaltowych.....	53
5.7	Indeks penetracji .....	57
5.8	Badanie nawrotu sprężystego lepiszczy asfaltowych .....	61
5.9	Badanie siły rozciągania w duktylometrze lepiszczy asfaltowych .....	65
5.10	Badanie stabilności magazynowania lepiszczy asfaltowych .....	69
<b>6</b>	<b>BADANIA REOLOGICZNE LEPISZCZY ASFALTOWYCH I BADANIE SKŁADU GRUPOWEGO. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ</b> .....	<b>69</b>
6.1	Badanie lepkości lepiszczy asfaltowych.....	69
6.2	Określenie indeksu stwardnienia lepiszczy asfaltowych .....	79
6.3	Karta Jakości Asfaltów BTDC .....	80
6.4	Badanie składu grupowego lepiszczy asfaltowych .....	96
<b>7</b>	<b>BADANIA ODPORNOŚCI LEPISZCZY ASFALTOWYCH NA STARZENIE TECHNOLOGICZNE I EKSPLOATACYJNE. BADANIE ADHEZJI. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ</b> .....	<b>101</b>
7.1	Badanie odporności lepiszczy asfaltowych na starzenie .....	101
7.2	Badanie adhezji .....	116



<b>8</b>	<b>BADANIA STRUKTURY LEPIZCZY ASFALTOWYCH NA PODSTAWIE BADAŃ W MIKROSKOPIE FLUOROSCENCYJNYM.....</b>	<b>120</b>
<b>9</b>	<b>BADANIA WŁAŚCIWOŚCI FUNKCJONALNYCH LEPIZCZY ASFALTOWYCH ZGODNIE Z SUPERPAVE .....</b>	<b>131</b>
9.1	Badanie dynamicznego ścinania DSR .....	131
9.2	Badanie sztywności pełzania BBR.....	182
9.3	Temperaturowy zakres lepkosprężystości lepiszczy asfaltowych.....	189
<b>10</b>	<b>ANALIZA METOD POMIAROWYCH STOSOWANYCH DO OCENY FUNKCJONALNYCH WŁAŚCIWOŚCI LEPIZCZY ASFALTOWYCH .....</b>	<b>191</b>
10.1	Metody badań do oceny właściwości lepiszczy w niskich temperaturach.....	191
10.2	Metody badań do oceny właściwości lepiszczy w średnich temperaturach .....	192
10.3	Metody badań do oceny właściwości lepiszczy w wysokich temperaturach .....	192
10.4	Metody badań do oceny właściwości lepiszczy w temperaturach technologicznych.....	193
10.5	Metody badań do oceny trwałości lepiszczy asfaltowych oraz składu grupowego i mikrostruktury .....	195
10.5.1	Trwałość lepiszczy asfaltowych .....	195
10.5.2	Skład grupowy.....	195
10.5.3	Mikrostruktura .....	195
<b>11</b>	<b>PROPOZYCJA WYMAGAŃ ORAZ WYTYCZNYCH DO OCENY WŁAŚCIWOŚCI FUNKCJONALNYCH LEPIZCZY STOSOWANYCH DO NAWIERZCHNI ASFALTOWYCH .....</b>	<b>195</b>
<b>12</b>	<b>WNIOSKI.....</b>	<b>198</b>
<b>13</b>	<b>LITERATURA .....</b>	<b>199</b>
<b>14</b>	<b>NORMY I DOKUMENTY TECHNICZNE.....</b>	<b>203</b>

*Praca stanowi integralną część i cząstkowe dane w niej zawarte nie mogą być interpretowane oddzielnie.*

# Weryfikacja wymagań i metod oceny właściwości lepkosprężystych krajowych asfaltów i asfaltów modyfikowanych

## 1 WSTĘP. CEL PRACY

Asfalty i mieszanki mineralno-asfaltowe są materiałami termoplastycznymi o typowo lepkosprężystych właściwościach. Są one podstawowymi materiałami stosowanymi w budowie nawierzchni asfaltowych. Podstawową funkcją jaką powinny spełniać asfalty drogowe w mieszance mineralno-asfaltowej jest trwałe otoczenie i związanie ziarn mineralnych w monolityczny kompozyt o odpowiednich właściwościach mechanicznych, niezmiennych w czasie eksploatacji nawierzchni drogowej. Spełnienie tych funkcji przez asfalt zależy od jego składu chemicznego, adhezji, kohezji oraz właściwości normowych i reologicznych.

Badania normowe nie mogą stanowić dostatecznego kryterium oceny jakości asfaltów w aspekcie ich przydatności do budowy nawierzchni asfaltowych [Reologia]. Z tego względu pełną ocenę przydatności lepiszczy asfaltowych do budowy nawierzchni można uzyskać na podstawie wyników badań reologicznych prowadzonych w szerokim zakresie temperatur użytkowych i czasu obciążenia.

Badania reologiczne prowadzone w ostatnich latach wykazały, że asfalty charakteryzują się niewystarczającym zakresem lepko sprężystości uwiadczniającym się szybkim przejściem w stan plastyczny w temperaturach dodatnich otoczenia oraz kruchością w temperaturach ujemnych. Poprawę temperaturowego zakresu lepko sprężystości można uzyskać przez modyfikację asfaltów dodatkami uszlachetniającymi. Do najczęściej stosowanych dodatków modyfikujących właściwości asfaltów stosuje się polimery w postaci elastomerów.

Niniejsze opracowanie powstało w wyniku realizacji obszernych badań lepiszczy asfaltowych prowadzonych w latach 2009 - 2011 na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad.

Przedmiotem opracowania są asfalty i asfalty modyfikowane pochodzące z polskich rafinerii dostępne na rynku polskim i stosowane powszechnie do warstw ścieralnych, wiążących i podbudów nawierzchni drogowych.

Celem projektu była analiza cech technicznych krajowych asfaltów i asfaltów modyfikowanych, weryfikacja wymagań i metod oceny ich właściwości lepkosprężystych.

Oceny właściwości asfaltów dokonano na podstawie nowoczesnej metodyki badań zgodnej z normami europejskimi oraz metodyką badań wg SHRP.

## 2 ANALIZA RYNKU PRODUCENTÓW LEPISZCZY ASFALTOWYCH W POLSCE

Polska jest dziewiątym co do wielkości krajem Unii Europejskiej pod względem powierzchni (3,225 mln km<sup>2</sup>) i ósmym pod względem liczby ludności (38,5 mln ludzi). Ze względu na swoje położenie geograficzne, Polska jest krajem o szczególnie istotnym znaczeniu tranzytowym. Ze względu na nie wystarczającą infrastrukturę drogową Polska postrzegana jest jako jedno z największych wąskich gardeł w transeuropejskiej sieci transportowej (TEN-T).

Sieć polskich dróg publicznych jest podzielona na trzy kategorie, zgodnie z podziałem administracyjnym kraju: drogi krajowe (w tym: autostrady i drogi ekspresowe), administrowane przez centralną administrację państwową – Generalną Dyрекcją Dróg Krajowych i Autostrad; drogi wojewódzkie podległe władzom samorządowym województw i administrowane przez wojewódzkie zarządy dróg; drogi powiatowe administrowane przez powiatowe zarządy dróg oraz pozostałe – tj. drogi gminne, wewnątrzzakładowe, miejskie itp.

Utrzymanie, modernizacja i budowa publicznych dróg krajowych, którymi zarządza Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, jest finansowane ze środków publicznych i opłaty paliwowej, przy wsparciu prywatno-publicznego partnerstwa (PPP), kredytów bankowych z Europejskiego Banku Inwestycyjnego EBI i innych instytucji międzynarodowych oraz funduszy pomocy publicznej UE.

Zasadnicza przebudowa sieci dróg w Polsce zaplanowana jest na okres do 2020 roku, z podziałem na okresy (2004 - 2007 – w trakcie realizacji), 2008-2012 i 2013-2020. Podstawowymi źródłami finansowania programu inwestycyjnego będą środki budżetowe, środki unijne, pochodzące z Funduszu Spójności i Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, oraz środki Krajowego Funduszu Drogowego.

W bieżącym okresie obserwuje się znaczący wzrost popytu na mieszanki mineralno-asfaltowe. Ma to związek z coraz lepszym przygotowaniem inwestycji przez zamawiających publicznych, wzrastającym wykorzystaniem środków unijnych przeznaczanych na inwestycje drogowe oraz z przygotowaniem Polski do organizacji Mistrzostw Europy w Piłce Nożnej w 2012 roku.

Wg danych Ministerstwa Infrastruktury oraz Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad ogłoszonych w „Programie Budowy Dróg Krajowych na lata 2008-2012<sup>1</sup>” przez Prezesa Rady Ministrów Uchwałą Nr 163/2007 z dnia 25 września 2007 roku, przewiduje się dynamiczny wzrost nakładów i inwestycji drogowych w latach 2007-2015. Stan podstawowej sieci drogowej w Polsce na 2009 rok przedstawiono na rysunku 2-1 w odniesieniu do rządowych planów budowy dróg ekspresowych i autostrad do roku 2015.

---

<sup>1</sup>Uchwała Prezesa Rady Ministrów Nr 163/2007 z dnia 25 września 2007 roku w sprawie ustanowienia programu wieloletniego pod nazwą „Program Budowy Dróg Krajowych na lata 2008-2012”.



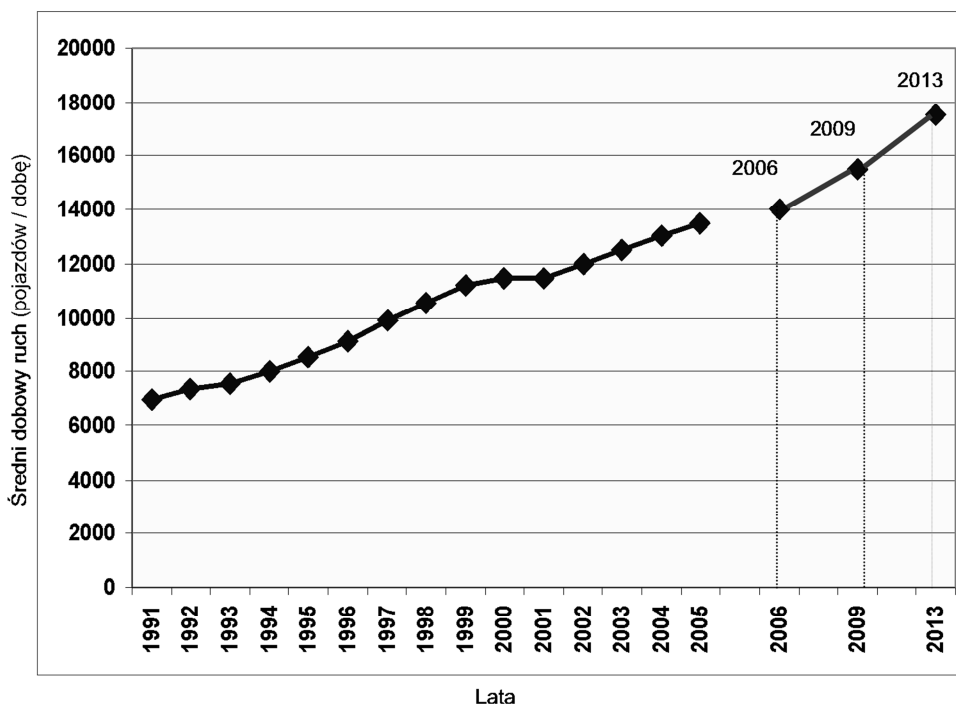
Rys. 2-1. Stan podstawowej sieci drogowej w Polsce w 2009 r. w kontekście rządowych planów budowy dróg ekspresowych i autostrad do roku 2015

Transport drogowy, ze względu na swoją rolę w obsłudze przewozów ładunków, stanowi niezwykle istotny element gospodarki, w tym także element rynku pracy. Pomimo działań na rzecz stworzenia w Polsce bardziej zrównoważonego systemu transportowego, z większym udziałem kolei, transportu morskiego i śródlądowego w rynku przewozowym, należy oczekiwać, że transport drogowy zachowa swoją dominującą rolę. W roku 2005 udział transportu samochodowego w przewozach towarów wyniósł 52,5%. W poprzednich latach zachodziły znaczne zmiany w strukturze przewozów towarowych w Polsce. Na przestrzeni dziesięciu lat udział transportu samochodowego w przewozach towarów wzrósł trzykrotnie pomimo faktu, iż w tym samym okresie rozwój infrastruktury drogowej był znacznie wolniejszy. Przewiduje się, że do 2020 roku przewozy ładunków transportem drogowym będą wzrastać o 1,6 – 2,1% rocznie, a zapotrzebowanie na przewozy samochodowe ładunków polskiego handlu zagranicznego wzrośnie o 150 – 190%. Praca przewozowa wzrośnie o 37 – 44% do 2013 roku w porównaniu z rokiem 2005.

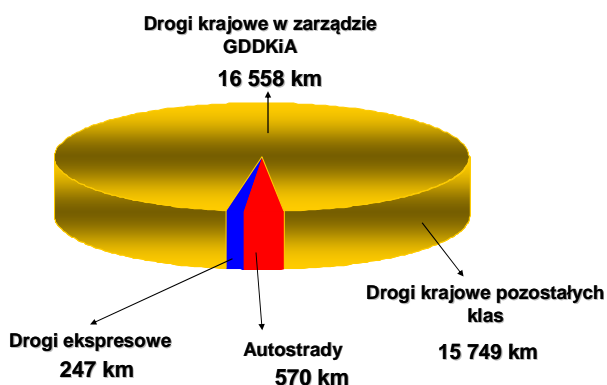
Program rządowy opiera się na prognozie ruchu na drogach międzynarodowych do 2013 roku (rysunek 2-2). Stan ilościowy dróg krajowych w Polsce w 2005 r. ilustruje rysunek 2-3. Zgodnie z Programem Rządowym w 2013 roku Polska posiadać będzie około 1700 km autostrad i około 1800 km dróg ekspresowych odpowiadających standardom europejskim (rysunek 2-4).

Obecnie dostępność komunikacyjna Polski kształtuje się na poziomie 75% średniej dla UE-27. W żywotnym interesie Polski jest jak najszybsze stworzenie sprawnych połączeń transportowych z resztą Europy za pomocą nowoczesnej sieci autostrad, dróg ekspresowych oraz innych dróg krajowych. Według szacunków Ministerstwa Infrastruktury należy spodziewać się w dalszych latach dalszego szybkiego wzrostu liczby samochodów osobowych, którą szacuje się na 40-60% do 2020 roku. Należy więc oczekiwać dalszej silnej presji na mocno już wyeksploatowaną i niedoinwestowaną sieć drogową w Polsce.

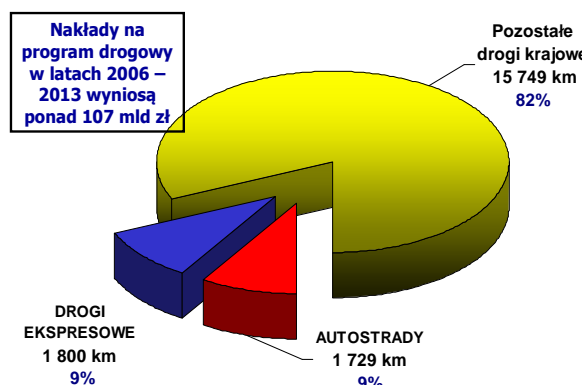




Rys. 2-2. Wzrost ruchu na drogach międzynarodowych do roku 2013

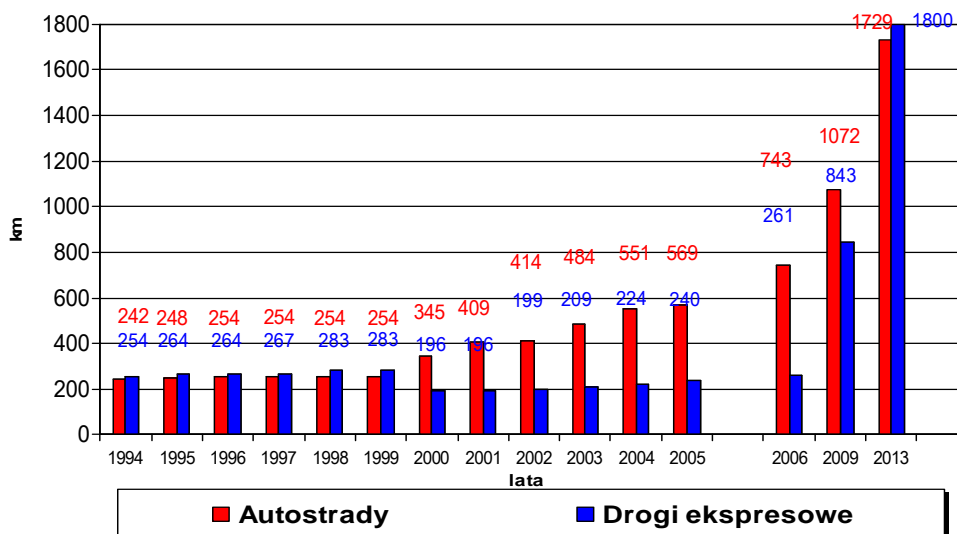


Rys. 2-3. Stan ilościowy dróg krajowych w Polsce stan 2005



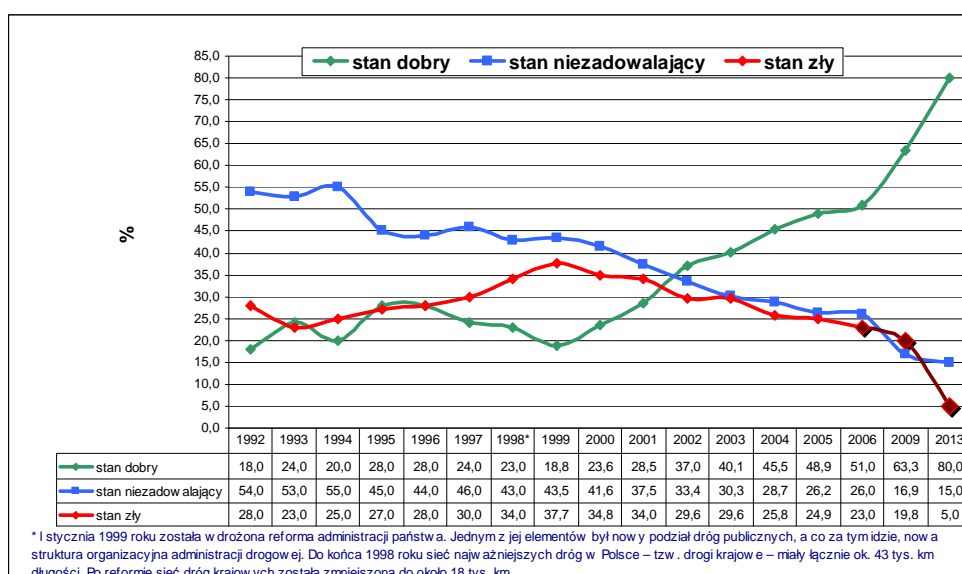
Rys. 2-4. Planowany stan ilościowy dróg krajowych w Polsce stan 2013

Na podstawie szacunkowych danych wynikających z przyjętego przez Rząd programu budowy autostrad i dróg ekspresowych w latach 2006 – 2013 można stwierdzić, że rynek budownictwa drogowego w Polsce będzie bardzo dynamicznie się rozwijał. Na podstawie danych przedstawionych na rysunku 2-5 można stwierdzić, bardzo dynamiczny wzrost zamówień na budowę odcinków dróg o standardzie autostradowym i ekspresowym w Polsce.



Rys. 2-5. Autostrady i drogi ekspresowe w sieci dróg publicznych do roku 2013

Oprócz rozbudowy głównej sieci drogowej w Polsce (autostrady i drogi ekspresowe) przewiduje się również znaczne nakłady na remonty i poprawę stanu technicznego dróg publicznych w Polsce. Plan zakłada osiągnięcie poziomu 85% dróg o stanie dobrym w 2013 roku. Wiązać się to będzie ze wzrostem nakładów na remonty i przebudowy dróg oraz przewiduje się wzrost udziału środków unijnych do poziomu 50% finansowania inwestycji. Na rysunku 2-6 przedstawiono w formie graficznej rządowe prognozy poprawy stanu technicznego dróg w Polsce do roku 2013.



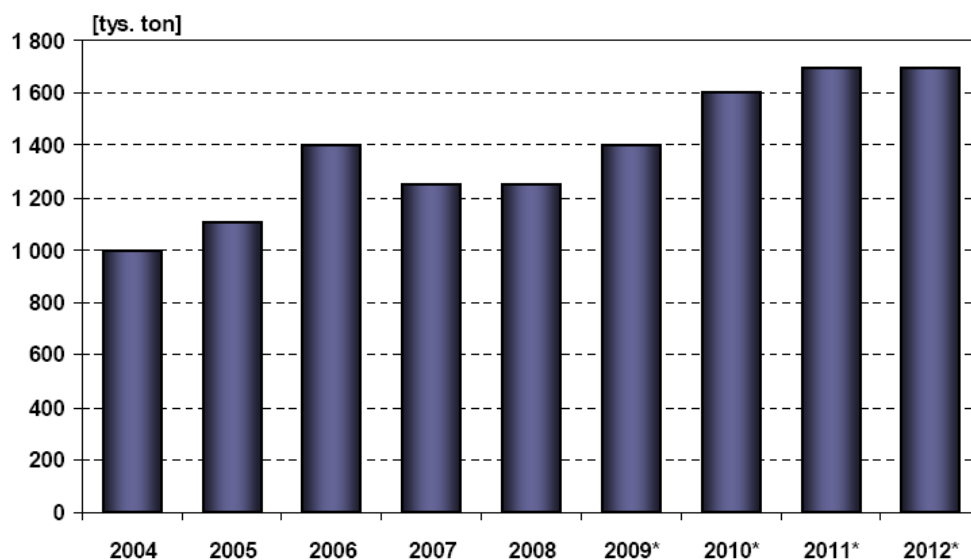
Rys. 2-6. Planowane zmiany stanu technicznego nawierzchni w Polsce do roku 2013 wg planu rządowego

## 2.1 Rynek asfaltów w Polsce

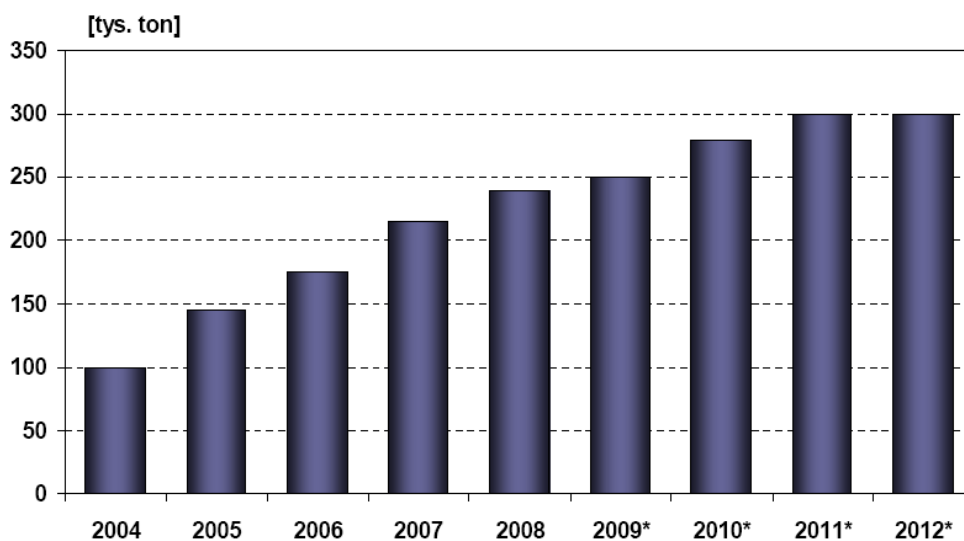
Przeważającą technologią budowy dróg w Polsce jest technologia asfaltowa. Głównymi producentami i dostawcami lepkości asfaltowych (asfalty drogowe i modyfikowane) w Polsce są lepiszczarnie produkowanych przez polskie rafinerie należące do Grupy ORLEN S.A. w Płocku i Trzebini oraz do Grupy LOTOS S.A. w Gdańsku, Jaśle i Czechowicach.

Asfaltowe lepiszcza drogowe dostarczają również inni producenci powiązani kapitałowo z międzynarodowymi koncernami petrochemicznymi, tacy jak koncern NYNAS, dysponujący w Szczecinie ponadregionalnym centrum dystrybucyjno-logistycznym oraz koncern TOTAL posiadający w Ścinawie (dawny terminal koncernu BP) terminal do modyfikacji asfaltów modyfikowanych.

W 2002 r. wyprodukowano w Polsce około 776 tys. ton asfaltów, z czego dla odbiorców krajowych sprzedano 667 tys. ton. Obecnie sprzedaż asfaltów na rynku polskim kształtuje się na poziomie 1 400 tys. ton, czyli w okresie ostatnich 7 lat wzrosła ponad dwukrotnie. Rynek asfaltów modyfikowanych szacuje się na około 17-20 % wszystkich sprzedawanych lepiszczy asfaltowych. Na rysunku 2-7 przedstawiono prognozowane zużycie lepiszczy asfaltowych na rynku polskim do roku 2012, natomiast na rysunku 2-8 przedstawiono prognozowane zużycie modyfikowanych lepiszczy asfaltowych na rynku polskim do roku 2012.



Rys. 2-7. Zużycie asfaltu w Polsce w latach 2004 – 2012 (\* 2009-2012 prognoza)



Rys. 2-8. Zużycie asfaltów modyfikowanych w Polsce w latach 2004 – 2012 (\* 2009-2012 prognoza)

Część produkcji polskich asfaltów sprzedawana jest poza rynkiem krajowym głównie na rynkach w: Niemczech, Austrii, Czechach, Rumunii, Ukrainie, Litwie, Łotwie, Estonii Słowacji.

### 3 ANALIZA WYMAGAŃ TECHNICZNYCH DLA LEPI SZCZY ASFALTOWYCH PRODUKOWANYCH W POLSCE

Wzrastające natężenie ruchu samochodowego i wzrost obciążenia osi pojazdów powodują konieczność zmiany wymagań technicznych stawianych nawierzchniom asfaltowym. Spełnienie tych wymagań możliwe jest dzięki stosowaniu odpowiednich technologii i materiałów wysokiej jakości.

Prowadzone w latach 1988-93 obszerne badania lepiszczy i mieszanek mineralno-asfaltowych w USA w ramach programu Strategic Highway Research Program (SHRP) wykazały, że między innymi przyczyną powstawania podstawowych rodzajów zniszczeń nawierzchni (odkształcenia trwałe, spękania zmęczeniowe i niskotemperaturowe) jest nieodpowiednia jakość stosowanego lepiszcza asfaltowego. Opracowana w ramach tego projektu metodyka badań funkcjonalnych lepiszczy asfaltowych pozwala na przeprowadzenie funkcjonalnej oceny lepiszczy uwzględniającej rzeczywiste warunki pracy w nawierzchni drogowej.

#### 3.1 Analiza wymagań i klasyfikacja lepiszczy asfaltowych wg europejskich wymagań (EN)

Norma europejska EN 12591 dotycząca asfaltów drogowych została wprowadzona w 1999 roku a w Polsce została ustanowiona w 2002 roku jako PN-EN 12591 „Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Wymagania dla asfaltów drogowych” (Tablica 3-1). W 2008 roku został przygotowany projekt nowelizacji wymagań właściwości asfaltów drogowych wg EN 12591 (Tablica 3-2A,B). Norma ta, w odróżnieniu od innych norm europejskich, nie jest normą klasyfikacyjną, a wymagania dla danego rodzaju asfaltu są ze sobą powiązane. Wymagania wobec asfaltów drogowych zawarte w tej normie służą głównie do klasyfikacji i nie opisują w dostateczny sposób rzeczywistych właściwości lepkosprężystych lepiszczy asfaltowych. W przyszłości przewiduje się wprowadzenie do klasyfikacji asfaltów drogowych nowych wymagań opartych o zmienione lub nowe metody badawcze, które będą lepiej opisywać zachowanie się lepiszczy w nawierzchni w zakresie właściwości lepkosprężystych. Przykładem takich zmian może być np. propozycja zastąpienia pomiaru lepkości dynamicznej metodą kapilarową pomiarem lepkości w lepkościomierzu obrotowym lub zastąpienie metody pomiaru temperatury łamliwości metodą Frassa przez pomiar sztywności pełzania w reometrze zginanej belki (BBR).

W 2006 roku została ustanowiona norma EN 13924 „Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Zasady klasyfikacji twardych asfaltów drogowych” (Tablica 3-3). Norma EN 13924 jest normą klasyfikacyjną i w Polsce nie opracowano jeszcze załącznika krajowego aplikującego normę do stosowania na rynku polskim.

Powyższe przewidywane zmiany w wymaganiach są w pełni uzasadnione i służą poprawie opisu właściwości lepiszcza. Zmiany dotyczą ponadto wymagań wobec lepiszczy asfaltowych modyfikowanych polimerami. W 2009 roku została wprowadzona w Polsce do stosowania norma PN-EN 14023 wraz z załącznikiem krajowym „Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Zasady klasyfikacji asfaltów modyfikowanych polimerami” (Tablica 3-4A,B oraz Tablica 3-5). Dokument ten zalicza się do nowych norm typu

klasyfikacyjnego i wymaga załącznika krajowego. W porównaniu do dotychczasowych Tymczasowych Wytycznych Technicznych stosowanych w Polsce do oceny polimeroasfaltów, nowa norma PN-EN 14023 wprowadza częściowo zmienione lub nowe metody badawcze. Uzasadnieniem podjęcia tematu weryfikacji metod oceny właściwości lepkości jest zapis w normie PN-EN 14023 dotyczący potrzeby weryfikacji właściwości i metod badawczych polimeroasfaltów, a mianowicie:

*„Niniejszy dokument oparty jest na wielu dokumentach krajowych, które istniały podczas powstawania normy. Jest to pierwszy krok do zharmonizowania tzw. klasyfikacji „doświadczalnych”, a jego celem jest ocena alternatywnych właściwości i metod badań potrzebnych do utworzenia nowych klasyfikacji, które oparte będą na właściwościach funkcjonalnych (użytkowych). W tym celu przygotowywane są programy prac, których rezultaty będą wykorzystane do weryfikacji niniejszego dokumentu.*

*W Załączniku B podano informacyjnie właściwości, które producent asfaltów modyfikowanych polimerami może na życzenie w trybie dobrowolnym dostarczyć klientowi. Dane zgromadzone w ten sposób mogą być pomocne w przyszłości w opracowywaniu specyfikacji funkcjonalnych.*

*Metody badań powołane w niniejszym dokumencie przedstawiają obecny stan wiedzy w przemyśle asfaltowym. Niektóre kraje samodzielnie opracowują nowe metody badań, aby zyskać doświadczenie do dalszego ich rozwoju. Z tego względu, następujące metody badań są obecnie oceniane:*

- reometr zginanej belki na podstawie metody badania wg EN 14771,*
- reometr dynamicznego ścinania na podstawie metody badania wg EN 14770,*
- energia odkształcenia w duktylocyście z pomiarem siły na podstawie metody badania wg EN 13589 i EN 13703, w różnych warunkach badania.*

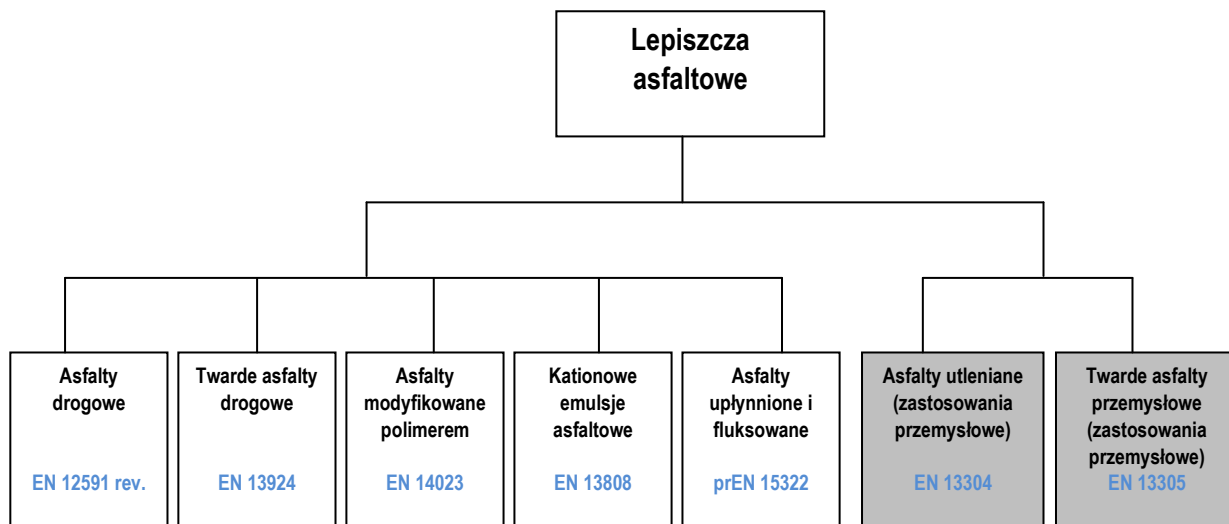
*Warunki badania powinny zostać wybrane w zależności od natężenia ruchu i warunków klimatycznych lub z uwzględnieniem zastosowanego rodzaju asfaltu, przykładowo mogą to być:*

- reometr zginanej belki: wartość sztywności w  $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,*
- reometr dynamicznego ścinania: moduł zespolony i kąt przesunięcia fazowego w  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,*
- energia odkształcenia w różnej temperaturze ( $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$  i  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) w zależności od użytego rodzaju asfaltu.”*

Mając na uwadze powyższe zapisy normy PN-EN 14023, która we wstępie odnosi się również do wymagań normy PN-EN 12591 dotyczącej asfaltów drogowych, można wnioskować, że nowe metody badawcze będą w przyszłości miały zastosowanie do oceny funkcjonalnej lepkości.

Rodzaje lepkości asfaltowych wg klasyfikacji norm europejskich, które są częściowo przedmiotem niniejszego opracowania przedstawiono na rysunku 3-1.





Rys. 3-1. Rodzaje lepiszczy asfaltowych wg klasyfikacji norm europejskich

h wg PN-EN 12591:2003

Metoda Badania	Oznaczenie gatunku								
	20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220	250/330
EN 1426	20-30	30-45	35-50	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220	250-330
EN 1427	55-63	52-60	50-58	48-56	46-54	43-51	39-47	35-43	30-38
EN 12607-1									
lub	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	1,0	1,0
EN 12607-3	55	53	53	50	50	46	43	37	35
EN 1427	57	54	52	49	48	45	41	37	32
EN 22592	240	240	240	230	230	230	230	220	220
EN 12592	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
EN 12606-1 EN 12606-2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
EN 12593		- 5	- 5	- 7	- 8	- 10	- 12	- 15	- 16
EN 1427	8	8	8	9	9	9	10	11	11

Tablica 3-2A. Wymagania właściwości asfaltów drogowych wg aktualnej normy PN-EN 12591:2010

Właściwość	Jednostka	Metoda badania	Oznaczenie gatunku							
			20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220
Penetracja w 25°C	x 0,1 mm	EN 1426	20-30	30-45	35-50	40-60	50-70	70-100	100-150	160-220
Temperatura mięknięcia	°C	EN 1427	55-63	52-60	50-58	48-56	46-54	43-51	39-47	35-43
Odporność na starzenie w 163°C										
Zmiany masy, nie wyżej, ± <sup>b</sup>	%	EN 12607-1	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
Pozostała penetracja, co najmniej	%		≥ 55	≥ 53	≥ 53	≥ 50	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
Wzrost temperatury mięknięcia po starzeniu, nie wyżej niż – stopnia 1	°C		≤ 8	≤ 8	≤ 8	≤ 9	≤ 9	≤ 9	≤ 10	≤ 11
lub			lub	lub	lub	lub	lub	lub	lub	lub
Wzrost temperatury mięknięcia po starzeniu, nie wyżej niż – stopnia 2 <sup>a</sup>	°C		≤ 10	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 12	≤ 12
Temperatura zapłonu, nie niżej	°C	EN ISO 2592	≥ 240	≥ 240	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220
Rozpuszczalność, nie niżej	% m/m	EN 12592	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0

Tablica 3-2B. Projekt Wymagania właściwości asfaltów drogowych wg aktualnej normy PN-EN 12591:2010

Właściwość	Jednostka	Metoda badania	Klasa 0	20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220
Indeks penetracji <sup>a</sup>		Załącznik A <sup>c</sup>	NPD <sup>d</sup>	-1,5 ÷ +0,7	-1,5 ÷ +0,7	-1,5 ÷ +0,7	-1,5 ÷ +0,7	-1,5 ÷ +0,7	-1,5 ÷ +0,7	-1,5 ÷ +0,7	-1,5 ÷ +0,7
Lepkość dynamiczna w 60°C	Pa·s	EN 12596	NPD <sup>d</sup>	≥ 440	≥ 260	≥ 225	≥ 175	≥ 145	≥ 90	≥ 55	≥ 30
Temperatura łamliwości wg Frassa <sup>a</sup>	°C	EN 12593	NPD <sup>d</sup>	-	≤ - 5	≤ - 5	≤ - 7	≤ - 8	≤ - 10	≤ - 12	≤ - 15
Lepkość kinematyczna w 135°C	mm <sup>2</sup> /s	EN 12595	NR <sup>e</sup>	≥ 530	≥ 400	≥ 370	≥ 325	≥ 295	≥ 230	≥ 175	≥ 135

- a – Jeżeli stosuje się stopień 2 należy powiązać wymaganie z temperaturą łamliwości wg Frassa i/lub indeksem penetracji dla lepkości nie starzonych.  
 b – Zmiana masy może być dodatnia lub ujemna.  
 c – Metoda obliczania indeksu penetracji podana w Załączniku A jest normową metodą odniesienia.  
 d – NPD – (No Performance Determined) – właściwość nie badana może być stosowana jeżeli nie ma regulacji dla tej właściwości na danym obszarze obowiązywania normy.  
 e – NR – (No Requirement) – brak wymagań może być stosowane jeżeli nie ma wymagań dla tej nieuregulowanej właściwości na danym obszarze obowiązywania normy

Tablica 3-3. Zasady klasyfikacji wymagań i klas twardych asfaltów drogowych wg EN 13924:2006

Podstawowe wymaganie	Właściwość	Metoda badania	Jednostka	Klasy				
				0	1	2	3	4
Konsystencja w pośrednich temperaturach eksploatacyjnych	Penetracja w 25°C	EN 1426	0,1 mm	NPD	TBR	15 to 25	10 to 20	
Konsystencja w wysokich temperaturach eksploatacyjnych	Temperatura mięknięcia	EN 1427	°C	NPD	TBR	55 to 71	58 to 78	60 to 76
	Lepkość dynamiczna w 60°C	EN 12596	Pa·s	NR	TBR	≥ 550	≥ 700	
Trwałość Niezmienność konsystencji (Odporność na starzenie wg EN 12607-1)	Zmiana masy	EN 12607-1 EN 12607-3	%	NPD	TBR	≤ 0,5		
	Pozostała penetracja	EN 1426	%	NPD	TBR	≥ 55		
	Temperatura mięknięcia po starzeniu	EN 1427	°C	NPD	TBR	> Orig. Min. +2g		
	Wzrost temperatury mięknięcia	EN 1427	°C	NPD	TBR	≤ 8	≤ 10	
	Wzrost temperatury mięknięcia oraz indeks penetracji przed starzeniem (określany na lepisczku oryginalnym)	EN 1427 obliczanie wg (Załącznik A)	°C	NR	TBR	≤ 10 -1,5 ÷ +0,7	≤ 10 ≤ -1,5	
Inne właściwości	Lepkość kinematyczna w 135°C	EN 12595	mm <sup>2</sup> /s	NR	TBR	≥ 600	≥ 700	
	Temperatura łamliwości wg Frassa	EN 12593	°C	NR	TBR	< 0	≤ 3	
	Temperatura zapłonu	EN ISO 2592	°C			≥ 235	≥ 245	
	Rozpuszczalność	EN 12592	% m/m	NR	TBR	≥ 99,0		



Tablica 3-4A. Zasady klasyfikacji podstawowych wymagań i klas asfaltów modyfikowanych polimerami wg PN-EN 14023:2010

Podstawowe wymaganie	Właściwość	Metoda badania	Jednostka	Klasy podstawowych wymagań wobec asfaltów modyfikowanych polimerami										
				0 <sup>a</sup>	1 <sup>b</sup>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Konsystencja w pośrednich temperaturach eksploatacyjnych	Penetracja w 25°C	EN 1426	0,1 mm		TBR	10-40	25-55	45-80	40-100	65-105	75-130	90-150	120-200	200-300
Konsystencja w wysokich temperaturach eksploatacyjnych	Temperatura mięknięcia	EN 1427	°C		TBR	≥ 80	≥ 75	≥ 70	≥ 65	≥ 60	≥ 55	≥ 50	≥ 45	≥ 40
Kohesja <sup>c</sup>	Siła rozciągania <sup>c</sup> (mała prędkość rozciągania) lub	EN 13589 po EN 13703	J/cm2	NPD	TBR	≥ 3 w 5°C	≥ 2 w 5°C	≥ 1 w 5°C	≥ 2 w 0°C	≥ 2 w 10°C	-	-	-	-
	Siła rozciągania w 5°C (duża prędkość rozciągania) lub	EN 13587 po EN 13703	J/cm2	NPD	TBR	≥ 3	≥ 2	≥ 1	-	-	-	-	-	-
	Wahadło Vialit <sup>c</sup> (metoda uderzenia)	EN 13588	J/cm2	NPD	TBR	≥ 0,7	-	-	-	-	-	-	-	-
Niezmienność konsystencji <sup>d</sup> (Odporność na starzenie wg EN 12607-1 lub -3)	Zmiana masy	EN 12607-1 EN 12607-3	%	NPD	TBR	≤ 0,3	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 1,0	-	-	-	-	-
	Pozostała penetracja	EN 1426	%	NPD	TBR	≥ 35	≥ 40	≥ 45	≥ 50	≥ 55	≥ 60	-	-	-
	Wzrost temperatury mięknięcia	EN 1427	°C	NPD	TBR	≤ 8	≤ 10	≤ 12	-	-	-	-	-	-
Inne właściwości	Temperatura zapłonu <sup>e</sup>	EN ISO 2592	°C			≥ 250	≥ 235	≥ 220	-	-	-	-	-	-

- a - Ponieważ system klasyfikacji asfaltów oparty jest na konsystencji w pośrednich i wysokich temperaturach eksploatacyjnych, wartości dla tych właściwości powinny być podane.
- b - Do celów deklaracji prawnych i oznakowania nie może być użyta Klasa 1 TBR.
- c - Tylko jedna metoda badania kohesji powinna zostać wybrana w zależności od końcowego zastosowania. Badanie kohesji metodą Vialit (EN 13588) należy wybrać tylko w przypadku lepiszczy przeznaczonych do powierzchniowego utrwalaania.
- d - Odporność na starzenie: w przypadku rozstrzygnięcia sporów dopuszczona jest tylko metoda RTFOT (patrz EN 12607-1). Patrz 5.1.5. Badania odporności na starzenie nie stosuje się w przypadku lepiszczy przeznaczonych do powierzchniowego utrwalaania.
- e - Ze względów bezpieczeństwa, do określenia temperatury zapłonu nie powinny być stosowane klasy 0 i 1.

Tablica 3-4B. Zasady klasyfikacji podstawowych wymagań i klas asfaltów modyfikowanych polimerami wg PN-EN 14023:2010

Właściwość	Metoda badania	Jednostka	Klasy wymagań technicznych wobec asfaltów modyfikowanych polimerami										
			0	1 <sup>a</sup>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura łamliwości wg Frassa	EN 12593	°C	NPD	TBR	≤ 0	≤ -5	≤ -7	≤ -10	≤ -12	≤ -15	≤ -18	≤ -20	≤ -22
Nawrót sprężysty w 25°C	EN 13398	%	NPD	TBR	≥ 80	≥ 70	≥ 60	≥ 50	-	-	-	-	-
Nawrót sprężysty w 10°C	EN 13398	%	NPD	TBR	≥ 75	≥ 50	-	-	-	-	-	-	-
Przedział plastyczności	Podpunkt 5.1.9	°C	NPD	TBR	≥ 85	≥ 80	≥ 75	≥ 70	≥ 65	≥ 60	-	-	-
Stabilność magazynowania <sup>b</sup> Różnica temperatur mięknięcia	EN 13399 EN 1427	°C	NPD	TBR	≤ 5	-	-	-	-	-	-	-	-
Stabilność magazynowania <sup>b</sup> Różnica penetracji	EN 13399 EN 1426	0,1 mm	NPD	TBR	≤ 9	≤ 13	≤ 19	≤ 26	-	-	-	-	-
Spadek temperatury mięknięcia po starzeniu wg EN 12607-1 lub -3	EN 1427	°C	NPD	TBR	≤ 2	≤ 5	-	-	-	-	-	-	-
Nawrót sprężysty w 25 °C po starzeniu wg EN 12607-1 lub -3	EN 13398	%	NPD	TBR	≥ 70	≥ 60	≥ 50	-	-	-	-	-	-
Nawrót sprężysty w 10 °C po starzeniu wg EN 12607-1 lub -3	EN 13398	%	NPD	TBR	≥ 50	-	-	-	-	-	-	-	-
<p>UWAGA Poniższe dane dotyczące asfaltu modyfikowanego polimerami mogą być dostarczone przez dostawcę w karcie informacyjnej wyrobu:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- zdyspergowanie polimeru (patrz EN 13632 [5]);</li> <li>- rozpuszczalność (patrz EN 12592 [4] przy użyciu odpowiedniego, opisanego przez dostawcę rozpuszczalnika);</li> <li>- temperatury obróbki (transportowania);</li> <li>- minimalne temperatury magazynowania i pompowania;</li> <li>- maksymalna i minimalna temperatura mieszania; dla celów porównawczych należy zastosować EN 13702-1 lub EN 13702-2;</li> <li>- gęstość (patrz EN ISO 3838).</li> </ul>													
<p><sup>a</sup> Do celów deklaracji prawnych i oznakowania nie może być użyta Klasa 1 TBR.</p> <p><sup>b</sup> Jeżeli nie zostały podane wyniki badania stabilności magazynowania (patrz EN 13399), dostawca powinien przedstawić informacje, w jaki sposób należy przechowywać asfalt modyfikowany polimerami, aby uniknąć rozdzielania jego składników.</p>													

Tablica 3-5. Zasady klasyfikacji podstawowych wymagań i klas asfaltów modyfikowanych polimerami wg PN-EN 14023:2010

Metoda badania			Jednos- tka	Rodzaj asfaltu modyfikowanego polimerami													
				PMB 10/40-65		PMB 25/55-60		PMB 45/80-55		PMB 45/80-65		PMB 65/105-60		PMB 90/150-45		PMB 120/200-40	
				zakres	klasa	zakres	klasa	zakres	klasa	zakres	klasa	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	45-80	4	65-105	6	90-150	8	120-200	9
	Temperatura mięknięcia	PN-EN 1427	°C	≥ 65	5	≥ 60	6	≥ 55	7	≥ 65	5	≥ 60	6	≥ 45	9	≥ 40	10
	Siła rozciągania	PN-EN 13589 PN-EN 13703	J/cm2	≥ 2 w 10°C	6	≥ 1 w 5°C	4	≥ 1 w 5°C	4	≥ 2 w 5°C	3	≥ 1 w 5°C	4	≥ 1 w 5°C	4	TBR w 5°C	1
	Zmiana masy po starzeniu	PN-EN 12607-1	% m/m	≤ 0,5	3	≤ 3,5	3	≤ 3,5	3	≤ 3,5	3	≤ 3,5	3	≤ 3,5	3	≤ 3,5	3
	Pozostała penetracja w 25°C po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 1426	%	≥ 60	7	≥ 60	7	≥ 60	7	≥ 60	7	≥ 60	7	≥ 50	5	≥ 50	5
	Wzrost temp. mięknięcia po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 1427	°C	≤ 8	2	≤ 8	2	≤ 8	2	≤ 8	2	≤ 10	3	≤ 10	3	≤ 10	3
	Temperatura zapłonu	EN ISO 2592	°C	≥ 235	3	≥ 235	3	≥ 235	3	≥ 235	3	≥ 235	3	≥ 235	3	≥ 235	3
Właściwości dodatkowe	Temperatura łamliwości	PN-EN 12593	°C	≤ -5	3	≤ -10	5	≤ -12	6	≤ -15	7	≤ -15	7	≤ -18	8	≤ -20	9
	Nawrót sprężysty w 25°C	PN-EN 13398	%	≥ 50	5	≥ 50	5	≥ 50	5	≥ 50	5	≥ 50	5	≥ 50	5	≥ 50	5
	Przedział Plastyczności	PN-EN 14023	°C	TBR	1	TBR	1	TBR	1	TBR	1	TBR	1	TBR	1	TBR	1
	Stabilność składowania - różnica w temp. mięknięcia	PN-EN 13399 PN-EN 1427	°C	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5	2	≤ 5	2
	Spadek temp. mięknięcia po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 1427	°C	TBR	1	TBR	1	TBR	1	TBR	1	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	≥ 50	4	≥ 50	4	≥ 50	4	≥ 50	4

TBR - (To Be Reported) - wynik badania podawany przez producenta, brak wymagania

NPD - (No Performance Determined) – właściwość nie badana

## 3.2 Wymagania i klasyfikacja lepiszczy asfaltowych wg amerykańskich wymagań Superpave

Dotychczasowe standardowe metody badań asfaltów dostarczają informacji dotyczących właściwości w jednej (lub, co najwyżej w dwu temperaturach) i nie pozwalają na przewidywanie i ocenę właściwości funkcjonalnych lepiszcza, tj. jego zachowania się w pełnym zakresie temperatur eksploatacyjnych nawierzchni drogowej. Na podstawie tych badań nie można ocenić zachowania przy odkształceniu, zmęczeniu i starzeniu lepiszcza.

Właściwości asfaltu jako materiału lepkosprężystego zależą od temperatury oraz czasu obciążenia i zmieniają się od stanu sprężystego (w niskich temperaturach lub/i w krótkim czasie obciążenia) do stanu lepkiego (w wysokich temperaturach lub/i w długim czasie obciążenia).

W ramach programu SHRP (Strategic Highway Research Program) zrealizowanego w USA, prowadzono teoretyczne i doświadczalne prace na temat oceny jakości i trwałości lepiszczy asfaltowych oraz właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych z uwzględnieniem rzeczywistych warunków eksploatacji nawierzchni. Opracowano m.in. wymagania funkcjonalne dla lepiszczy i odpowiednie dla nich metody badań. Koncepcja przyjęta w SHRP polegała na założeniu, że wszystkie lepiszcza mają do spełnienia jednakowe wymagania i należy tylko zbadać, czy te wymagania będą spełnione w konkretnych, miejscowych temperaturach krytycznych, w których jest eksploatowana nawierzchnia drogowa.

W programie badawczym SHRP przyjęto koncepcję opracowania metod badań i wymagań dla lepiszczy z uwzględnieniem podstawowych rodzajów zniszczeń nawierzchni bitumicznych takich jak:

- trwałe deformacje lepkoplastyczne (koleiny),
- spękania zmęczeniowe,
- spękania niskotemperaturowe.

Jak wynika z badań o wystąpieniu zniszczeń w postaci kolein, asfalt decyduje w 40%, zniszczeń zmęczeniowych w 60% a spękań niskotemperaturowych w 90%.

Wg SHRP asfalty klasyfikuje się na podstawie najwyższej średniej siedmiodniowej i najniższej jednodniowej temperatury nawierzchni. Te najwyższe i najniższe temperatury są najważniejszym kryterium klasyfikacyjnym, ponieważ wymagania funkcjonalne są jednakowe dla wszystkich lepiszczy. Klasy wymagań i użytkowania asfaltów, według których określa się rodzaje (funkcjonalne) asfaltów są klasami temperatur. Na tej podstawie obszar USA i Kanady podzielono na strefy klimatyczne, strefy PG – Performance Grade. W roku 2000 podjęto próby określenia stref klimatycznych dla obszaru Polski na podstawie analizy badań klimatycznych.

W celu określenia przeciętnych najwyższych i najniższych temperatur nawierzchni oblicza się wartości średnie, odchylenia standardowe i prawdopodobieństwo statystyczne (50% i 98%) dla regionalnych najwyższych i najniższych temperatur powietrza na podstawie danych meteorologicznych. W USA i Kanadzie wykorzystano do tego celu dane z 6000 stacji meteorologicznych. W Polsce wykorzystano dane z 59 stacji, we Francji z 65 stacji meteorologicznych. Na podstawie temperatury powietrza można obliczyć najwyższą i najniższą temperaturę nawierzchni.

Najwyższą średnią 7-dniową temperaturę nawierzchni oblicza się ze wzoru:

$$T_{\max}^d = 54.32 + 0,7 \times T_{\max}^a - 0.0025\phi^2 - 15.14 \log(d + 25) - z(9 + 0.61\sigma_a^2)^{0.5} \quad (1)$$

w którym:

$T_{d\max}$  – najwyższa temperatura nawierzchni, °C, na głębokości  $d$ , [mm]

$T_{a\max}$  – najwyższa wartość średniej siedmiodniowej maksymalnej temp. powietrza, [°C]

$\phi$  – szerokość geograficzna stacji meteorologicznej, [°]

$\sigma_a$  – odchylenie standardowe  $T_{a\max}$ , [°C]

$z = 2.055$ , jeśli poziom ufności wynosi 98%.

Najniższa temperatura nawierzchni:

$$T_{\min}^d = -1.56 + 0.72T_{\min}^a - 0.0004\phi^2 + 6.26 \log(d + 25) - z(4.4 + 0.52\sigma_a^2)^{0.5} \quad (2)$$

w którym:

$T_{d\min}$  – najniższa temperatura nawierzchni, °C, na głębokości  $d$ , [mm]

$T_{a\min}$  – najniższa temperatura powietrza, [°C]

$\phi$  – szerokość geograficzna stacji meteorologicznej, [°]

$\sigma_a$  – odchylenie standardowe  $T_{a\min}$ , [°C]

$z = 2.055$ , jeśli poziom ufności wynosi 98 %.

Obliczone najwyższe i najniższe temperatury nawierzchni zalicza się do temperatur odpowiadających strefie eksploatacyjnej nawierzchni. W polskich warunkach strefa ta obejmuje zakres temperatur od około  $-40^{\circ}\text{C}$  do  $+70^{\circ}\text{C}$ . Lepiszczce w produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych stosowane jest w temperaturze do około  $180^{\circ}\text{C}$ . Zatem zakres temperatur strefy eksploatacyjnej i technologicznej wynosi od  $-40^{\circ}\text{C}$  do około  $+180^{\circ}\text{C}$  i w tych temperaturach użytkowych lepiszcze powinno być oceniane, badane i wykazywać odpowiednie właściwości.

Wg SHRP dla asfaltów przeprowadza się badania, które wyznaczają rodzaje funkcjonalne określone symbolami PG x-y, w którym:

PG - Performance Grade, rodzaj funkcjonalny,



x – najwyższa przeciętna siedmiodniowa temperatura nawierzchni, wyznaczona dla asfaltu oryginalnego i po starzeniu technologicznym (RTFOT) na podstawie badania w reometrze DSR wg parametru  $G^*/\sin\delta$ ,

y – najniższa przeciętna jednodniowa temperatura nawierzchni, wyznaczona dla asfaltu po starzeniu eksploatacyjnym (PAV) na podstawie badania w reometrze zginanej belki BBR,

Przewidziano następujące stopniowanie przeciętnej temperatury (co 6°C) dla rodzajów funkcjonalnych nawierzchni:

x – najwyższe, przeciętne temperatury nawierzchni: 46, 52, 58, 64, 70, 76, 82°C,

y – najniższe przeciętne temperatury nawierzchni: -46, -40, -34, -28, -22, -16, -10°C.

Z kombinacji najwyższych i najniższych temperatur nawierzchni powstało 37 rodzajów lepiszczy dla warunków amerykańskich.

Wystąpienie ekstremalnej temperatury przyjmuje się z prawdopodobieństwem 50 lub 98%. Przyjęcie wyższego prawdopodobieństwa powoduje zaostrzenie wymagań wobec lepiszcza i konieczność przyjęcia wyższego PG. Rodzaje funkcjonalne asfaltów (PG) i wymagania wg SHRP zestawiono w tablicy 3-6.

Tablica 3-6. Rodzaje funkcjonalne asfaltów (PG) i wymagania wg SHRP

Właściwości	PG 46			PG 52						PG 58					PG 64						
	-34	-40	-46	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40
Projektowa, średnia siedmiodniowa najwyższa temperatura nawierzchni, poniżej °C	46			52						58					64						
Projektowa, najniższa temperatura nawierzchni, powyżej °C	-34	-40	-46	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-40
<b>Lepiszczą asfaltowe przed starzeniem</b>																					
Temperatura zapłonu wg AASHTO T 48, min. °C	230																				
Lepkość, ASTM D4402: nie więcej niż 3 Pas, temp. badania °C	135																				
Dynamiczne ścinanie wg TP5: $G^*/\sin\delta$ , nie mniej niż 1,0 kPa, prędkość ścinania 10 rad/s, temp. badania °C	46			52						58					64						
<b>Lepiszczą asfaltowe po starzeniu RTFOT lub TFOT</b>																					
Strata masy, nie więcej niż, % m/m	1,00																				
Dynamiczne ścinanie wg TP5: $G^*/\sin\delta$ , nie mniej niż 2,2 kPa, prędkość ścinania 10 rad/s, temp. badania °C	46			52						58					64						
<b>Lepiszczą asfaltowe po starzeniu RTFOT lub TFOT i PAV</b>																					
Temperatura starzenia °C	90			90						100					100						
Dynamiczne ścinanie wg TP5: $G^*/\sin\delta$ , nie więcej niż 5000 kPa, prędkość ścinania 10 rad/s, temp. badania °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Fizyczne stwardnienie	Podawane informacyjnie – bez wymagania																				
Szttywność pełzania wg TP1:S, nie więcej niż 300MPa, m nie mniej niż 0.300, czas obciążenia 60 s, temp badania °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Rozciąganie bezpośrednie wg TP3: odkształcenie zniszczeniowe mniej niż 1.0%, prędkość rozciąg. 1.0 mm/min. temperatura badania °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

Tablica 3-6. c.d. Rodzaje funkcjonalne asfaltów (PG) i wymagania wg SHRP

Właściwości	PG 70-						PG 76-					PG 82-				
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-10	-16	-22	-28	-34
Projektowa, średnia siedmiodniowa najwyższa temperatura nawierzchni, poniżej °C	70						76					82				
Projektowa, najniższa temperatura nawierzchni, powyżej °C	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28	-34	-10	-16	-22	-28	-34
<b>Lepiszczka asfaltowe przed starzeniem</b>																
Temperatura zapłonu wg AASHTO T 48, min. °C	230															
Lepkość, ASTM D4402: nie więcej niż 3 Pas, temp. badania °C	135															
Dynamiczne ścinanie wg TP5: $G^*/\sin\delta$ , nie mniej niż 1,0 kPa, prędkość ścinania 10 rad/s, temp. badania °C	70						76					82				
<b>Lepiszczka asfaltowe po starzeniu RTFOT lub TFOT</b>																
Strata masy, nie więcej niż, % m/m	1.00															
Dynamiczne ścinanie wg TP5: $G^*/\sin\delta$ , nie mniej niż 2,2 kPa, prędkość ścinania 10 rad/s, temp. badania °C	70						76					82				
<b>Lepiszczka asfaltowe po starzeniu RTFOT lub TFOT i PAV</b>																
Temperatura starzenia °C	100 (110)															
Dynamiczne ścinanie wg TP5: $G^*\sin\delta$ , nie więcej niż 5000 kPa, prędkość ścinania 10 rad/s, temp. badania °C	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28
Sztywność pełzania wg TP1:S, nie więcej niż 300MPa, m nie mniej niż 0.300, czas obciążenia 60 s, temp badania °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24
Rozciąganie bezpośrednie wg TP3: odkształcenie zniszczeniowe mniej niż 1.0%, prędkość rozciąg. 1.0 mm/min. temperatura badania °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24

## 4 PROGRAM BADAŃ LEPISZCZY ASFALTOWYCH

### 4.1 Metodyka badań właściwości normowych oraz właściwości reologicznych lepiszczy asfaltowych

Badania właściwości normowych asfaltów stosowanych do mieszanek mineralno-asfaltowych przewidują wykonywanie następujących testów:

- Penetracja  
Badanie penetracji igłą w 25°C jest podstawą do klasyfikacji asfaltów i stanowi miarę twardości asfaltu (konsystencji asfaltu w średniej temperaturze eksploatacyjnej). Badanie polega na ścinaniu asfaltu w określonych warunkach pomiaru. Badanie wykonane wyłącznie w temperaturze 25°C nie pozwala wnioskować o jakości asfaltu.
- Temperatura mięknięcia wg PiK  
Jest to umowna temperatura przejścia asfaltu ze stanu lepko sprężystego w stan lepki. Badanie polega na ścinaniu warstwy asfaltu przez kulę w określonych warunkach pomiaru. Wielkość naprężenia ścinającego kuli na powierzchnię asfaltu wynosi 0.25 kPa. Dla asfaltów destylacyjnych temperatura mięknięcia odpowiada temperaturze w której asfalt ma penetrację równą 800x0.1 mm ( $T_{800pen}$ ) oraz lepkości 1300 Pa · s.
- Odporność na starzenie metodą RTFOT  
Metodą RTFOT ocenia się odporność asfaltu na starzenie technologiczne, które występuje w produkcji, podczas magazynowania lepiszcza oraz w budowania mieszanki mineralno-asfaltowej. W warunkach laboratoryjnych zjawisko starzenia jest symulowane przez badanie odparowalności lepiszcza w cienkiej warstwie pod wpływem wygrzewania w temperaturze 163°C i napowietrzania w wirujących pojemnikach w wysokiej temperaturze. Miarą odporności na starzenie jest zmiana masy, wartość pozostałej penetracji oraz wzrost temperatury mięknięcia po starzeniu. Sposób badania odparowalności asfaltów metodą RTFOT odzwierciedla w dużym stopniu szkodliwe działanie, na jakie asfalt jest narażony w czasie czynności technologicznych.
- Temperatura zapłonu  
Temperaturę zapłonu określa się metodą Clevelanda za pomocą otwartego tygla. Znajomość temperatury zapłonu jest istotna ze względu na bezpieczeństwo pożarowe w wytwórniach mieszanek mineralno-asfaltowych. Metodyka badania temperatury zapłonu odzwierciedla warunki jakim asfalt jest poddawany w procesie przechowywania i produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej.
- Rozpuszczalność  
Badanie rozpuszczalności umożliwia ocenę zanieczyszczeń w asfalcie i jest miarą jego czystości. Oznaczenie procentowej zawartości składników nierozpuszczalnych jest miarą zawartości składników mineralnych oraz koksu, który może powstać w asfalcie w wyniku przegrzania w czasie produkcji lub transportu.
- Temperatura łamliwości  
Temperatura łamliwości według Frassa jest umowną temperaturą przejścia ze stanu lepko sprężystego w stan kruchy. Jednak należy stwierdzić, że w temperaturze łamliwości asfalt nie traci całkowicie właściwości lepkich, wykazując w tej temperaturze penetrację wynoszącą 1.25x0.1 mm [książka reologia]. Według badań rzeczywista temperatura kruchości asfaltu (przejścia szklanego) może być do 20°C niższa od temperatury łamliwości według Frassa. Badanie łamliwości według Frassa jest badaniem equi- sztywności w znormalizowanym czasie 11 sekund, przy odkształceniu względnym warstwy asfaltu równym 0.016, w ustalonych warunkach

pomiaru. W wymienionych warunkach w temperaturze łamliwości asfalty destylacyjne mają moduł sztywności wynoszący  $1.1 \times 10^8$  Pa.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że badania normowe są badaniami klasyfikacyjnymi, handlowymi i nie pozwalają na pełną ocenę zachowania się tych lepiszczy w nawierzchni drogowej. Ocenę funkcjonalnych właściwości asfaltów można dokonać na podstawie właściwości reologicznych określonych w funkcji obciążenia, czasu trwania tych obciążeń i w funkcji temperatury.

Cechy reologiczne ciała takie jak: sprężystość, lepkość, plastyczność nazywa się parametrami reologicznymi. Jeżeli do opis zachowania się jakiegoś ciała pod działaniem obciążenia wystarcza znajomość jednego z tych parametrów to takie ciało nazywamy ciałem reologicznie prostym. Asfalty należą do ciał reologicznie złożonych, ponieważ do opisu ich zachowania niezbędne jest stosowanie dwóch parametrów reologicznych. Asfalty w wysokiej temperaturze pod wpływem długotrwałego obciążenia zachowują się jak ciecze lepkie, w niskich temperaturach lub pod wpływem krótkotrwałego obciążenia jak ciała sprężyste. W pośredniej temperaturze wykazują właściwości lepkosprężyste.

Do oceny właściwości reologicznych asfaltu stosuje się następujące oznaczenia i badania:

- Indeks penetracji  
Indeks penetracji pozwala na ocenę pewnych właściwości reologicznych asfaltu na podstawie badań normowych w funkcji temperatury (pomiar penetracji wykonany w 2 lub więcej temperaturach). Indeks penetracji służy do dosyć prostej oceny odkształceniowych właściwości lepiszcza. W budownictwie drogowym stosuje się asfalty o IP od +2.0 do -2.0, ale zaleca się stosować asfalty o IP od -1.0 do +1.0. Asfalty o dodatnich indeksach penetracji są bardziej przydatne do pracy w nawierzchni drogowej ze względu na to, że zachowują lepko sprężyste właściwości w niskich temperaturach i przy krótkim czasie obciążenia (obciążenie dynamiczne) oraz nie płyną w dodatnich temperaturach i długim czasie obciążenia. Modyfikacja asfaltów ma na celu między innymi poprawę indeksu penetracji.

Indeks penetracji jest dobrą metodą oceną temperaturowej wrażliwości asfaltów.

- Lepkość  
Lepkość można scharakteryzować jako tarcie wewnętrzne, występujące w wyniku działania sił kohezji między cząsteczkami przy przesuwaniu się jednej warstwy asfaltu względem drugiej. Lepkość jest jednym z ważniejszych parametrów do oceny zachowania się asfaltów w przypadku wystąpienia długotrwałych obciążeń, jak również jedną z ważniejszych cech technologicznych, od której zależą warunki przygotowania, mieszania i transportu mieszanek mineralno-asfaltowych. Lepkość jest podstawową cechą reologiczną zależną od składu grupowego, temperatury badania, czasu i charakteru obciążenia. Badanie lepkości wykonuje się w zakresie temperatur, w których nie można wykonać pomiaru konsystencji asfaltu metodą penetracji.
- Karta Jakości Asfaltu  
Karta Jakości Asfaltu (wykres BTDC) została skonstruowana na podstawie analizy współzależności lepkości i penetracji w funkcji temperatury z zastosowaniem równania WLF i przy przyjęciu temperatury  $T_{800Pen}$  jako temperatury referencyjnej, w której lepkość asfaltu wynosi przeciętnie  $1300 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ . Na podstawie wykresu BTDC można określić:
  - temperaturę łamliwości (przecięcie prostej penetracji z poziomą linią penetracji  $1.25 \times 0.1 \text{ mm}$ ),
  - temperaturę  $T_{800Pen}$  (przecięcie prostej penetracji z poziomą linią penetracji  $800 \times 0.1 \text{ mm}$ ),
  - klasę asfaltu (S – podestylacyjne, B – utleniane, W – parafinowe),
  - wartość indeksu penetracji (przesunięcie prostej penetracji),

- temperatury technologiczne (otaczania –  $0.2 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , pompowania –  $2 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ , końcowej fazy zagęszczania –  $20 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ).

Na podstawie wykresu BTDC można ocenić zachowanie się asfaltu w pełnym zakresie temperatur technologicznych nawierzchni, tj. od  $-30$  do  $80^{\circ}\text{C}$  oraz temperatur technologicznych od  $90$  do około  $200^{\circ}\text{C}$ .

## 4.2 Metodyka badań nowych właściwości lepiszczy asfaltowych

Wprowadzenie nowych metod pomiarowych stwarza konieczność przeprowadzenia kompleksowych badań właściwości reologicznych lepiszczy dostępnych na polskim rynku drogowym w związku z koniecznością opracowania w przyszłości krajowych wymagań. Istniejący stan wiedzy jest niewystarczający szczególnie w przypadku polimeroasfaltów. Konieczność oceny właściwości funkcjonalnych asfaltów i asfaltów modyfikowanych powinna uwzględniać nowe metody pomiarowe, w szczególności z uwzględnieniem kryteriów klimatycznych obszaru Polski. Prowadzone badania właściwości funkcjonalnych powinny uwzględniać wpływ starzenia technologicznego i eksploatacyjnego na właściwości lepiszcza asfaltowego.

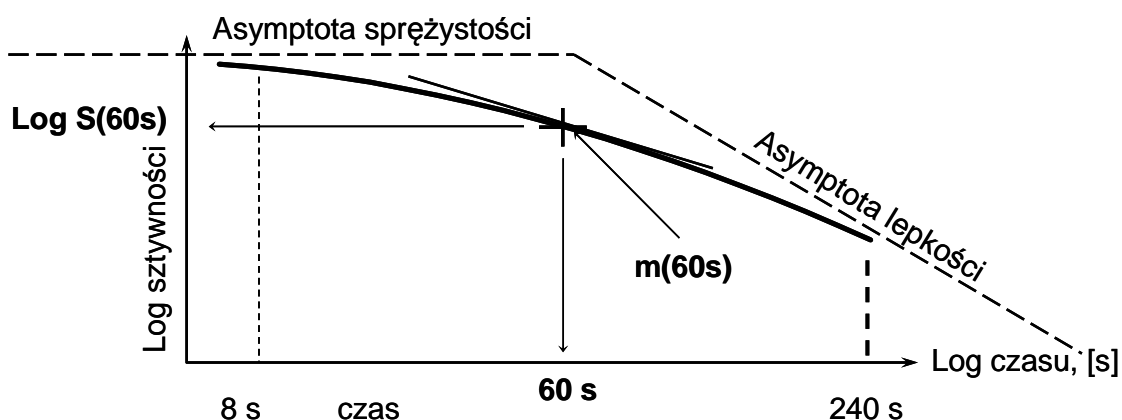
W pracy badawczej proponuje się przeprowadzenie kompleksowych badań właściwości normowych i reologicznych asfaltów drogowych, polimeroasfaltów oraz asfaltów wielorodzajowych dostępnych na rynku i najczęściej stosowanych do budowy asfaltowych nawierzchni drogowych. Przewiduje się stosowanie metodyki badawczej wg normy PN-EN 14023 oraz wg metodyki badawczej zaproponowanej w programie SHRP. Badaniom poddane będą lepiszcza produkowane przemysłowo, pochodzące od przynajmniej dwóch/trzech producentów krajowych, w zależności od dostępnego asortymentu. Dla badanych lepiszczy zostaną przeprowadzone badania podstawowe stosowane do ich klasyfikacji oraz zaawansowane badania reologiczne z uwzględnieniem propozycji pomiarów właściwości funkcjonalnych. Zgodnie z wymienionymi procedurami badawczymi, przewiduje się badania lepiszczy niestarzonych oraz badania lepiszczy poddanych procesowi starzenia. Wykonane zostaną badania właściwości lepkosprężystych takich jak:

- sztywność pełzania w ujemnych temperaturach wg metody pomiaru w reometrze zginanej belki – BBR, (PN-EN 14771), w szerokim zakresie temperatur ujemnych,
- moduł zespolony  $G^*$  i kąt przesunięcia fazowego wg metody pomiaru w reometrze dynamicznego ścinania – DSR (PN-EN 14770), w szerokim zakresie temperatur dodatnich,
- kohezja, przez pomiar energii odkształcenia badanej w duktylometrze z pomiarem siły na podstawie metody badania wg PN-EN 13589 i PN-EN 13703, w szerokim zakresie dodatnich temperatur użytkowych.

#### 4.2.1 Właściwości niskotemperaturowe - metoda badania sztywność lepizczy asfaltowych w reometrze zginanej belki (BBR)

W niskich temperaturach lepizcze wskutek skurczu pęka, gdy naprężenie jest większe niż wytrzymałość na rozciąganie. Lepizcza asfaltowe są materiałami kruchymi w związku, z czym są szczególnie podatne na pękanie w wyniku skurczu termicznego.

Zniszczenia niskotemperaturowe w nawierzchniach asfaltowych powstają głównie w wyniku naprężeń termicznych, gdy asfalt staje się kruchy. Przy ocenie zachowania się nawierzchni w ujemnych temperaturach mniej istotna jest szybkość poruszających się pojazdów, w porównaniu do naprężeń od obciążenia. Dlatego w celu oceny właściwości niskotemperaturowych lepizczy asfaltowych zasadna jest analiza sztywność asfaltu w niskiej temperaturze pod obciążeniem statycznym. Na rysunku 4-1 przedstawiono przykład zmiany modułu sztywności w funkcji czasu działania obciążenia pod obciążeniem statycznym. Przebieg krzywej modułu sztywności w funkcji czasu obciążenia zależy od przewagi właściwości lepkich lub sprężystych w danej temperaturze. Uważa się, że poprawę właściwości niskotemperaturowych lepizczy asfaltowych można uzyskać obniżając wartości składowej sprężystej i zwiększając udział składowej lepkiej. Dla asfaltów modyfikowanych krzywa sztywności charakteryzuje się mniejszym nachyleniem w porównaniu do asfaltów niemodyfikowanych. Można stwierdzić, że dla asfaltów modyfikowanych przejście od zachowania lepkiego (asymptota lepkości) do sprężystego (asymptota sprężystości) następuje o wiele wolniej.



Rys. 4-1. Moduł sztywności w funkcji czasu działania obciążenia statycznego. Interpretacja odczytu wartości modułu S i parametru m wg programu SHRP

Już od lat 50 XX w. znana była zasada określania sztywności asfaltu w niskich temperaturach w badaniu pełzania pod obciążeniem statycznym, natomiast ograniczenia konstrukcyjne powodowały, że taki pomiar był niezmiernie trudny. W latach 80-90 XX w. do badań modułu sztywności pod obciążeniem statycznym powszechnie wykorzystywano konsystomierz Höpplera, który umożliwiał pomiar pełzania w ujemnych temperaturach. Dopiero pod koniec XX w. w ramach projektu SHRP udało się opracować aparaturę o dostatecznej dokładności i łatwe w obsłudze. Opracowana w USA metoda to pomiar sztywności pełzania wykonywany na beleczkach lepizcza asfaltowego w reometrze BBR w temperaturach ujemnych (Bending Beam Rheometer). Przy ocenie właściwości niskotemperaturowych w aparacie BBR określa się wartość sztywności po 60s działania obciążenia oraz określa się bezwymiarową wartość parametru m, która charakteryzuje nachylenie stycznej do wykresu sztywności w

funkcji czasu. Schemat odczytu wartości  $S$  i  $m$  w badaniu BBR wg metodyki SHRP przedstawiono na rysunku 4-1.

Badanie to jest wymagane dla wszystkich lepiszczy, jest ono szczególnie ważne dla modyfikowanych lepiszczy, których zachowanie się w niskich temperaturach jest mało znane. Do badania lepiszcza w reometrze BBR przygotowuje się beleczki z materiału poddanego wcześniej procesom starzenia RTFOT i PAV. Beleczki wstępnie obciąża się siłą  $30 \pm 5$  mN, a następnie przykłada się stałe obciążenie badawcze  $980 \pm 50$  mN. Temperatura badania wynosi w zależności od stopnia PG od 0 do  $-36^\circ\text{C}$ . Oblicza się moduł sztywności  $S$  w badaniu pełzania po czasie obciążenia 60 s oraz zmianę sztywności  $m$ , która po 60s badania powinna być większa lub równa 0,300.

Badania lepiszczy asfaltowych przeprowadzono w 3 temperaturach:  $-12^\circ\text{C}$ ,  $-18^\circ\text{C}$ ,  $-30^\circ\text{C}$ . Beleczki o wymiarach 125/12,5/6,25 mm z lepiszcza umieszczone w łaźni chłodzącej, obciążano stałym obciążeniem skupionym  $980 \pm 50$  mN w środku rozpiętości belki i mierzono powstające ugięcie. Całkowity czas badania wynosił 480s, podczas którego rejestrowano w sposób ciągły ugięcia beleczki. Badania właściwości lepiszczy asfaltowych w niskich temperaturach przeprowadzono w reometrze zginanej belki (Bending Beam Rheometer – BBR) zgodnie z AASHTO TP1. Wartość modułu sztywności pełzania ( $S$ ) i spadek sztywności pełzania ( $m$ ) obliczono z następujących wzorów:

$$S(t) = \frac{P l^3}{4 b h^3 d(t)} \quad (3)$$

w którym:

$S(t)$  – sztywność po czasie  $t$  (60s),

$P$  – stałe obciążenie skupione = 980 mN,

$L$  – długość pomiarowa beleczki = 102 mm,

$b$  – szerokość próbki = 12,5 mm,

$h$  – wysokość próbki = 6,25 mm,

$d(t)$  – ugięcie po czasie  $t$  (60s),

$$m(t) = \frac{\log(S_t)}{\log(t)} \quad (4)$$

w którym:

$\log(S_t)$  – logarytm sztywności  $S$  po czasie  $t$  (60s),

$\log(t)$  – logarytm czasu (60s).



W tabelicy 4-1 zestawiono warunki pomiaru właściwości niskotemperaturowych w reometrze BBR, stosowane w Stanach Zjednoczonych wg systematyki Superpave oraz propozycje warunków badań z norm europejskich.

**Tablica 4-1. Porównanie kryteriów oceny właściwości niskotemperaturowych lepkości asfaltowych wg metody BBR**

Właściwość	Superpave	PN-EN 14023	PN-EN 13924
Moduł sztywności S	Temperatura w °C przy S ≤ 300 po RTFOT+PAV	Wartość S w MPa w temperaturze - 16°C	Temperatura w °C przy S = 300
Parametr m	Temperatura w °C przy m ≥ 0,300 po RTFOT+PAV	-	Temperatura w °C przy m = 0,300

Porównując zestawienie wymagań i kryteriów oceny asfaltów przedstawione w tabelicy 4-1, można stwierdzić, że istnieje duża rozbieżność pomiędzy zapisami w normach europejskich i wymaganiach amerykańskich. Według wymagań Superpave asfalty należy poddać najpierw laboratoryjnemu starzeniu metodą RTFOT symulującego starzenie technologiczne, a następnie zastosować metodę PAV do oceny przyspieszonego starzenia eksploatacyjnego lepkości asfaltowych. Lepiszczce poddane procesom starzenia długotrwałego poddaje się badaniu w reometrze zgnanej belki (BBR), w co najmniej dwóch temperaturach, w celu ustalenia temperatury, przy której spełnione są warunki podane w tabelicy 4-1. Zbliżone kryteria oceny zostały przyjęte w normie europejskiej PN-EN 13924 z tą różnicą, że nie badanie wykonuje się na asfaltach przed starzeniem. Natomiast zupełnie odmienne kryteria oceny zostały podane w normie na polimeroasfalty, które dotyczą wartości modułu sztywności w podanej temperaturze badania wynoszącej -16°C.

Wg amerykańskiego systemu oceny lepkości Superpave zakłada się ocenę trwałości nawierzchni już na etapie projektowania mieszanki mineralno-asfaltowej. Zakłada się, że jeżeli lepiszcze spełni dane kryteria odpowiednie do strefy klimatycznej, nawierzchnia będzie wykazywała odporność na spękania niskotemperaturowe w okresie pierwszych 15 lat od wbudowania mieszanki. Zapisy w normach europejskich na tle wymagań amerykańskich wydają się niespójne ze względu na różnicę w kryteriach oceny, gdzie raz wynikiem badania jest ustalenie temperatury, przy której spełnione zostały pewne warunki, natomiast w drugim przypadku wynikiem badania jest wartość modułu sztywności w ściśle ustalonej temperaturze. Obie normy europejskie dotyczą wymagań dla lepkości asfaltowych stosowanych do nawierzchni drogowych i wydaje się zasadne przyjęcie jednakowych kryteriów oceny, porównywalnie z wytycznymi amerykańskimi.

#### 4.2.2 Właściwości średnio- i wysokotemperaturowe - metoda badania modułu zespolonego i kąta przesunięcia fazowego w reometrze dynamicznego ścinania (DSR)

Badanie wykonuje się zgodnie z TP5 za pomocą reometru Dynamic Shear Rheometer. Lepkosprężyste właściwości lepiszcza bada się pod obciążeniem sinusoidalnym (cyklicznym), w różnych temperaturach. Oblicza się wartości, które pozwalają ocenić odporność MMA na trwałe odkształcenia w temperaturach panujących w okresie letnim i odporność na spękania zmęczeniowe w średnich temperaturach. Określa się: wartość zespolonego modułu ścinania  $G^*$  i wartość kąta fazowego  $\delta$  - przesunięcia fazowego między naprężeniem i odpowiadającym mu odkształceniem.

Moduł zespolony  $G^*$  jest miarą całkowitej odporności lepiszcza na odkształcenia;  $G^*$  jest zależne od czasu i składa się z części sprężystej i lepkiej. Kąt fazowy  $\delta$  określa opóźnienie powstałego odkształcenia w stosunku do naprężenia.

Badaniom poddaje się trzy rodzaje próbek tego samego lepiszcza, tj.: oryginalne lepiszcze, lepiszcze po RTFOT, lepiszcze po RTFOT i PAV.

Masa próbki do badania wynosi 1g, prędkość kątowa  $10 \text{ rad/s} = 1,59 \text{ Hz}$ . Średnica płytki  $\phi$  i grubość warstwy lepiszcza  $d$  jest następująca, dla: oryginalnego lepiszcza:  $\phi 25 \text{ mm}$ ,  $d = 1,00 \text{ mm}$ , lepiszcza po RTFOT:  $\phi 25 \text{ mm}$ ,  $d = 1,00 \text{ mm}$ , lepiszcza po RTFOT i PAV:  $\phi 8 \text{ mm}$ ,  $d = 2,00 \text{ mm}$

Temperatura badania zależy od najwyższej oczekiwanej temperatury nawierzchni (PG) i od wyboru na tej podstawie projektowej temperatury dla MMA.

Najwyższa temperatura badania wynosi, dla : oryginalnego lepiszcza:  $46 \div 82^\circ\text{C}$ , dla lepiszcza po RTFOT:  $46 \div 82^\circ\text{C}$ , dla lepiszcza po RTFOT i PAV:  $4 \div 40^\circ\text{C}$ . Temperaturę tę oblicza się jako średnią arytmetyczną z najwyższej i najniższej temperatury nawierzchni (PG) powiększonej o  $4^\circ\text{C}$ .

Badanie w reometrze dynamicznego ścinania (DSR) przeprowadza się w zakresie liniowej lepkosprężystości lepiszcza. Odpowiednio do tego wybiera się obciążenie ścinające.

Odkształcenia ścinania muszą leżeć w następujących zakresach:

- oryginalne lepiszcze: około 9-15%,
- lepiszcze po RTFOT: około 8-12%,
- lepiszcze po RTFOT i PAV: około 0.8-1.2%.

W wyniku badania dynamicznego ścinania oznacza się wartość  $G^*/\sin \delta$ , stanowiącą część sprężystą modułu zespolonego  $G^*$ . Powinna ona wynosić:

- w badaniu oryginalnego lepiszcza:  $G^*/\sin \delta \geq 1,00 \text{ kPa}$ ,
- w badaniu lepiszcza po RTOFT:  $G^*/\sin \delta \geq 2,20 \text{ kPa}$ .

Wyrażenie  $G^*/\sin \delta$  pozwala ocenić sztywność lepiszcza zarówno przy wbudowaniu MMA, jak również w punktu widzenia odkształcalności w wysokich temperaturach w okresie lata. W celu uniknięcia

trwałych odkształceń nawierzchni w tych temperaturach lub pod długotrwałym obciążeniem wskazana jest wyższa wartość modułu ścinania  $G^*$  i niższy kąt fazowy  $\delta$ , tzn. asfalt powinien mieć duży udział części sprężystej.

Odporność na zmęczenie określa się w średnich temperaturach eksploatacji nawierzchni dla lepiszcza po badaniu RTFOT i PAV na podstawie wartości iloczynu  $G^* \cdot \sin \delta$ , przy czym wyrażenie  $G^* \cdot \sin \delta$  powinno być mniejsze lub równe od 5000 kPa. W celu uniknięcia spękań zmęczeniowych wskazana jest niska wartość modułu ścinania. Przy dużym udziale części sprężystej kąt fazowy  $\delta$  oraz  $\sin \delta$  dążą do 0, wówczas zmniejsza się również wyrażenie  $G^* \cdot \sin \delta$ . Lepiszcz po badaniu RTFOT i PAV powinno być wystarczająco sprężyste aby było odporne na zmęczenie w średnich temperaturach eksploatacji nawierzchni.

### 4.3 Planowanie doświadczenia

Planowanie badań przeprowadzono zgodnie z planem kompletnym na trzech poziomach zmienności wielkości wejściowych. Przyjęto następujący zbiór wielkości wejściowych charakteryzujących badane lepiszcza:

- temperatura badania:
  - penetracja: 5, 15, 25°C,
  - energia odkształcenia: 5, 10, 15°C,
  - lepkość dynamiczna: 90, 110, 130°C,
  - zespolony moduł sztywności, kąt przesunięcia fazowego: -20, 0, 20, 40, 60°C.
- częstotliwość:
  - zespolony moduł sztywności, kąt przesunięcia fazowego w zakresie od 1,0 rad/s do 10<sup>8</sup> rad/s.
- rodzaj lepiszcza:
  - asfalty drogowe (20/30, 35/50, 50/70) i polimeroasfalty (PmB 25/55-60, PmB 45/80-55).
- technologia starzenia lepiszczy:
  - bez starzenia,
  - po starzeniu technologicznym,
  - po starzeniu technologicznym i eksploatacyjnym.

Wielkościami wyjściowymi dla lepiszczy są charakterystyki określone w badaniach normowych, reologicznych oraz na podstawie metodyki wg SHRP. W badaniach określono następujące cechy techniczne lepiszczy asfaltowych:

- penetracja,
- temperatura mięknięcia,
- odporność na starzenie technologiczne – zmiana masy,

- odporność na starzenie technologiczne – pozostała penetracja,
- odporność na starzenie technologiczne – temperatura mięknięcia po starzeniu,
- odporność na starzenie technologiczne i eksploatacyjne – zmiana masy,
- odporność na starzenie technologiczne i eksploatacyjne – pozostała penetracja,
- odporność na starzenie technologiczne i eksploatacyjne – temperatura mięknięcia po starzeniu,
- temperatura zapłonu,
- indeks penetracji,
- temperatura łamliwości,
- maksymalna siła rozciągająca w badaniu ciągliwości,
- energia odkształcenia w badaniu ciągliwości,
- nawrót sprężysty,
- stabilność magazynowania – różnica penetracji,
- stabilność magazynowania – różnica temperatury mięknięcia,
- zakres plastyczności,
- lepkość dynamiczna w aparacie Brookfielda,
- Karata Jakości Asfaltu,
- zespolony moduł ścinania DSR – wysokie temperatury,
- zespolony moduł ścinania DSR – niskie temperatury,
- kąt przesunięcia fazowego DSR,
- tangens kąta przesunięcia fazowego DSR, sinus kąta przesunięcia fazowego DSR,
- sprężysta część modułu zespolonego DSR -  $G^* - G^*/\sin\delta$ ,
- parametr  $G^* \cdot \sin\delta$ , DSR,
- sztywność pełzania BBR w niskich temperaturach - S,
- sztywność pełzania BBR – zmiana sztywności pełzania – m,
- rodzaj funkcjonalny PG,
- adhezja metodą butelkową,

- mikrostruktura polimeroasfaltów – ciągłość faz, opis faz, opis rozmiaru, opis kształtu,
- skład grupowy – zawartość olejów, żywic, asfaltenów.

#### 4.4 Opracowanie metody poboru próbek

Pobrane próbki do badań reprezentują dwóch podstawowych producentów asfaltów i polimeroasfaltów w Polsce. Przeanalizowano rynek producentów mieszanek mineralno-asfaltowych. Wytwórnice podzielono wg regionów geograficznych oraz rodzajów stosowanych lepiszczy asfaltowych. Próbki zostały pobrane w wylosowanych wytwórniach mieszanek mineralno-asfaltowych z następujących rejonów Polski: region północno-wschodni, centralny, południowy i południowo zachodni. Pobrano ogółem 29 próbek różnych lepiszczy. Każda próbka o masie 10 kg została pobrana zgodnie z normę PN-EN 58:2009 w czasie rozładunku lepiszcza w wytwórni MMA. Próbki pobierano w czasie sezonu budowlanego 2010 roku, tj. od kwietnia do listopada. Wytypowane wytwórnice, w których pobrano próbki zlokalizowane były na całym obszarze Polski.

Próbki pobrano do wysłanych uprzednio stalowych pojemników o objętości 10 litrów. Do każdej próbki załączono „Świadectwo jakości” oraz formularz wg wzoru przedstawionego na rysunku 4-2.

## LABORATORIUM KOMPOZYTÓW BITUMICZNYCH

POLITECHNIKA WARSZAWSKA  
WYDZIAŁ INŻYNIERII LĄDOWEJ  
KATEDRA INŻYNIERII  
MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH



Al. Armii Ludowej 16  
00-637 Warszawa, POLSKA;  
tel.: (+48 22) 234-56-74,  
tel./fax: (+48 22) 825-76-37

### Formularz pobierania próbek lepkości asfaltowego

Data pobrania \_\_\_\_\_ Godzina pobrania \_\_\_\_\_

Miejsce pobrania \_\_\_\_\_

Nazwisko osoby pobierającej \*) \_\_\_\_\_

Podpis osoby pobierającej \*) \_\_\_\_\_

**Rodzaj pobieranego asfaltu (zakreślić właściwy)**

<b>20/30</b>	<b>35/50</b>	<b>50/70</b>	<b>PmB 25/55-60</b>	<b>PmB 45/80-55</b>
--------------	--------------	--------------	-------------------------	-------------------------

**Producent asfaltu (zakreślić właściwy)**

<b>Producent I</b>	<b>Producent II</b>
--------------------	---------------------

Data produkcji asfaltu \_\_\_\_\_

Miejsce produkcji asfaltu \_\_\_\_\_

Dostawca asfaltu \_\_\_\_\_

#### **INSTRUKCJA POBORU PRÓBEK**

Próbkę należy pobrać zgodnie z PN-EN 58:2009. Asfalty i produkty asfaltowe -- Pobieranie próbek produktów asfaltowych.

Próbkę należy pobrać podczas przepompowywania asfaltu z cysterny do zbiornika wytwórni.

#### **UWAGI**

\*) nie wymagane

Rys. 4-2. Wzór formularza pobierania próbek

Po dostarczeniu próbek do Laboratorium Politechniki Warszawskiej, próbki aż do czasu przeprowadzenia oznaczeń przechowywane były w warunkach chłodniczych w temperaturze +5°C.

Od każdego producenta lepiszczy pobrano asfalty drogowe i polimeroasfalty o różnej konsystencji. Wykaz próbek asfaltów poddanych badaniom przedstawiono w tablicy 4-2.

**Tablica 4-2. Zestawienie lepiszczy asfaltowych poddanych badaniom laboratoryjnym**

Lp.	Rodzaj lepiszcza	Producent lepiszcza	Miejsce pobrania próbek; nr wytwórni 1, 2, 3, 4
1	20/30_1	I	1
2	20/30_2	I	1
3	20/30_3	II	1
4	20/30_4	II	1
5	35/50_1	II	1
6	35/50_2	II	2
7	35/50_3	II	3
8	35/50_4	II	1
9	35/50_5	I	4
10	35/50_6	I	3
11	35/50_7	I	3
12	35/50_8	II	3
13	50/70_1	II	1
14	50/70_2	II	1
15	50/70_3	II	1
16	50/70_4	II	2
17	50/70_5	I	3
18	50/70_6	II	3
19	50/70_7	I	1
20	PmB 25/55-60_1	II	4
21	PmB 25/55-60_2	I	4
22	PmB 25/55-60_3	II	3
23	PmB 25/55-60_4	I	1
24	PmB 25/55-60_5	II	3
25	PmB 45/80-55_1	I	2
26	PmB 45/80-55_2	I	1
27	PmB 45/80-55_3	I	4
28	PmB 45/80-55_4	I	4
29	PmB 45/80-55_5	II	1

## 5 BADANIA NORMOWE ASFALTÓW I ASFALTÓW MODYFIKOWANYCH. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

### 5.1 Metodyka badań laboratoryjnych

Zaplanowane badania lepkości asfaltowych wykonano zgodnie z obowiązującymi normami dla asfaltów drogowych wg normy PN-EN 12591:2010 (Tablica 5-1 i Tablica 5-2) i dla polimeroasfaltów wg PN-EN 14023:2010 (Tablica 5-3). Ponadto, przeprowadzono dodatkowe badania właściwości lepkosprężystych asfaltów zgodnie z metodyką SHRP: dynamicznego ścinania w aparacie DSR oraz sztywności pełzania w aparacie BBR. Badania właściwości asfaltów i polimeroasfaltów przeprowadzono dla lepkości przed i po starzeniu technologicznym RTFOT i po starzeniu eksploatacyjnym (RTFOT+PAV).

Tablica 5-1. Metodyka badania właściwości asfaltów drogowych wg PN-EN 12591:2010

Właściwość	Jednostka	Metoda badania
Penetracja w 25°C	x 0,1 mm	EN 1426
Temperatura mięknięcia	°C	EN 1427
Odporność na starzenie w 163°C		EN 12607-1
Zmiana masy	% m/m	
Pozostała penetracja	%	
Wzrost temperatury mięknięcia po starzeniu lub Wzrost temperatury mięknięcia po starzeniu	°C °C	
Temperatura zapłonu	°C	EN ISO 2592
Rozpuszczalność	% m/m	EN 12592

Tablica 5-2. Wymagania właściwości krajowych asfaltów drogowych wg PN-EN 12591:2010

Właściwość	Jednostka	Metoda badania
Indeks penetracji		Załącznik A c
Lepkość dynamiczna w 60 °C	Pa·s	EN 12596
Temperatura łamliwości wg Frassa	°C	EN 12593
Lepkość kinematyczna w 135 °C	mm <sup>2</sup> /s	EN 12595



**Tablica 5-3. Badania właściwości asfaltów modyfikowanych polimerami (PMB) wg PN-EN 14023:2010**

Właściwość		Jednostka	
	Penetracja w 25°C	PN-EN 1426	0,1 mm
	Temperatura mięknięcia	PN-EN 1427	°C
	Siła rozciągania	PN-EN 13589 PN-EN 13703	J/cm <sup>2</sup>
	Zmiana masy po starzeniu	PN-EN 12607-1	% m/m
	Pozostała penetracja w 25°C po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 1426	%
	Wzrost temperatury mięknięcia po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 1427	°C
	Temperatura zapłonu	EN ISO 2592	°C
Właściwości dodatkowe	Temperatura łamliwości	PN-EN 12593	°C
	Nawrót sprężysty w 25°C	PN-EN 13398	%
	Przedział plastyczności	PN-EN 14023	°C
	Stabilność składowania - różnica w temperaturze mięknięcia	PN-EN 13399 PN-EN 1427	°C
	Spadek temperatury mięknięcia po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 1427	°C
	Nawrót sprężysty w 25°C po starzeniu	PN-EN 12607-1 PN-EN 13398	%

## 5.2 Badanie penetracji

Wyniki badania penetracji lepiszczy w temperaturach 5, 15 i 25 °C przed starzeniem przedstawiono w tablicy 5-4 a w formie graficznej w grupach twardości lepiszczy na rysunkach 5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-5.

**Weryfikacja wymagań i metod oceny właściwości lepkością krajowych asfaltów i asfaltów modyfikowanych**

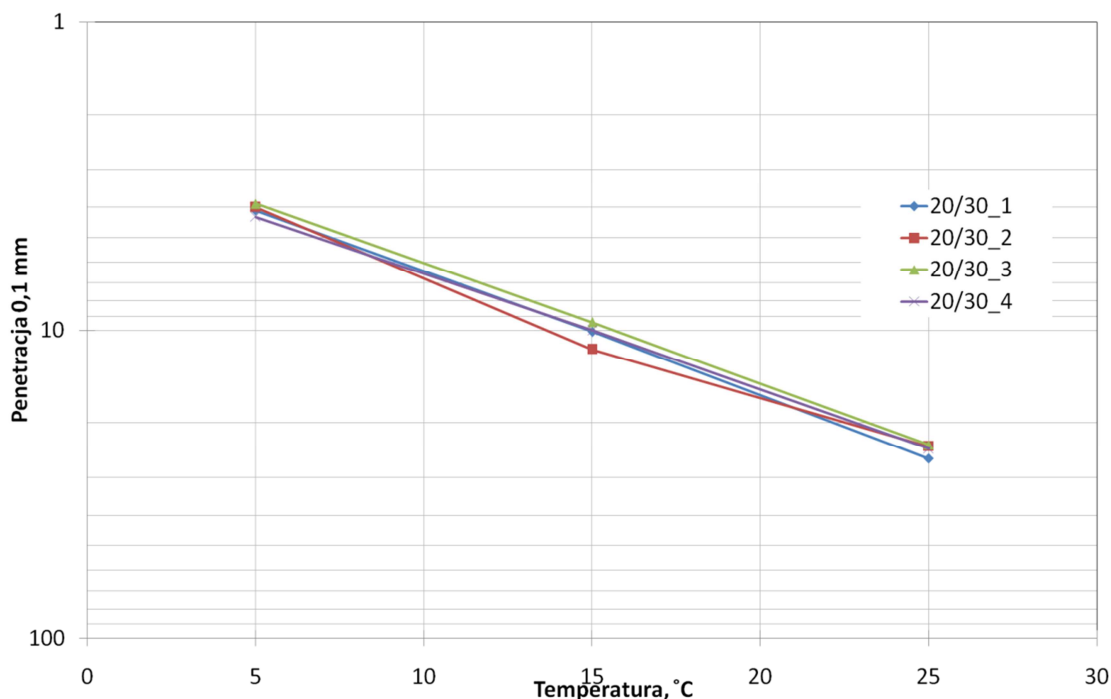
**Tablica 5-4. Penetracja lepkości przed starzeniem**

Rodzaj lepkości	Penetracja w 5°C [0,1 mm]			Penetracja w 15°C [0,1 mm]			Penetracja w 25°C [0,1 mm]		
	wartość	średnia	odchylenie standardowe	wartość	średnia	odchylenie standardowe	wartość	średnia	odchylenie standardowe
20/30_1	4.1	4.1	0.2	10.1	10.3	0.9	26.2	24.5	1.2
20/30_2	4.0			11.5			23.9		
20/30_3	3.9			9.4			23.6		
20/30_4	4.3			10.0			24.3		
35/50_1	6.2	6.3	0.9	15.3	15.6	1.8	40.1	39.4	2.6
35/50_2	7.3			14.6			42.0		
35/50_3	5.4			15.1			38.0		
35/50_4	6.0			14.8			39.1		
35/50_5	5.3			14.5			39.1		
35/50_6	5.4			14.0			34.7		
35/50_7	7.1			16.5			38.6		
35/50_8	7.6			19.6			43.3		
50/70_1	8.4	8.9	1.4	22.1	20.6	1.5	58.0	57.6	5.6
50/70_2	9.4			20.2			50.9		
50/70_3	10.0			22.0			55.0		
50/70_4	10.6			19.4			69.0		
50/70_5	8.3			22.2			57.8		
50/70_6	9.4			19.4			55.0		
50/70_7	6.3			18.9			57.9		
PmB 25/55-60_1	6.1	6.6	1.4	13.1	14.8	2.5	33.4	33.4	6.1
PmB 25/55-60_2	5.7			14.4			36.0		
PmB 25/55-60_3	5.1			12.7			24.6		
PmB 25/55-60_4	7.4			15.0			31.7		
PmB 25/55-60_5	8.6			19.0			41.3		
PmB 45/80-55_1	9.2	8.0	1.6	17.5	19.5	1.9	46.0	49.8	4.1
PmB 45/80-55_2	6.5			18.7			48.6		
PmB 45/80-55_3	6.6			18.8			52.5		
PmB 45/80-55_4	7.7			20.0			46.4		
PmB 45/80-55_5	10.1			22.6			55.5		

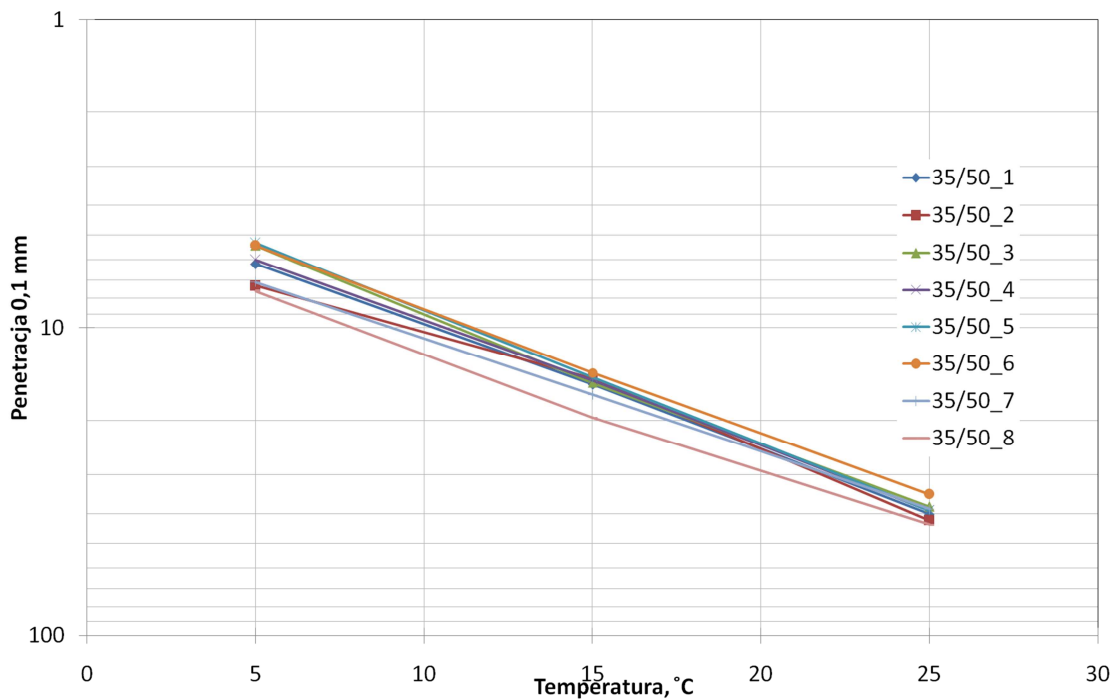
Przedstawione w tablicy 5-4 wyniki badania twardości lepiszczy wykazują zróżnicowanie wartości penetracji w grupach twardości, lecz poza pojedynczymi badanymi lepiszczami spełniają wymagania penetracji dla poszczególnych grup twardości. Asfalty rodzaju 20/30 wykazują penetrację w temperaturze 25°C w zakresie od 23.6 do 26.2x0.1 mm. Wśród 8 badanych asfaltów rodzaju 35/50 jeden z asfaltów producenta 1 wykazuje zaniżoną penetrację poniżej 35x0.1mm. Pozostałe asfalty w tej grupie twardości wykazują penetrację w zakresie od 38.0 do 43.3. W grupie asfaltów rodzaju 50/70 obserwuje się duże zróżnicowanie wartości penetracji wynoszące od 50.9 do 69.0x0.1mm. Polimeroasfalty rodzaju 25/55-60 wykazują penetrację w zakresie od 24.6 (niezgodne z PN-EN, producent 2) do 41.3. Polimeroasfalty 45/80-55 wykazują zróżnicowanie penetracji od 46.0 do 55.5x0.1mm.

Analizując jednorodność produkcji lepiszczy dla poszczególnych producentów należy stwierdzić, że największe zróżnicowanie penetracji lepiszczy występuje wśród lepiszczy producenta 2.

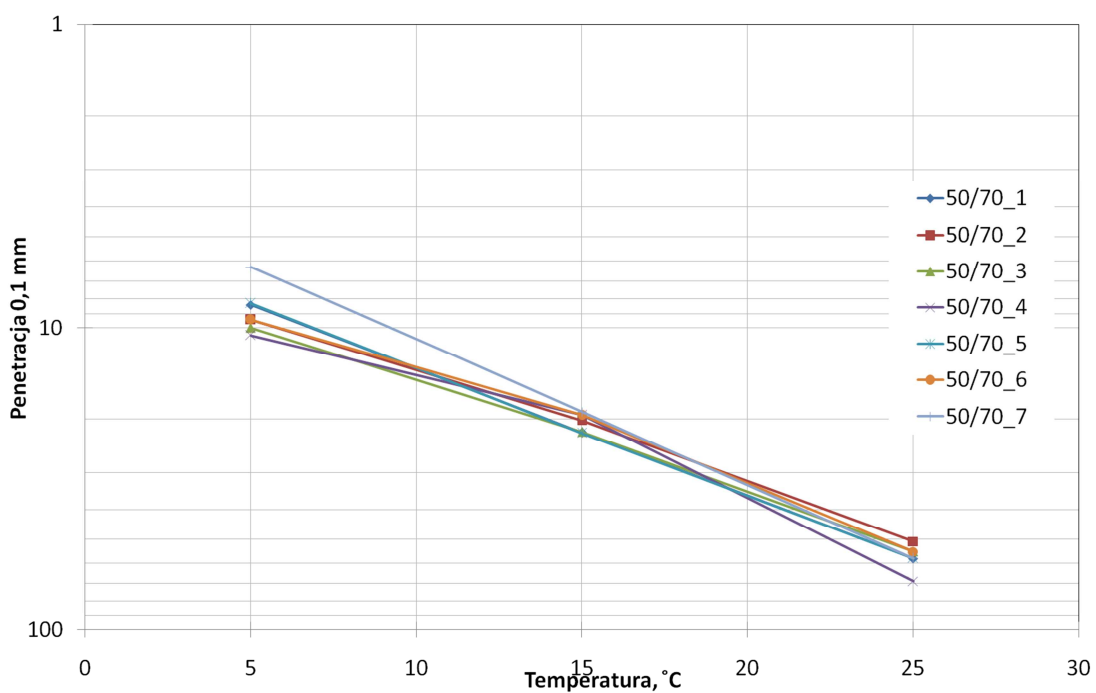
Potwierdzeniem uwag przedstawionych powyżej są wykresy penetracji w funkcji temperatury (5-1, 5-2, 5-3, 5-4, 5-5).



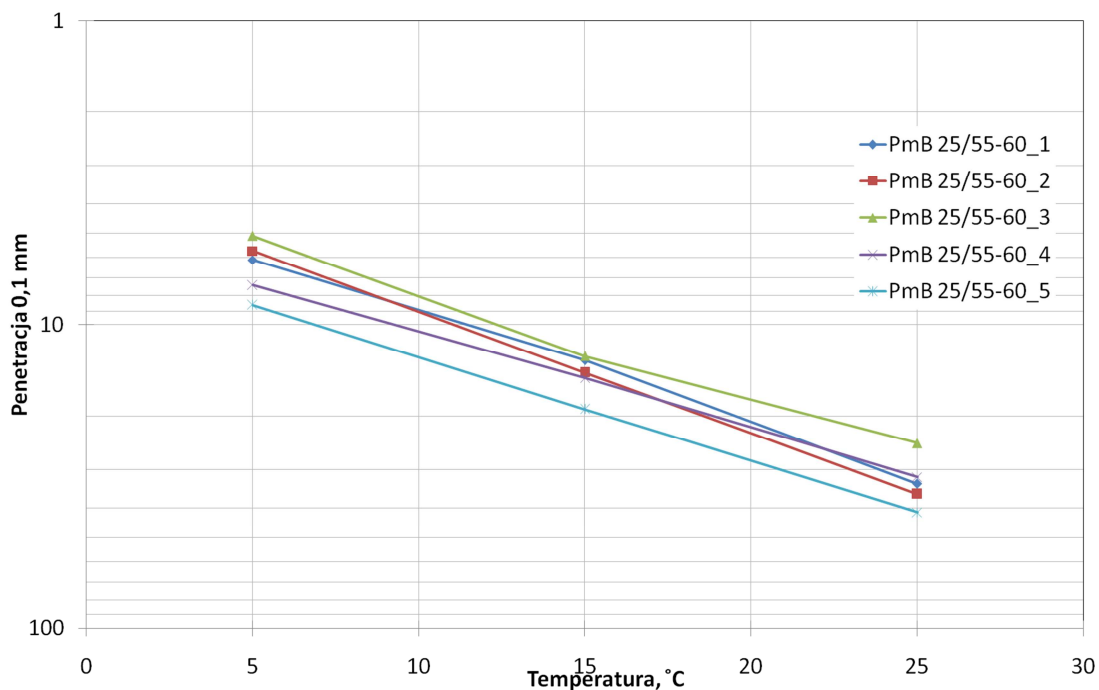
Rys. 5-1. Penetracja asfaltów rodzaju 20/30 w funkcji temperatury



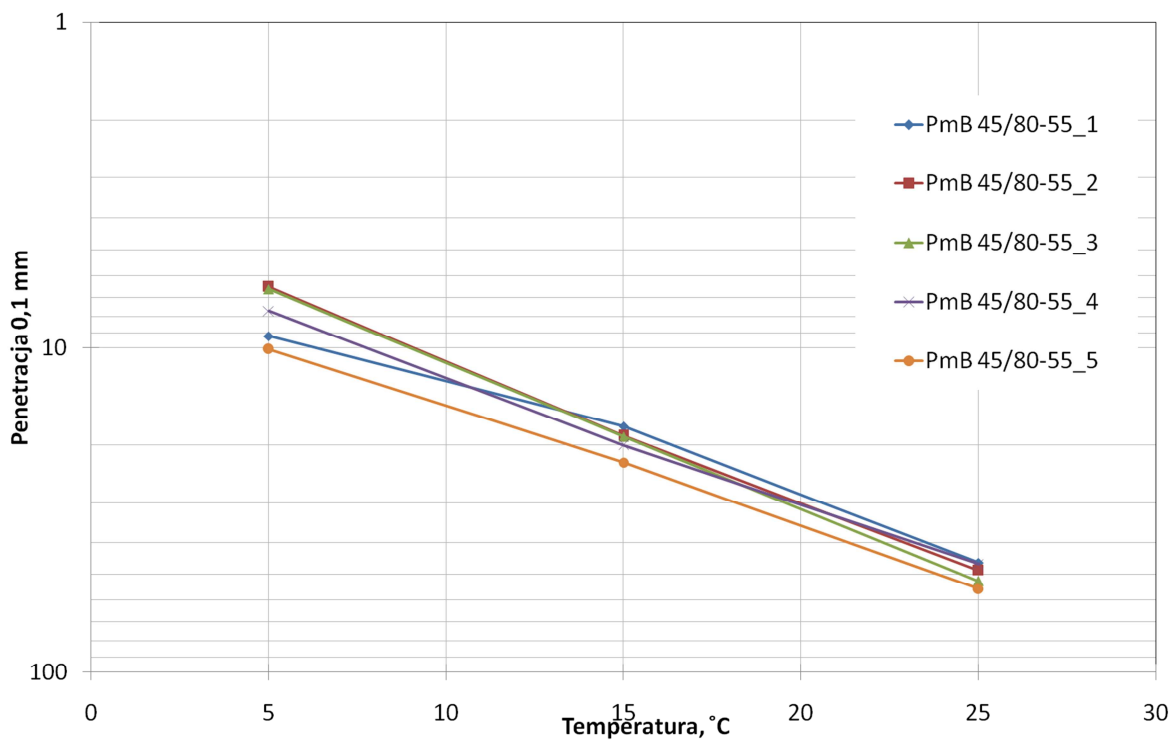
Rys. 5-2. Penetracja asfaltów rodzaju 35/50 w funkcji temperatury



Rys. 5-3. Penetracja asfaltów rodzaju 50/70 w funkcji temperatury



Rys. 5-4. Penetracja polimeroasfaltów rodzaju PMB 25/55-60 w funkcji temperatury



Rys. 5-5. Penetracja polimeroasfaltów rodzaju PMB 45/80-55 w funkcji temperatury

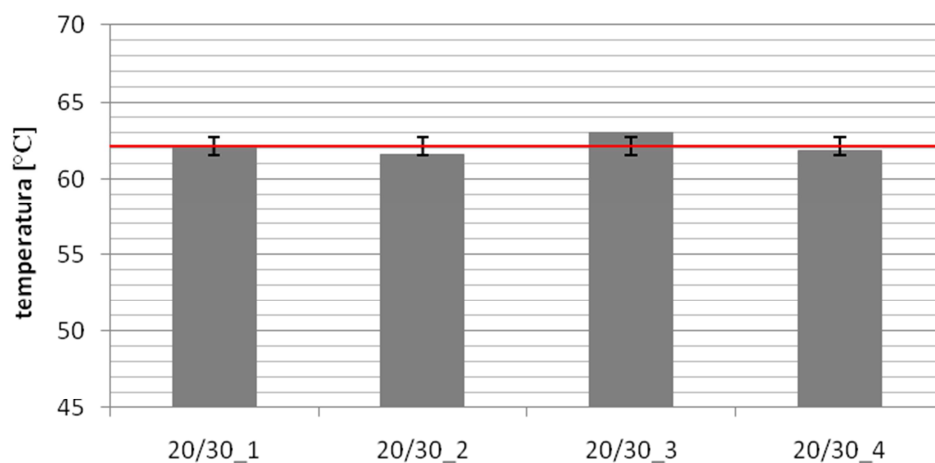
### 5.3 Badanie temperatury mięknięcia

Wyniki badania temperatury mięknięcia metodą PiK lepszycy przed starzeniem przedstawiono w tablicy 5-5 a w formie graficznej w grupach twardości asfaltów na rysunkach 5-6, 5-7, 5-8, 5-9, 5-10.

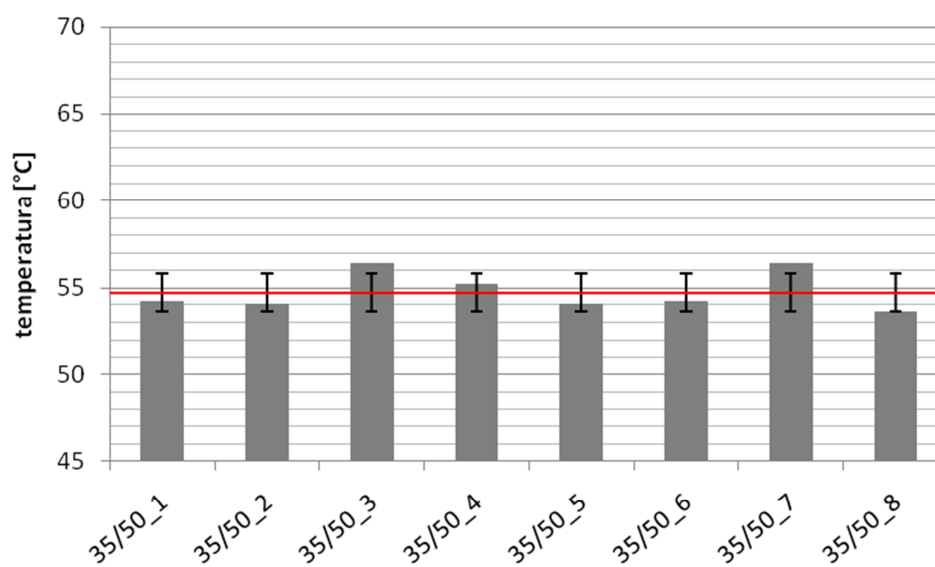
Tablica 5-5. Wyniki badań temperatury mięknięcia wg PiK

Rodzaj lepszycy	Temperatura mięknięcia wg PiK [°C]		
	wartość	średnia	odchylenie standardowe
20/30_1	62.1	62.1	0.6
20/30_2	61.6		
20/30_3	63.0		
20/30_4	61.8		
35/50_1	54.2	54.8	1.1
35/50_2	54.1		
35/50_3	56.4		
35/50_4	55.2		
35/50_5	54.0		
35/50_6	54.2		
35/50_7	56.4		
35/50_8	53.6		
50/70_1	50.0	49.7	1.8
50/70_2	53.2		
50/70_3	50.0		
50/70_4	47.5		
50/70_5	48.5		
50/70_6	49.7		
50/70_7	49.3		
PmB 25/55-60_1	64.8	64.2	4.2
PmB 25/55-60_2	66.3		
PmB 25/55-60_3	69.6		
PmB 25/55-60_4	59.4		
PmB 25/55-60_5	60.7		
PmB 45/80-55_1	57.9	58.9	2.9
PmB 45/80-55_2	56.1		
PmB 45/80-55_3	62.1		
PmB 45/80-55_4	56.4		
PmB 45/80-55_5	61.9		

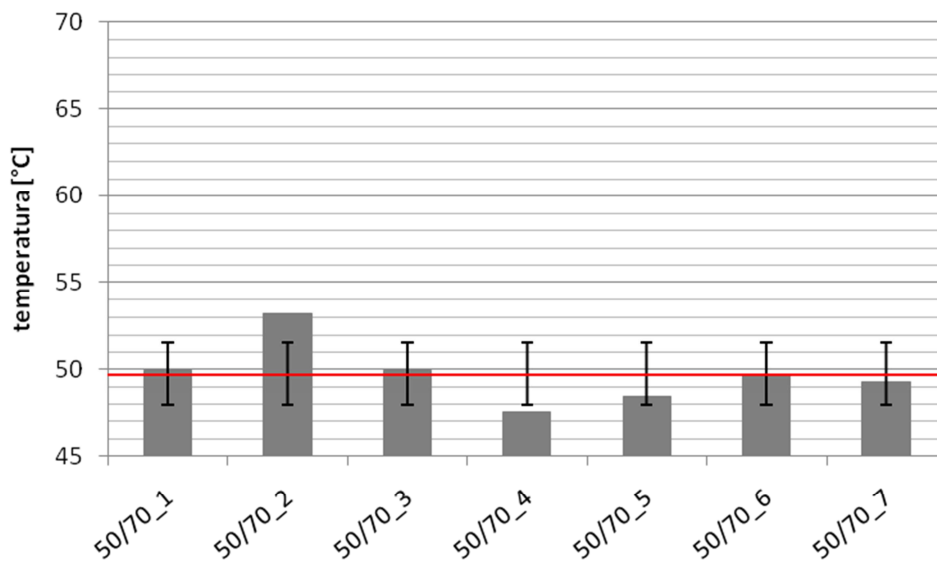
Wyniki badania temperatury mięknięcia zawarte w tablicy 5-5 wykazują mniejsze zróżnicowanie w grupach asfaltów niemodyfikowanych w porównaniu do asfaltów modyfikowanych. Z badanych asfaltów modyfikowanych rodzaju 25/55-60 jeden asfalt nie spełnia wymagań normy PN-EN. Największe zróżnicowanie w wynikach temperatury mięknięcia otrzymano dla polimeroasfaltów z grupy twardości 25/55-60 co zobrazowano na rysunku 5-9.



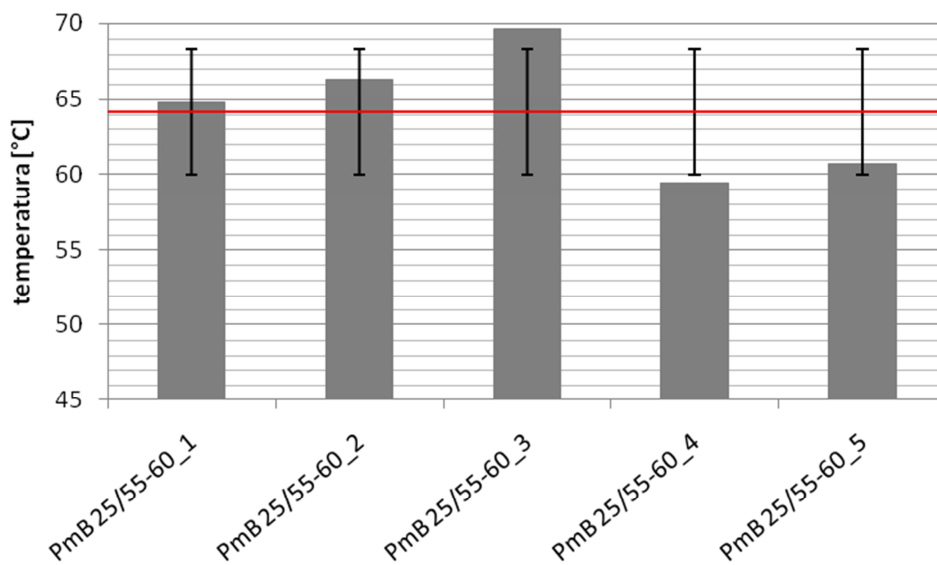
Rys. 5-6. Temperatura mięknięcia asfaltów rodzaju 20/30



Rys. 5-7. Temperatura mięknięcia asfaltów rodzaju 35/50

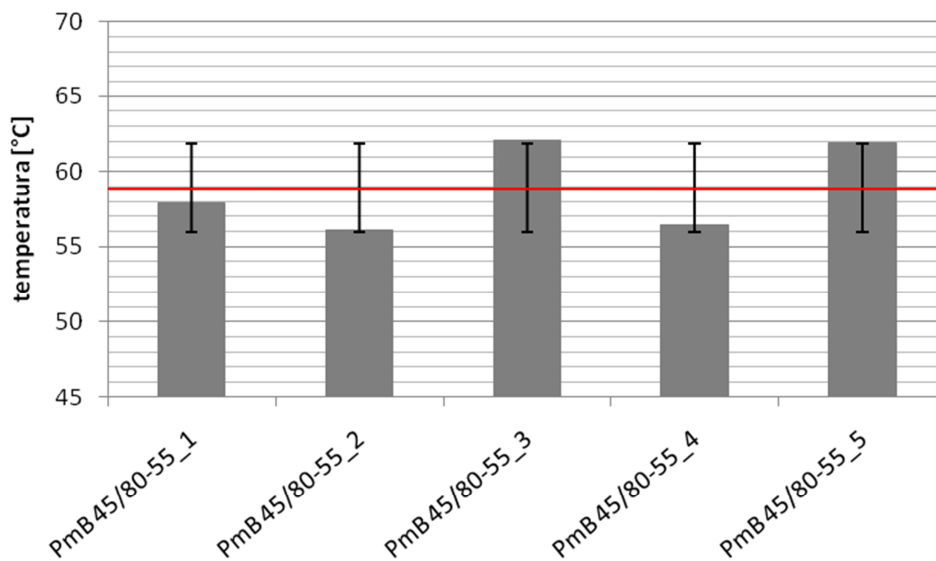


Rys. 5-8. Temperatura mięknięcia asfaltów rodzaju 50/70



Rys. 5-9. Temperatura mięknięcia lepisczy rodzaju PMB 25/55-60





Rys. 5-10. Temperatura mięknienia lepiszczy rodzaju PMB 45/80-55

Temperaturę mięknienia może być uznana jako względna miara odporności lepiszcza i mieszanki mineralno-asfaltowej na deformacje trwałe w wysokich temperaturach eksploatacyjnych. Analizując średnie arytmetyczne obliczone dla poszczególnych rodzajów i grup twardości asfaltów można stwierdzić, że modyfikacja jest skutecznym sposobem zwiększenia odporności na odkształcenia. Asfalty drogowe niemodyfikowane, o średnich penetracjach, stosowane w Polsce do wykonywania nawierzchni drogowych, charakteryzują się średnio o 10°C niższą temperaturą mięknienia.

## 5.4 Temperatura zapłonu lepkości asfaltowych

Wyniki badania temperatury zapłonu lepkości asfaltowych przedstawiono w tabelicy 5-6.

Tablica 5-6. Temperatura zapłonu lepkości asfaltowych

Rodzaj lepiscza	Temperatura zapłonu [°C]		
	wartość	średnia	odchylenie standardowe
20/30_1	340	333	10
20/30_2	318		
20/30_3	336		
20/30_4	336		
35/50_1	332	331	8
35/50_2	336		
35/50_3	328		
35/50_4	318		
35/50_5	340		
35/50_6	340		
35/50_7	332		
35/50_8	324		
50/70_1	334	329	8
50/70_2	316		
50/70_3	328		
50/70_4	336		
50/70_5	340		
50/70_6	324		
50/70_7	326		
PmB 25/55-60_1	328	330	9
PmB 25/55-60_2	346		
PmB 25/55-60_3	322		
PmB 25/55-60_4	330		
PmB 25/55-60_5	326		
PmB 45/80-55_1	342	333	10
PmB 45/80-55_2	330		
PmB 45/80-55_3	344		
PmB 45/80-55_4	320		
PmB 45/80-55_5	328		

Wyniki badania przedstawione w tabelicy 5-6 wskazują, że temperatury zapłonu znacznie przekraczają wartości dopuszczalne wg PN-EN o około 100°C, co daje duży zapas bezpieczeństwa przy stosowaniu tych lepkości do mieszanek mineralno-asfaltowych.

## 5.5 Badanie temperatury łamliwości lepizczy asfaltowych

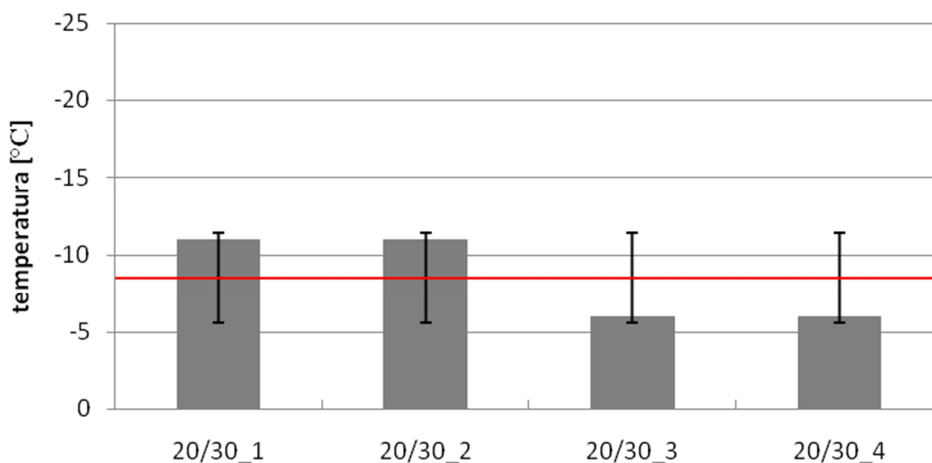
Wyniki badania temperatury łamliwości według Frassa lepizczy asfaltowych przedstawiono w tablicy 5-7 a w formie graficznej w grupach twardości oraz z podziałem na lepizcza modyfikowane i niemodyfikowane na rysunkach 5-11, 5-12, 5-13, 5-14, 5-15.

**Tablica 5-7. Temperatura łamliwości według Frassa**

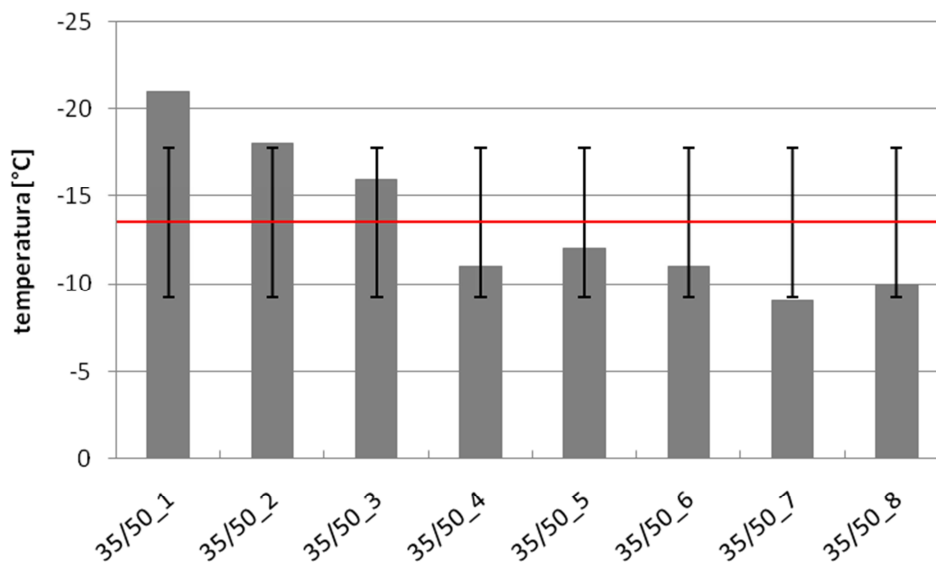
Rodzaj lepizcza	Temp. łamliwości wg Frassa, [°C]		
	wartość	średnia	odchylenie standardowe
20/30_1	-11	-9	3
20/30_2	-11		
20/30_3	-6		
20/30_4	-6		
35/50_1	-13	-14	4
35/50_2	-15		
35/50_3	-16		
35/50_4	-11		
35/50_5	-12		
35/50_6	-11		
35/50_7	-9		
35/50_8	-10		
50/70_1	-12	-15	4
50/70_2	-14		
50/70_3	-18		
50/70_4	-17		
50/70_5	-14		
50/70_6	-16		
50/70_7	-11		
PmB 25/55-60_1	-11	-15	5
PmB 25/55-60_2	-16		
PmB 25/55-60_3	-17		
PmB 25/55-60_4	-18		
PmB 25/55-60_5	-20		
PmB 45/80-55_1	-14	-14	3
PmB 45/80-55_2	-11		
PmB 45/80-55_3	-18		
PmB 45/80-55_4	-17		
PmB 45/80-55_5	-15		

Wyniki zawarte w tablicy 5-7 potwierdzają powszechnie panującą opinię o trudnej do osiągnięcia powtarzalności wyników badania temperatury łamliwości.

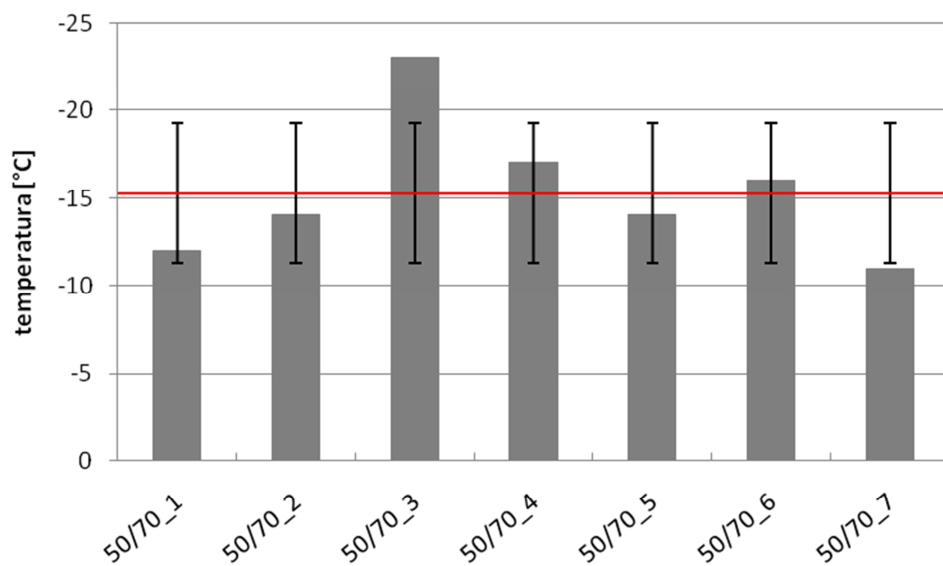
W poszczególnych grupach twardości lepischerzy otrzymano duże zróżnicowanie wyników badań wynoszące aż 9°C co świadczy pośrednio o zróżnicowaniu badanych lepischerzy. Dotyczy to szczególnie lepischerzy modyfikowanych. Pomimo powyższych stwierdzeń należy również podkreślić, że asfalty modyfikowane wykazują niższe, korzystniejsze wartości temperatury łamliwości (rysunki 5-14, 5-15).



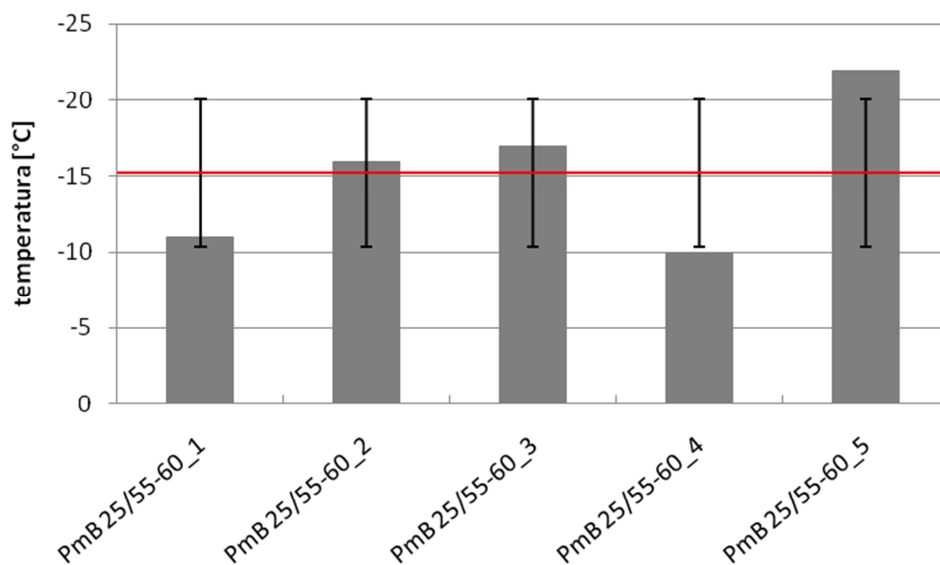
Rys. 5-11. Temperatura łamliwości asfaltów rodzaju 20/30



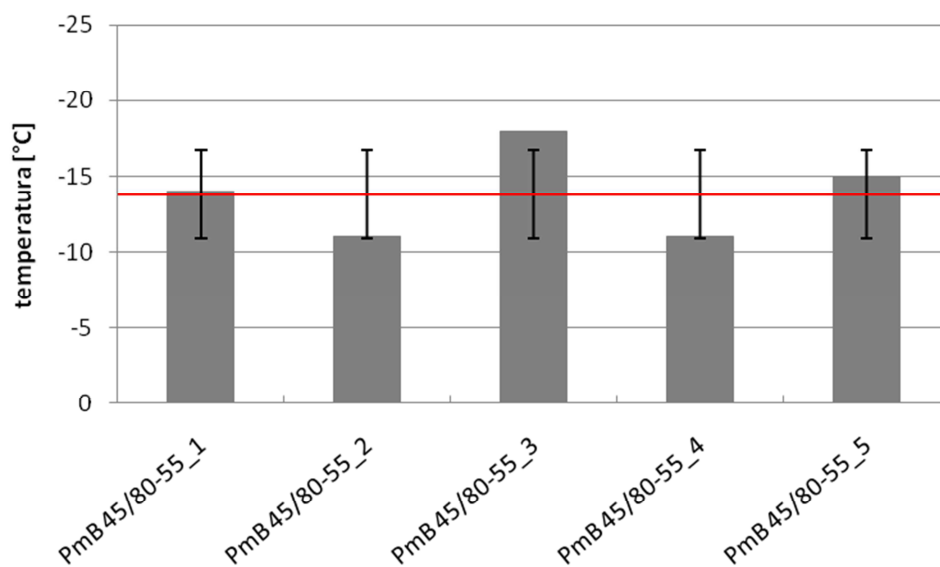
Rys. 5-12. Temperatura łamliwości asfaltów rodzaju 35/50



Rys. 5-13. Temperatura łamliwości asfaltów rodzaju 50/70



Rys. 5-14. Temperatura łamliwości polimerasfaltów rodzaju PMB 25/55-60



Rys. 5-15. Temperatura łamliwości polimeroasfaltów rodzaju PMB 45/80-55

## 5.6 Zakres plastyczności lepiszczy asfaltowych

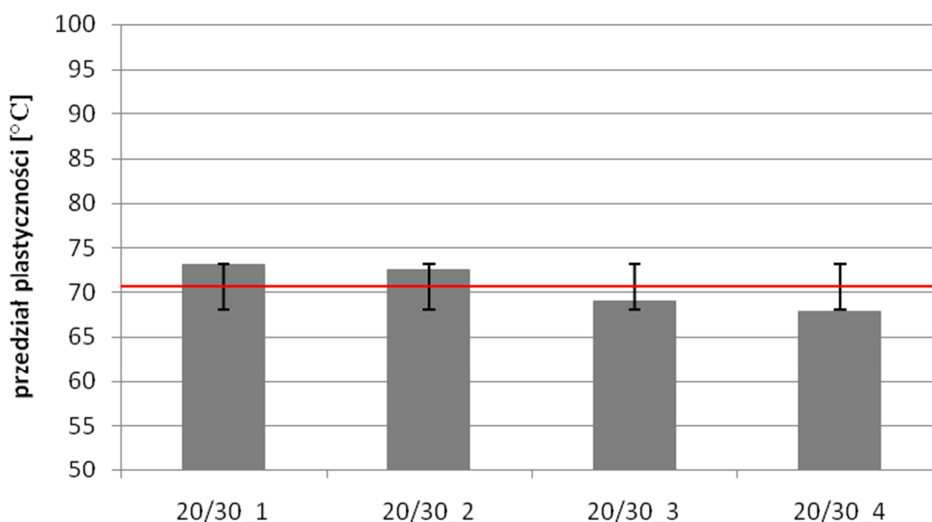
Wyniki określenia zakresu plastyczności lepiszczy asfaltowych przedstawiono w tabelicy 5-8 a w formie graficznej w grupach twardości lepiszczy oraz z podziałem na lepiszcza modyfikowane i niemodyfikowane na rysunkach 5-16, 5-17, 5-18, 5-19 i 5-20.

Tablica 5-8. Temperatura łamliwości według Frassa

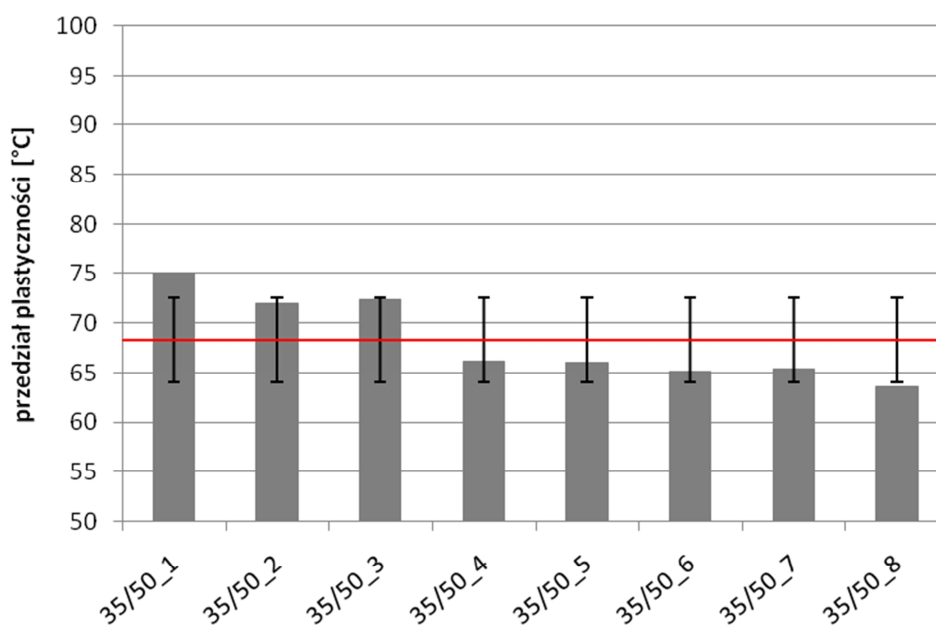
Rodzaj lepiszcza	Temp. łamliwości wg Frassa [°C]	Temp. mięknięcia wg PiK [°C]	Przedział plastyczności [°C]
20/30_1	-11	62.1	73.1
20/30_2	-11	61.6	72.6
20/30_3	-6	63.0	69.0
20/30_4	-6	61.8	67.8
35/50_1	-13	54.2	67.2
35/50_2	-15	54.1	69.1
35/50_3	-16	56.4	72.4
35/50_4	-11	55.2	66.2
35/50_5	-12	54.0	66.0
35/50_6	-11	54.2	65.2
35/50_7	-9	56.4	65.4
35/50_8	-10	53.6	63.6
50/70_1	-12	50.0	62.0
50/70_2	-14	53.2	67.2
50/70_3	-18	50.0	68.0
50/70_4	-17	47.5	64.5
50/70_5	-14	48.5	62.5
50/70_6	-16	49.7	65.7
50/70_7	-11	49.3	60.3
PmB 25/55-60_1	-11	64.8	75.8
PmB 25/55-60_2	-16	66.3	82.3
PmB 25/55-60_3	-17	69.6	86.6
PmB 25/55-60_4	-18	59.4	77.4
PmB 25/55-60_5	-20	60.7	80.7
PmB 45/80-55_1	-14	57.9	71.9
PmB 45/80-55_2	-11	56.1	67.1
PmB 45/80-55_3	-18	62.1	80.1
PmB 45/80-55_4	-17	56.4	73.4
PmB 45/80-55_5	-15	61.9	76.9

W normach PN-EN zostały sprecyzowane wymagania dotyczące zakresu plastyczności tylko dla asfaltów modyfikowanych polimerami. Dla polimeroasfaltów klasy technicznej 3 (penetracja 25-55x0.1mm) zakres plastyczności [powinien wynosić  $\geq 80^{\circ}\text{C}$  a dla klasy 4 (penetracja 45-80x0.1mm)  $\geq 75^{\circ}\text{C}$ . Z tablicy 5-8 (Rys. 5-19 i 5-20) wynika, że dwa polimeroasfalty rodzaju 25/55-60 oraz dwa polimeroasfalty rodzaju 45/80-55 nie spełniają wymagań normy PN-EN 14023.

Wyniki badań asfaltów drogowych wskazują, że ich zakres plastyczności zależy od konsystencji i wynosić dla asfaltów 20/30 około  $62^{\circ}\text{C}$ , dla asfaltów 35/50 – około  $55^{\circ}\text{C}$  i dla asfaltów 50/70 – około  $50^{\circ}\text{C}$ .

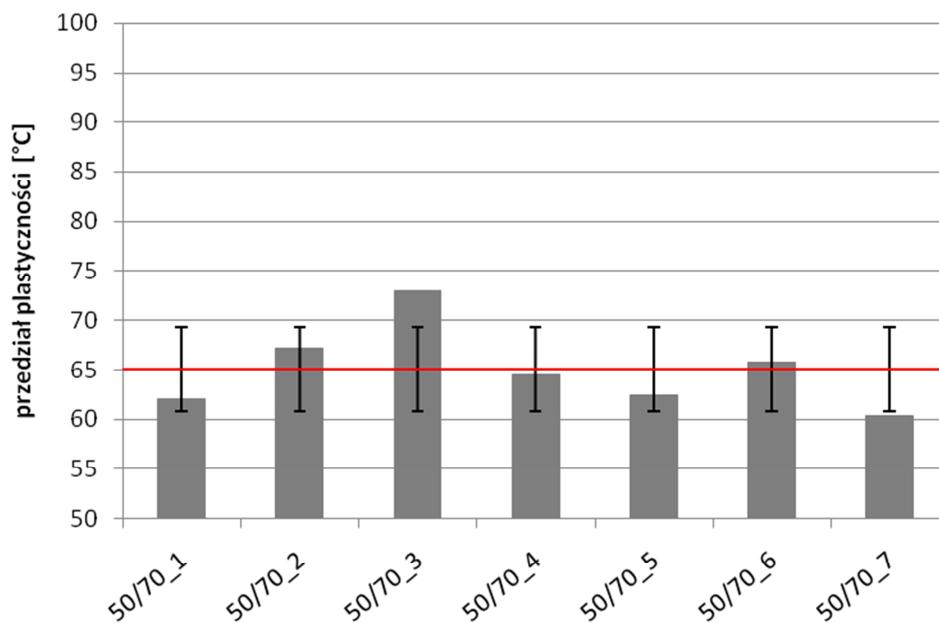


Rys. 5-16. Zakres plastyczności asfaltów rodzaju 20/30

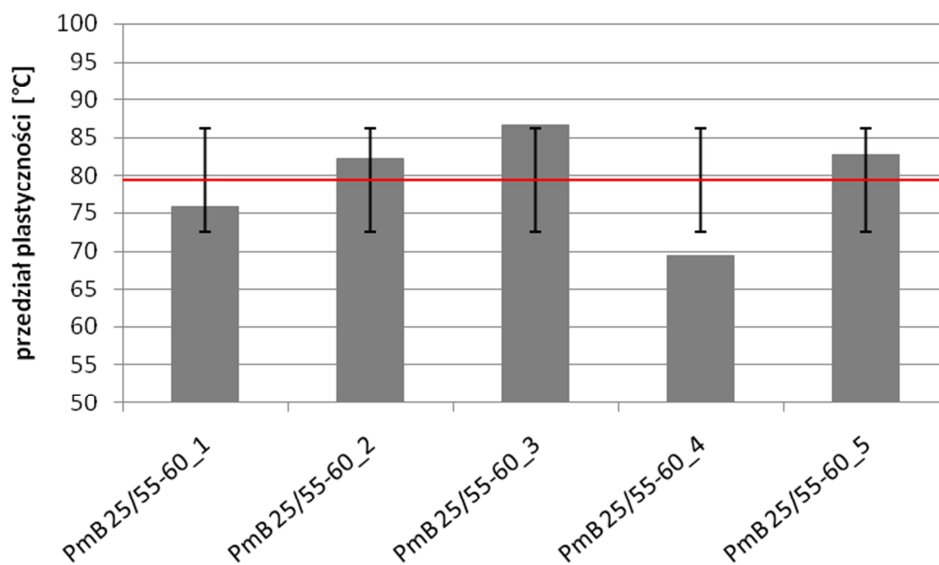


Rys. 5-17. Zakres plastyczności asfaltów rodzaju 35/50

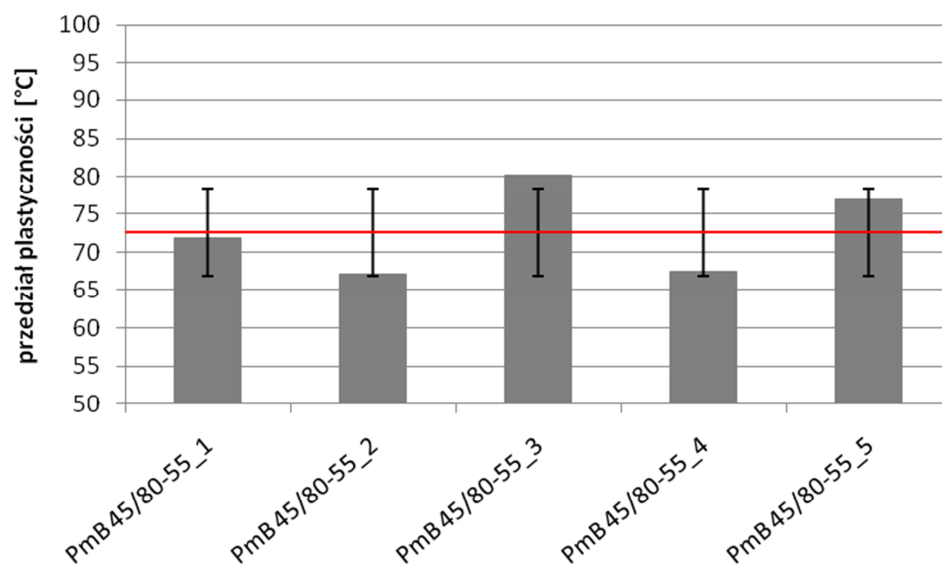




Rys. 5-18. Zakres plastyczności asfaltów rodzaju 50/70



Rys. 5-19. Zakres plastyczności polimeroasfaltów rodzaju PMB 25/55-60



Rys. 5-20. Zakres plastyczności polimeroasfaltów rodzaju PMB 45/80-55

## 5.7 Indeks penetracji

Wyniki określenia indeksu penetracji (wrażliwości temperaturowej) lepiszczy asfaltowych przedstawiono w tablicy 5-9 a w formie graficznej w grupach twardości lepiszczy oraz z podziałem na lepiszcza modyfikowane i niemodyfikowane na rysunkach 5-21, 5-22, 5-23, 5-24 i 5-25.

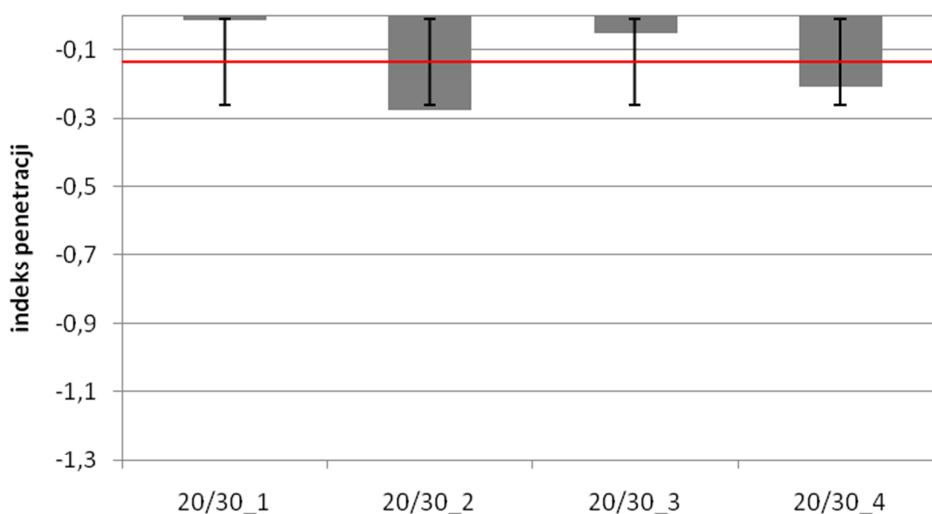
Tablica 5-9. Indeks penetracji lepiszczy asfaltowych

Rodzaj lepiszcza	Indeks penetracji PI wg PN-EN
20/30_1	-0.01
20/30_2	-0.27
20/30_3	-0.05
20/30_4	-0.21
35/50_1	-0.72
35/50_2	-0.64
35/50_3	-0.35
35/50_4	-0.54
35/50_5	-0.80
35/50_6	-1.01
35/50_7	-0.32
35/50_8	-0.67
50/70_1	-0.86
50/70_2	-0.39
50/70_3	-0.99
50/70_4	-1.09
50/70_5	-1.27
50/70_6	-1.06
50/70_7	-1.05
PmB 25/55-60_1	0.97
PmB 25/55-60_2	1.40
PmB 25/55-60_3	1.13
PmB 25/55-60_4	-0.13
PmB 25/55-60_5	0.70
PmB 45/80-55_1	0.39
PmB 45/80-55_2	0.15
PmB 45/80-55_3	1.56
PmB 45/80-55_4	0.10
PmB 45/80-55_5	1.67

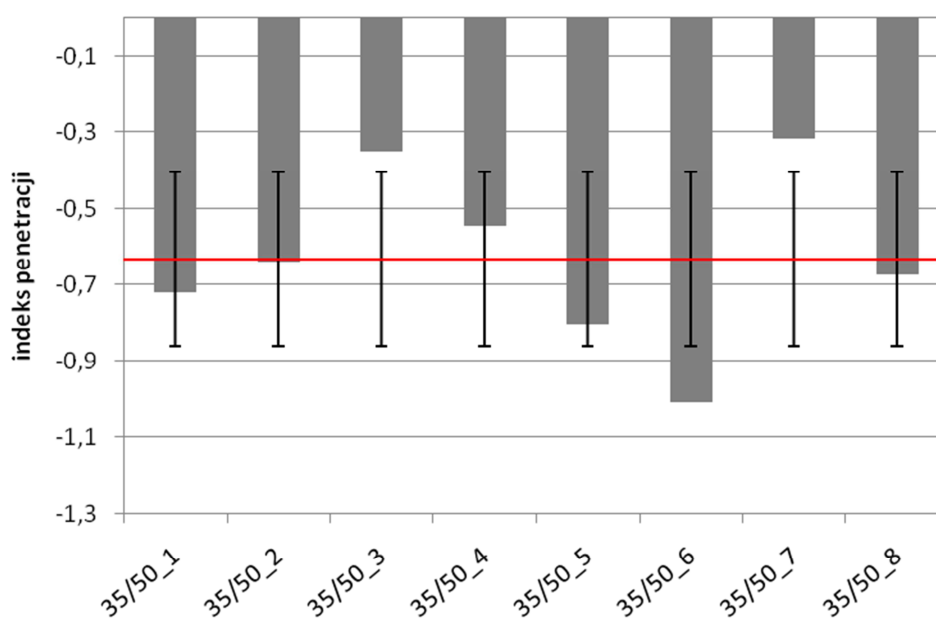
Wyniki oznaczenia indeksu penetracji asfaltów 20/30, 35/50 oraz 50/70 spełniają wymagania normy PN-EN, które wynoszą od -1.5 do +0.7. Należy zwrócić uwagę na asfalt rodzaju 20/30 charakteryzujący się dobrym indeksem penetracji zbliżonym do wartości 0. Badane asfalty drogowe można zaliczyć do typu reologicznego zolo-żel o indeksie penetracji od -2 do +2. Większość badanych asfaltów drogowych ma indeks penetracji w korzystnym zakresie od -1 do +1.

Indeksy penetracji dla polimeroasfaltów przyjmują wartości korzystne dodatnie w zakresie od 0 do około 1.5. Dodatnie wartości indeksu penetracji wskazują na poprawione właściwości lepkosprężyste, charakteryzujące się tym, że lepisczka zachowują lepkie właściwości w niskich temperaturach oraz w krótkim czasie obciążenia (obciążenia dynamiczne) i te lepisczka nie płyną w dodatnich temperaturach i przy długim czasie obciążenia.

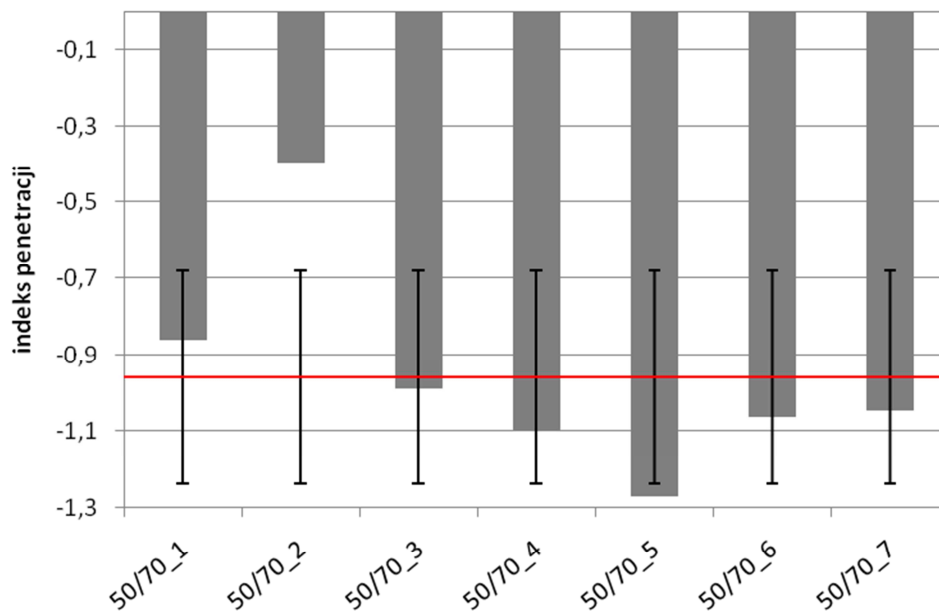
Wrażliwość temperaturowa określona indeksem penetracji lepisczki asfaltowych, produkowanych przez dwie rafinerie jest podobna. Analiza wartości indeksów penetracji lepisczki asfaltowych w grupach twardości wskazuje na duże zróżnicowanie wyników badań, co szczególnie jest widoczne dla polimeroasfaltu PMB 45/80-55 (Rys. 5-25).



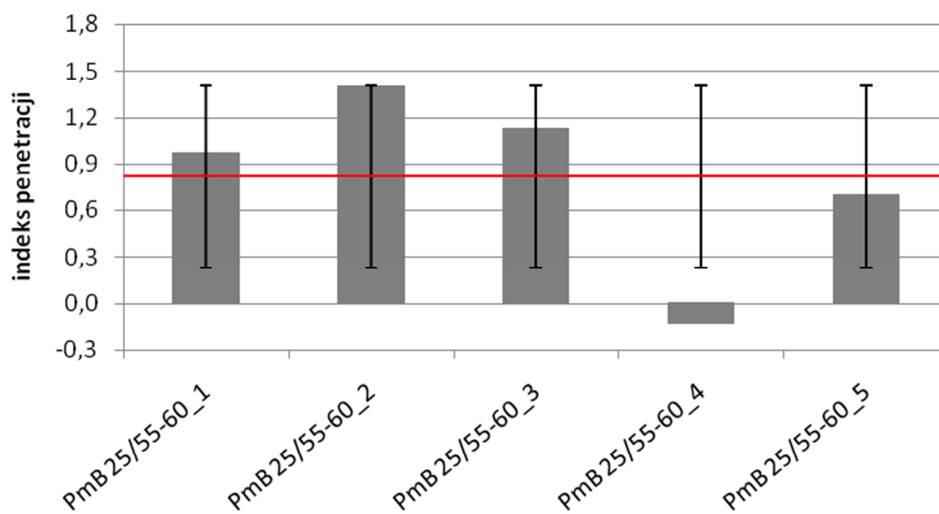
Rys. 5-21. Indeks penetracji asfaltów rodzaju 20/30



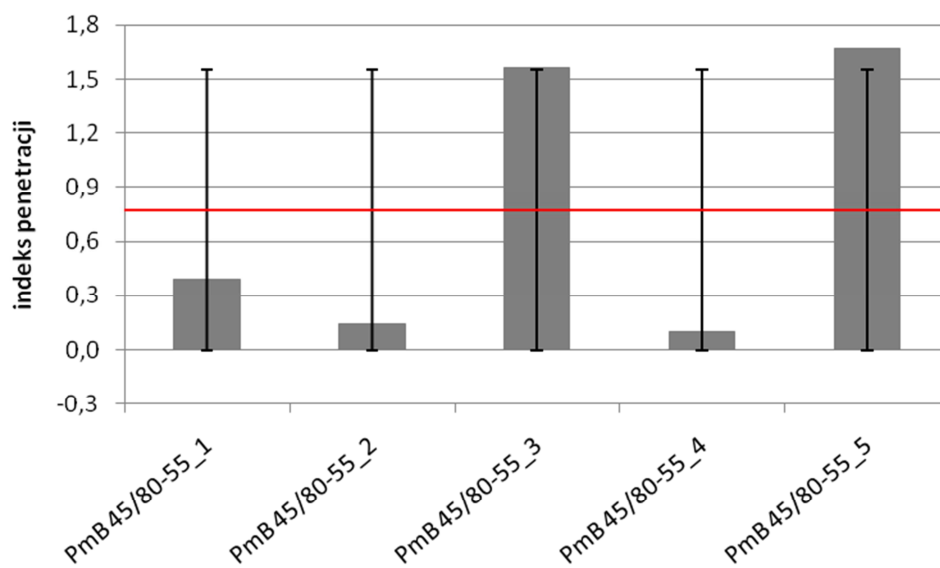
Rys. 5-22. Indeks penetracji asfaltów rodzaju 35/50



Rys. 5-23. Indeks penetracji asfaltów rodzaju 50/70



Rys. 5-24. Indeks penetracji polimeroasfaltów rodzaju PMB 25/55-60



Rys. 5-25. Indeks penetracji polimeroasfaltów rodzaju PMB 45/80-55

## 5.8 Badanie nawrotu sprężystego lepkościowych asfaltów

Wyniki badania nawrotu sprężystego w temperaturze 25°C lepkościowych asfaltów przedstawiono w tabelicy 5-10 a w formie graficznej w grupach twardości oraz z podziałem na lepkościowe modyfikowane i niemodyfikowane na rysunkach 5-26, 5-27, 5-28 i 5-29.

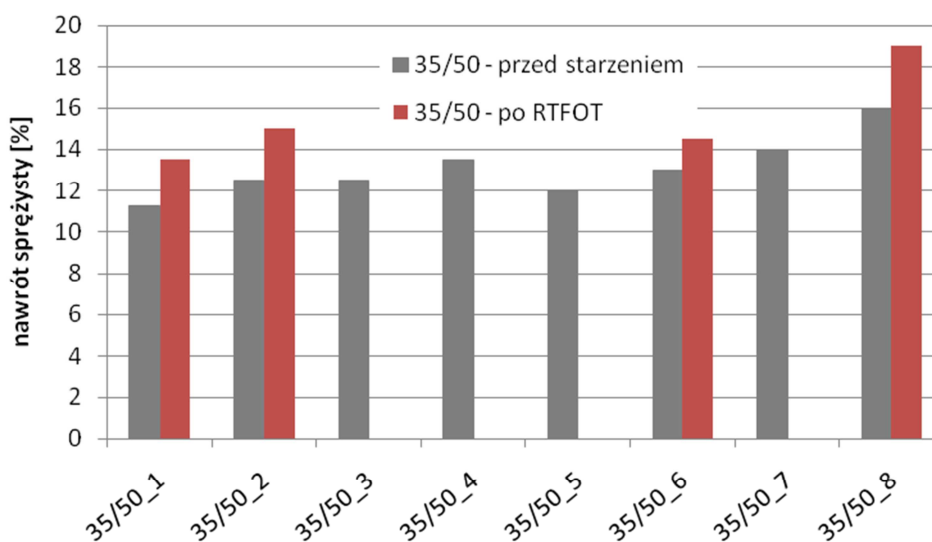
Tablica 5-10. Nawrót sprężysty lepkościowych asfaltów

Rodzaj lepkościowa	Nawrót sprężysty w 25°C przed starzeniem, [%]			Nawrót sprężysty w 25°C po starzeniu RTFOT [%]	Nawrót sprężysty – różnica wartości
	wartość	średnia	odch. std.		
20/30_1	0	0	0	brak pomiaru	brak pomiaru
20/30_2	0			brak pomiaru	brak pomiaru
20/30_3	0			brak pomiaru	brak pomiaru
20/30_4	0			brak pomiaru	brak pomiaru
35/50_1	11.3	13.1	1.4	13.5	-2.2
35/50_2	12.5			15.0	-2.5
35/50_3	12.5			0.0	12.5
35/50_4	13.5			0.0	13.5
35/50_5	12.0			0.0	12.0
35/50_6	13.0			14.5	-1.5
35/50_7	14.0			0.0	14.0
35/50_8	16.0			19.0	-3.0
50/70_1	10.5	11.9	2.1	11.3	-0.8
50/70_2	16.0			16.0	0.0
50/70_3	11.0			11.3	-0.3
50/70_4	13.8			12.0	1.8
50/70_5	11.0			11.5	-0.5
50/70_6	10.2			11.0	-0.8
50/70_7	11.0			13.0	-2.0
PmB 25/55-60_1	67.5	76.3	5.9	brak pomiaru	brak pomiaru
PmB 25/55-60_2	82.5			78.0	4.5
PmB 25/55-60_3	75.0			brak pomiaru	brak pomiaru
PmB 25/55-60_4	81.0			78.0	3.0
PmB 25/55-60_5	75.5			76.0	-0.5
PmB 45/80-55_1	76.5	77.3	9.6	78.0	-1.5
PmB 45/80-55_2	78.5			75.5	3.0
PmB 45/80-55_3	84.0			81.5	2.5
PmB 45/80-55_4	61.5			71.0	-9.5
PmB 45/80-55_5	86.0			81.0	5.0

Badanie nawrotu sprężystego jest podstawowym badaniem do oceny lepkościowych modyfikowanych polimerami. Ze względów poznawczych przeprowadzono również badanie nawrotu sprężystego dla asfaltów drogowych. Analizując wyniki badania nawrotu sprężystego asfaltów drogowych należy

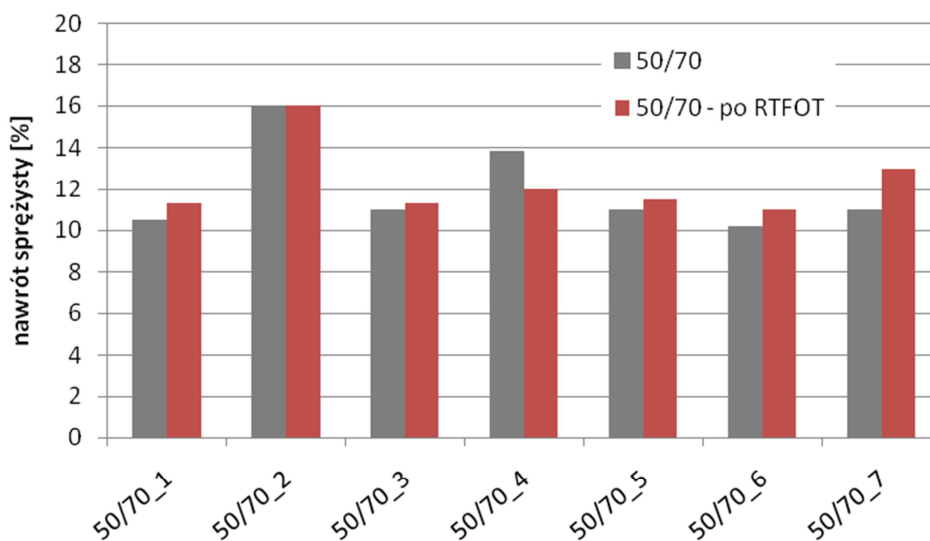
stwierdzić, że asfalty twarde rodzaju 20/30 wykazują przed i po starzeniu zerowy nawrót sprężysty. Asfalty miększe rodzaju 35/50 wykazują przed starzeniem niskie wartości nawrotu sprężystego w granicach 11-16%, natomiast po starzeniu 50% tych asfaltów nie wykazuje nawrotu sprężystego. Asfalty rodzaju 50/70 przed i po starzeniu wykazują niskie wartości nawrotu sprężystego w granicach 10 – 16%.

Dla asfaltów modyfikowanych polimerami wymaga się wartości nawrotu sprężystego przed i po starzeniu RTFOT wynoszącego powyżej 50%. Badane polimeroasfalty PmB 25/55-60 wykazują przed starzeniem wartości nawrotu sprężystego od 67.5 do 81.0%. Należy zwrócić uwagę, że po badaniu starzenia dwa lepszysza z badanych pięciu a mianowicie: polimeroasfalt PmB 25/55-60\_1 i PmB 25/55-60\_3 (Producent 2) wykazują brak nawrotu sprężystego. Badania mikrostruktury lepszyszy opisane w rozdziale 8 pracy wykazały, że właśnie te asfalty charakteryzują się odmienną niehomogeniczną fazą rozproszenia polimeru (I) od wszystkich badanych polimeroasfaltów. Można wnioskować, że zastosowane do tych polimeroasfaltów polimery lub zły sposób modyfikacji mogą być przyczyną braku nawrotu sprężystego po starzeniu, które obserwuje się dla omówionych polimeroasfaltów.

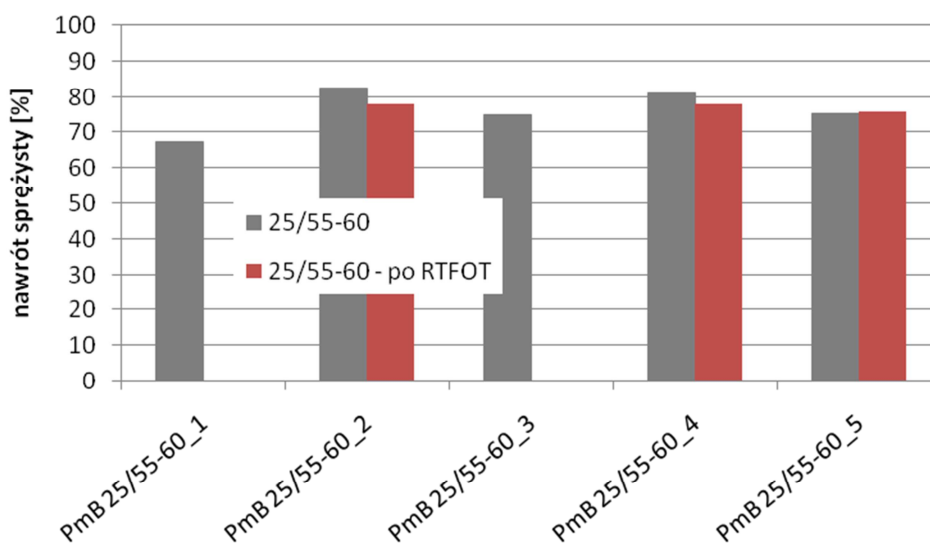


Rys. 5-26. Nawrót sprężysty asfaltów rodzaju 35/50

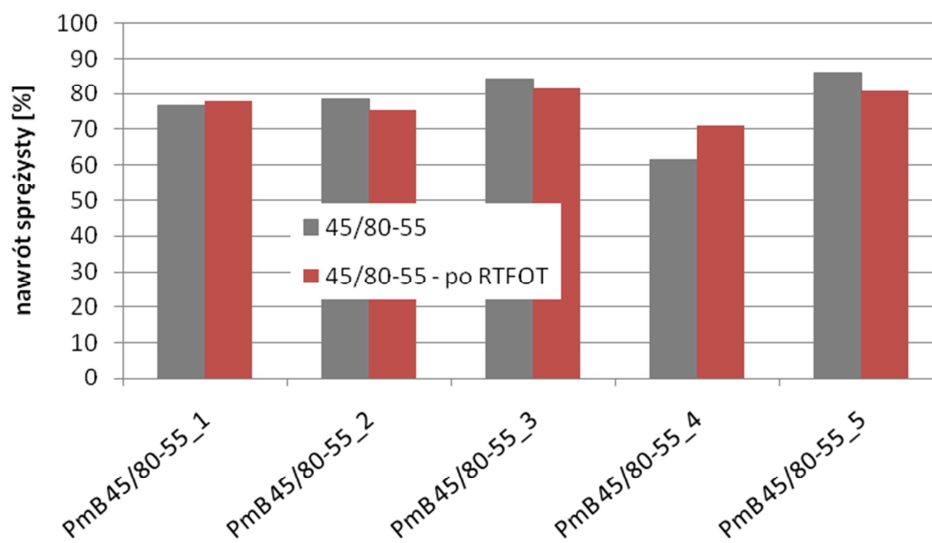




Rys. 5-27. Nawrót sprężysty asfaltów rodzaju 50/70



Rys. 5-28. Nawrót sprężysty polimeroasfaltów rodzaju PMB 25/55-60



Rys. 5-29. Nawrót sprężysty polimeroasfaltów rodzaju PMB 45/80-55

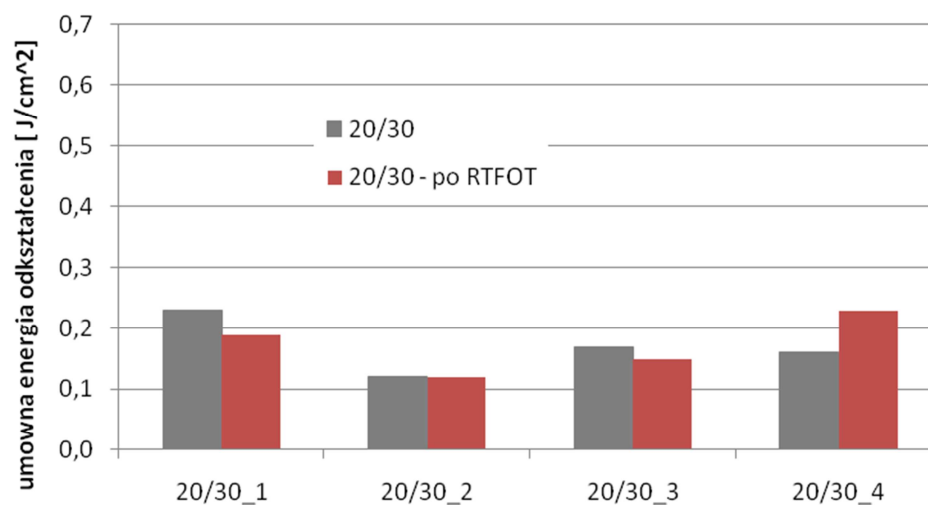
## 5.9 Badanie siły rozciągania w duktylometrze lepkości asfaltowych

Wyniki badania umownej energii odkształcenia ( $E_s' = E_{0,4}' - E_{0,2}'$ ) w badaniu ciągliwości lepkości asfaltowych przedstawiono w tabelicy 5-11 a w formie graficznej w grupach twardości asfaltów oraz z podziałem na lepkości modyfikowane i niemodyfikowane na rysunkach 5-30, 5-31, 5-32, 5-33 i 5-34.

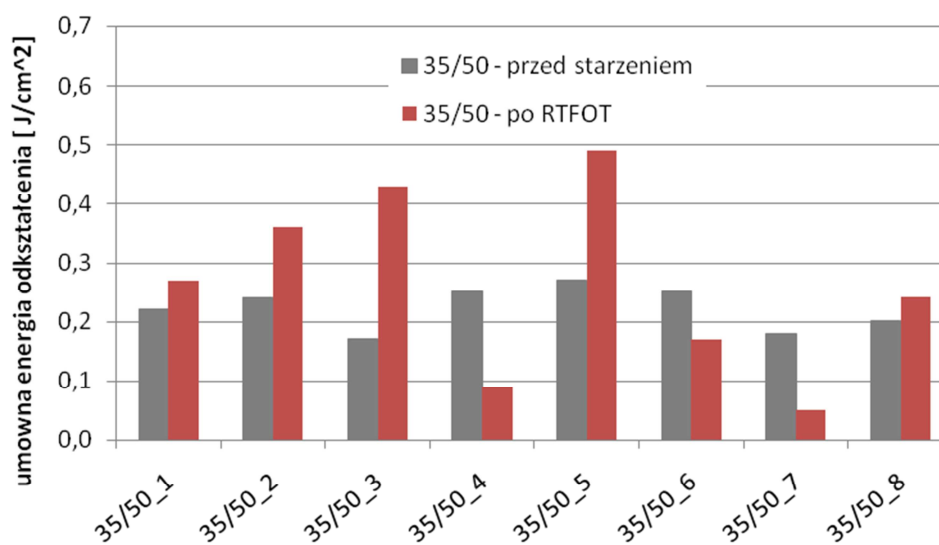
Tablica 5-11. Umowna energia odkształcenia w badaniu ciągliwości lepkości asfaltowych

Rodzaj lepkości	Umowna energia odkształcenia $E_s' = E_{0,4}' - E_{0,2}'$					
	Przed badaniem RTFOT, [J/cm <sup>2</sup> ]			Po badaniu RTFOT, [J/cm <sup>2</sup> ]		
	wartość	średnia	odch. std.	wartość	średnia	odch. std.
20/30_1	0.23	0.17	0.05	0.19	0.17	0.05
20/30_2	0.12			0.12		
20/30_3	0.17			0.15		
20/30_4	0.16			0.23		
35/50_1	0.22	0.22	0.04	0.27	0.26	0.16
35/50_2	0.24			0.36		
35/50_3	0.17			0.43		
35/50_4	0.25			0.09		
35/50_5	0.27			0.49		
35/50_6	0.25			0.17		
35/50_7	0.18			0.05		
35/50_8	0.20			0.24		
50/70_1	0.32	0.37	0.12	0.46	0.33	0.14
50/70_2	0.23			0.20		
50/70_3	0.34			0.23		
50/70_4	0.61			0.39		
50/70_5	0.36			0.55		
50/70_6	0.34			0.23		
50/70_7	0.36			0.25		
PmB 25/55-60_1	5.62	6.82	2.83	1.42	4.43	3.30
PmB 25/55-60_2	9.03			4.69		
PmB 25/55-60_3	2.99			0.95		
PmB 25/55-60_4	6.34			8.76		
PmB 25/55-60_5	10.11			6.33		
PmB 45/80-55_1	9.25	7.38	1.52	6.04	7.82	1.95
PmB 45/80-55_2	8.25			7.17		
PmB 45/80-55_3	5.77			7.59		
PmB 45/80-55_4	7.73			11.16		
PmB 45/80-55_5	5.89			7.13		

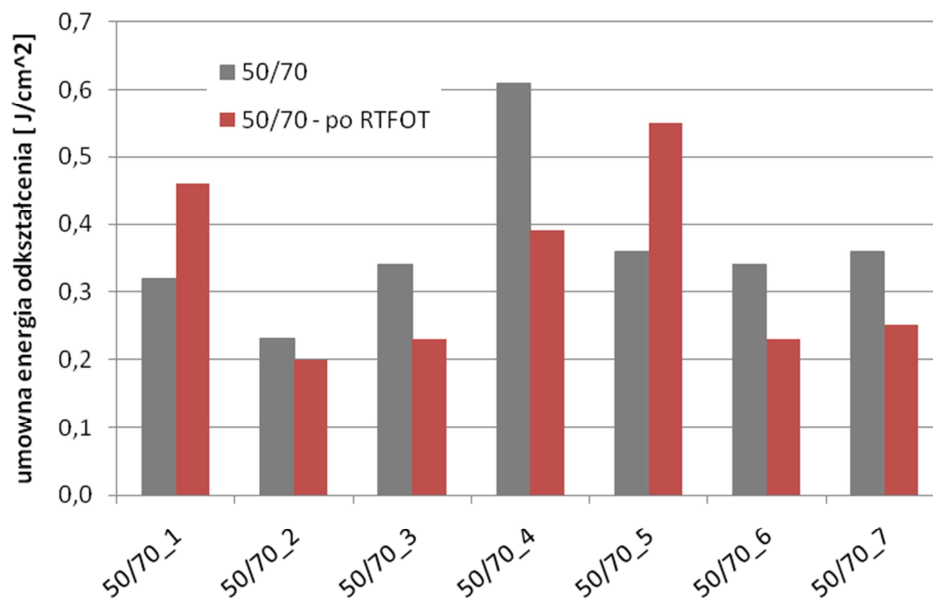
Ocena umownej energii odkształcenia należy do grupy właściwości podstawowych lepkości modyfikowanych polimerami. W celach porównawczych przeprowadzono badanie energii odkształcenia dla asfaltów drogowych. Asfalty drogowe wykazują bardzo niskie wartości energii odkształcenia w zakresie od 0.05 do 0.49 J/cm<sup>2</sup> (przed starzeniem). Asfalty modyfikowane polimerami spełniają wymagania normy ( $\geq 1.0$  J/cm<sup>2</sup>). Należy zwrócić uwagę na zmianę w wartościach energii odkształcenia po starzeniu technologicznym w grupach asfaltów modyfikowanych PmB 25/55-60 (Rys. 5-33 i 5-34). Szczególnie niekorzystnie w grupie asfaltów PmB 25/55-60 wyróżniają się dwa lepiszcza, a mianowicie PmB 25/55-60\_1 i PmB 25/55-60\_3 (Producent 2), które charakteryzują się niekorzystną, dwukrotnie niższą wartością energii odkształcenia. Przyczyny tak niskiej energii odkształcenia tych lepiszczy można upatrywać w zastosowaniu do modyfikacji innego rodzaju polimeru, który powodował, że polimeroasfalty te nie posiadają nawrotu sprężystego po starzeniu.



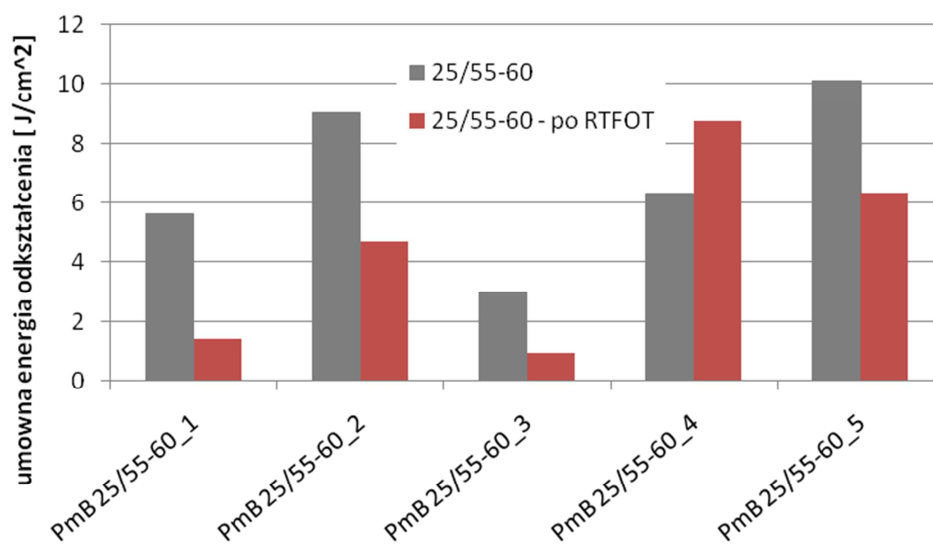
Rys. 5-30. Umowna energia odkształcenia asfaltów rodzaju 20/30



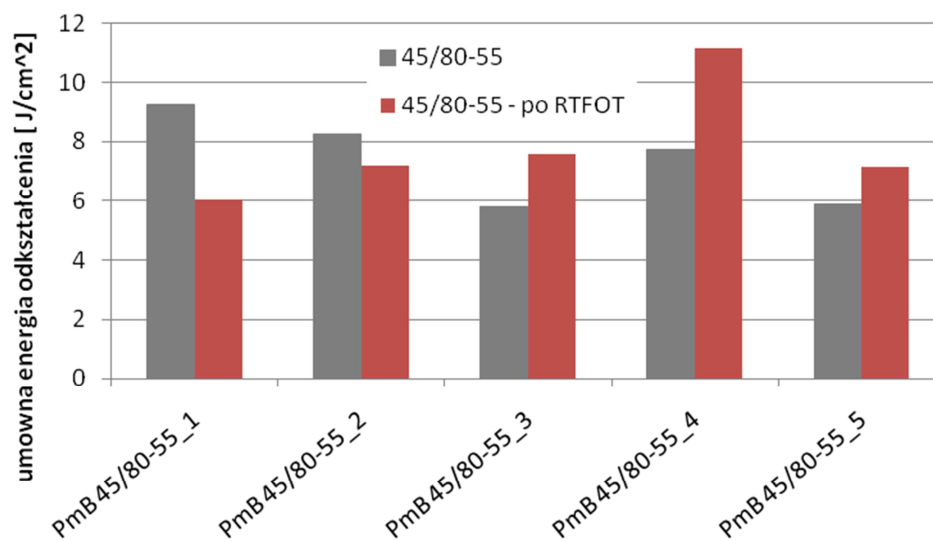
Rys. 5-31. Umowna energia odkształcenia asfaltów rodzaju 35/50



Rys. 5-32. Umowna energia odkształcenia asfaltów rodzaju 50/70



Rys. 5-33. Umowna energia odkształcenia polimeroasfaltów rodzaju PMB 25/55-60



Rys. 5-34. Umowna energia odkształcenia polimeroasfaltów rodzaju PMB 45/80-55

## 5.10 Badanie stabilności magazynowania lepiszczy asfaltowych

Wyniki badania stabilności magazynowania (różnica temperatury mięknięcia i dodatkowo różnica penetracji i po 72 godzinach wygrzewania w temperaturze 180°C) lepiszczy asfaltowych przedstawiono w tablicy 5-12.

Tablica 5-12. Stabilność magazynowania polimeroasfaltów

Rodzaj lepiszcza	Stabilność składowania	
	różnica w temperaturze mięknięcia [°C]	różnica w penetracji [0,1 mm]
PmB 25/55-60_1	0.2	0.5
PmB 25/55-60_2	-0.6	-1.3
PmB 25/55-60_3	-0.2	0.9
PmB 25/55-60_4	0.2	-0.1
PmB 25/55-60_5	0.8	1.6
PmB 45/80-55_1	0.5	1.0
PmB 45/80-55_2	0.0	-1.2
PmB 45/80-55_3	0.6	0.1
PmB 45/80-55_4	-0.5	1.5
PmB 45/80-55_5	-1.4	-0.6

Wyniki badania stabilności magazynowania obydwu rodzajów polimeroasfaltów wykazały, że uzyskane wyniki spełniają wymagania normy PN-EN, zarówno w zakresie pozostałej penetracji, jak również wzrostu temperatury mięknięcia.

## 6 BADANIA REOLOGICZNE LEPI SZCZY ASFALTOWYCH I BADANIE SKŁADU GRUPOWEGO. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

### 6.1 Badanie lepkości lepiszczy asfaltowych

oraz z podziałem na lepiszcza modyfikowane i niemodyfikowane Wyniki badania lepkości w funkcji temperatury, określonej w aparacie Brookfielda, lepiszczy asfaltowych przedstawiono w tablicy 6-1a w formie graficznej w grupach twardości asfaltów oraz z podziałem na lepiszcza modyfikowane i niemodyfikowane na rysunkach 6-1 do 6-15.

**Tablica 6-1. Lepkość dynamiczna lepiszczy asfaltowych w funkcji temperatury**

Rodzaj lepiszcza	Lepkość wg Brookfielda, 90°C [Pa*s]						Lepkość wg Brookfielda, 110°C [Pa*s]						Lepkość wg Brookfielda, 135°C [Pa*s]																	
	przed starzeniem RTFOT			po starzeniu RTFOT			przed starzeniem RTFOT			po starzeniu RTFOT			przed starzeniem RTFOT			po starzeniu RTFOT														
	wartość	średnia	odch. std.	wartość	średnia	odch. std.	wartość	średnia	odch. std.	wartość	średnia	odch. std.	wartość	średnia	odch. std.	wartość	średnia	odch. std.												
20/30_1	67.6	61.4	5.2	172.0	167.6	19.2	10.1	9.1	0.8	20.0	19.7	1.9	1.6	1.5	0.1	2.7	2.7	0.2												
20/30_2	61.2			157.2			9.0			19.3			1.5			2.7														
20/30_3	61.8			192.5			8.9			22.1			1.5			3.0														
20/30_4	54.9			148.8			8.2			17.5			1.4			2.5														
35/50_1	19.3	22.4	3.5	40.2	52.2	11.5	3.5	4.0	0.5	6.4	7.6	1.3	0.7	0.8	0.1	2.2	1.4	0.4												
35/50_2	20.0			38.3			3.7			6.2			0.7			1.1														
35/50_3	27.9			62.7			4.8			9.1			0.9			1.4														
35/50_4	26.1			63.0			4.5			9.1			0.8			1.4														
35/50_5	22.4			55.6			4.0			8.2			0.7			1.3														
35/50_6	21.6			55.1			3.8			6.9			0.7			1.2														
35/50_7	24.5			64.3			4.3			8.8			0.8			1.4														
35/50_8	17.6			38.2			3.3			6.1			0.7			1.0														
50/70_1	11.6			11.7			2.7			21.3			23.0			8.2			2.4	2.4	0.5	3.8	4.0	1.1	0.5	0.5	0.1	0.7	1.0	0.6
50/70_2	17.1									40.2									3.3			6.3			0.7			2.1		
50/70_3	12.1	22.8	2.4		4.1	0.5		1.5																						
50/70_4	8.5	14.8	1.8		2.8	0.4		0.6																						
50/70_5	9.4	17.3	2.0		3.2	0.4		0.6																						
50/70_6	12.2	24.4	2.4		4.3	0.5		0.8																						
50/70_7	11.2	20.4	2.3		3.8	0.5		0.7																						
PmB 25/55-60_1	73.2	98.6	46.4	168.4	220.3	116.5	8.9	12.4	4.7	17.4	22.1	8.2	1.5	1.9	0.5	2.4	2.9	0.9												
PmB 25/55-60_2	142.9			233.8			17.2			24.2			2.3			3.1														
PmB 25/55-60_3	146.8			402.6			16.1			32.8			2.3			4.0														
PmB 25/55-60_4	91.7			210.9			13.6			24.9			2.3			3.5														
PmB 25/55-60_5	38.3			85.9			6.3			11.2			1.2			1.7														
PmB 45/80-55_1	43.6	52.1	23.8	83.0	84.7	17.7	6.8	6.7	1.0	11.7	11.3	1.4	1.4	1.2	0.2	3.8	2.1	1.0												
PmB 45/80-55_2	35.9			71.8			6.6			11.3			1.3			1.9														
PmB 45/80-55_3	63.9			108.6			8.1			13.2			1.3			1.8														
PmB 45/80-55_4	29.2			64.9			5.2			9.5			1.0			1.5														
PmB 45/80-55_5	87.7			95.4			6.8			10.7			1.1			1.5														

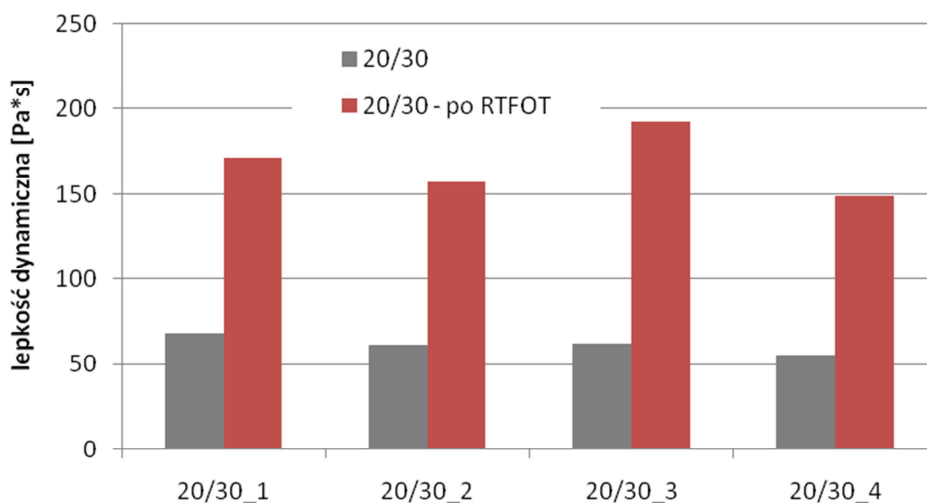
Badanie lepkości dynamicznej metodą Brookfielda lepiszczy asfaltowych nie jest wymagane wg normy PN-EN 12591. Jednak za pomocą tego badania można określić temperatury technologiczne, tj. temperaturę wytwarzania mieszanki mineralno-asfaltowej odpowiadającej lepkości 0.2 Pa·s,



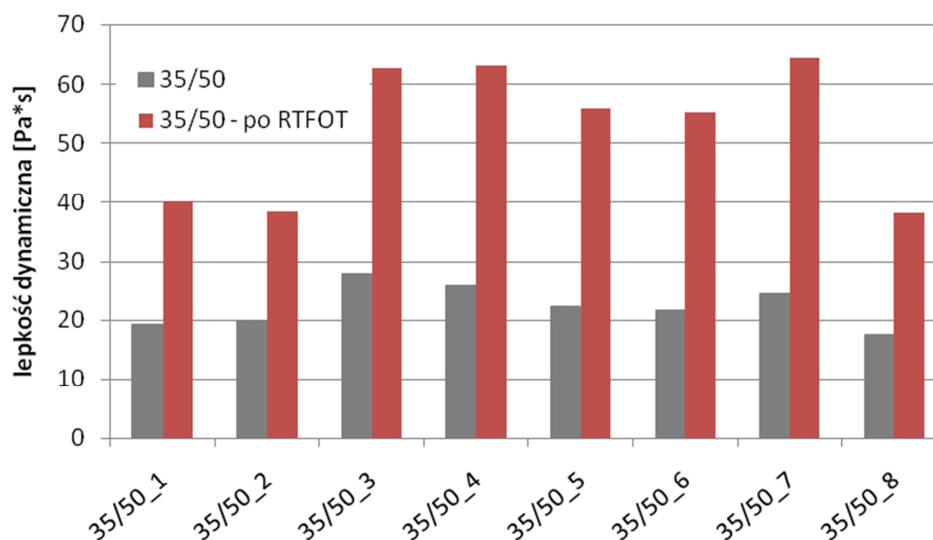
temperaturę pompowania odpowiadającej lepkości  $2 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  oraz końcową temperaturę zagęszczania odpowiadającą lepkości  $20 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ . Ponadto według wymagań SHRP lepkość lepiszcza przed starzeniem, określona zgodnie z ASTM D4402, powinna w temperaturze  $135^\circ\text{C}$  być mniejsza od  $3 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ .

Temperatury technologiczne asfaltów i polimeroasfaltów, określone na podstawie badania lepkości przedstawiono w tabelicy 6-1. Oceniając wymagania wg SHRP należy stwierdzić, że wymagania to spełniają wszystkie analizowane lepiszcza (Tabela 6-1).

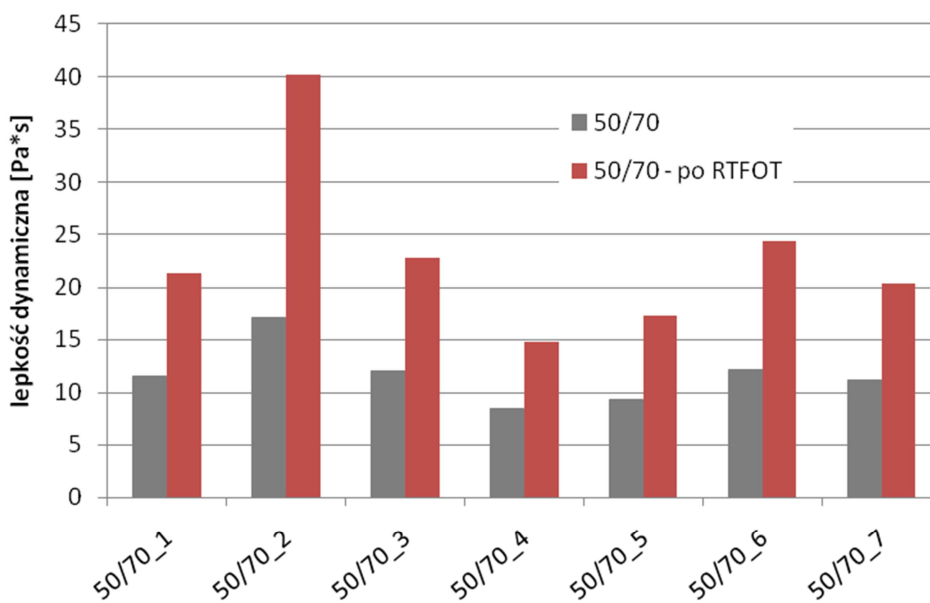
Analizując wyniki badania lepkości zawarte w tabelicy 6-1 i na rysunkach należy zauważyć, że lepiszcza w grupach twardości wykazują zróżnicowane wartości lepkości przed i po starzeniu. Najmniej są zróżnicowane wartości lepkości w grupie twardości 20/30 we wszystkich badanych temperaturach. Pozostałe lepiszcza w grupach twardości wykazują większe zróżnicowanie lepkości przed starzeniem RTFOT. Duże zróżnicowanie występuje w grupach twardości w badaniu lepkości lepiszczy po starzeniu RTFOT i dotyczy to wszystkich temperatur.



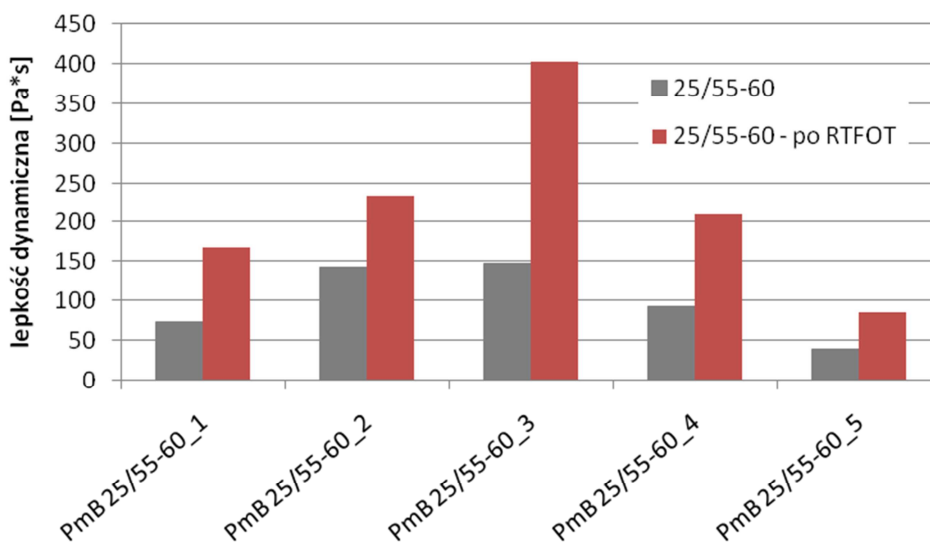
Rys. 6-1. Lepkość dynamiczna w temperaturze  $90^\circ\text{C}$  asfaltów rodzaju 20/30



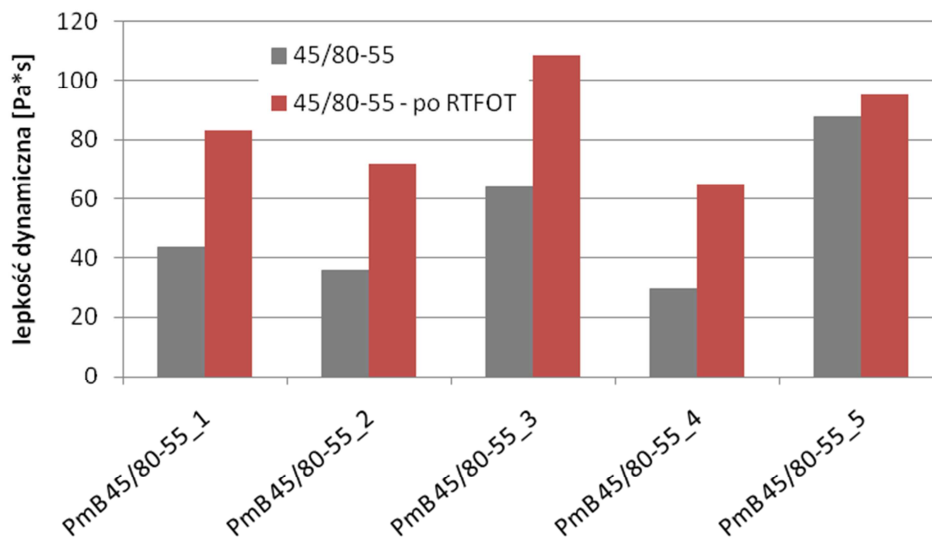
Rys. 6-2. Lepkość dynamiczna w temperaturze  $90^\circ\text{C}$  asfaltów rodzaju 35/50



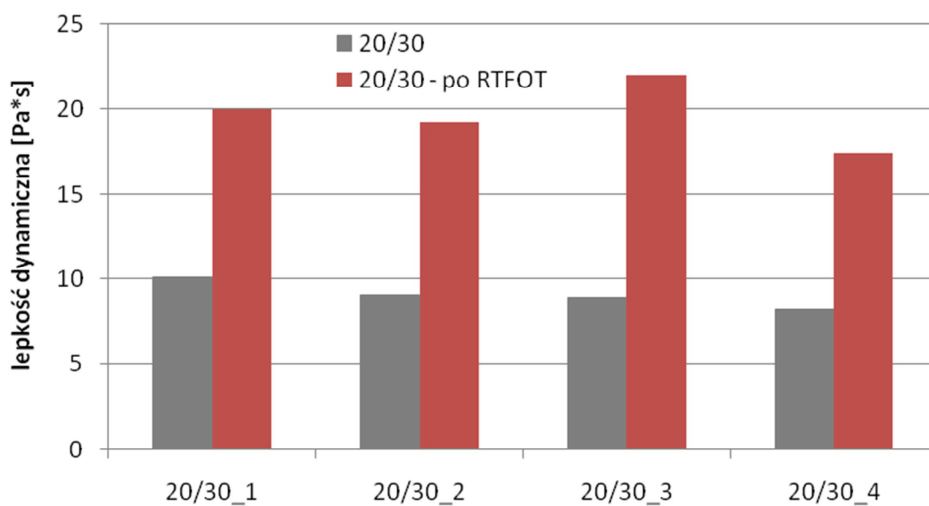
Rys. 6-3. Lepkość dynamiczna w temperaturze 90°C asfaltów rodzaju 50/70



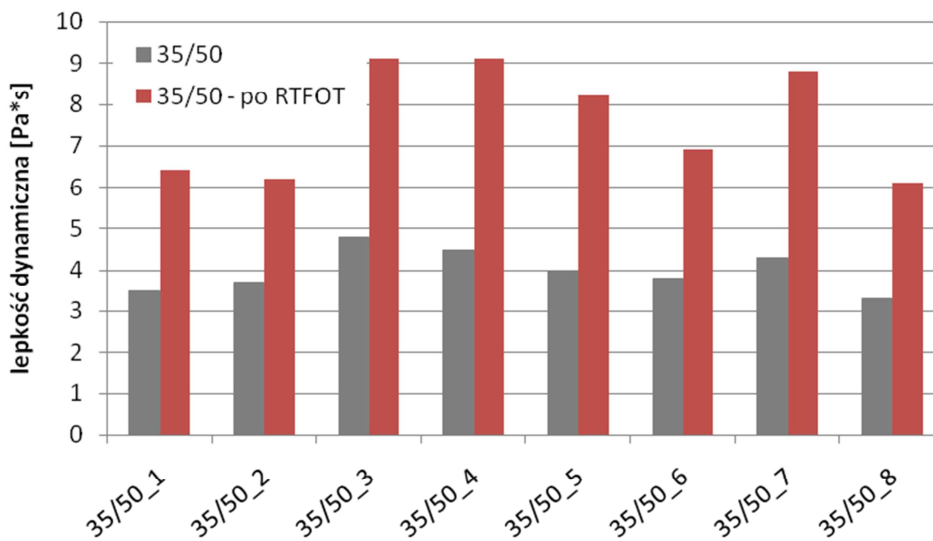
Rys. 6-4. Lepkość dynamiczna w temperaturze 90°C polimeroasfaltów rodzaju PMB 25/55-60



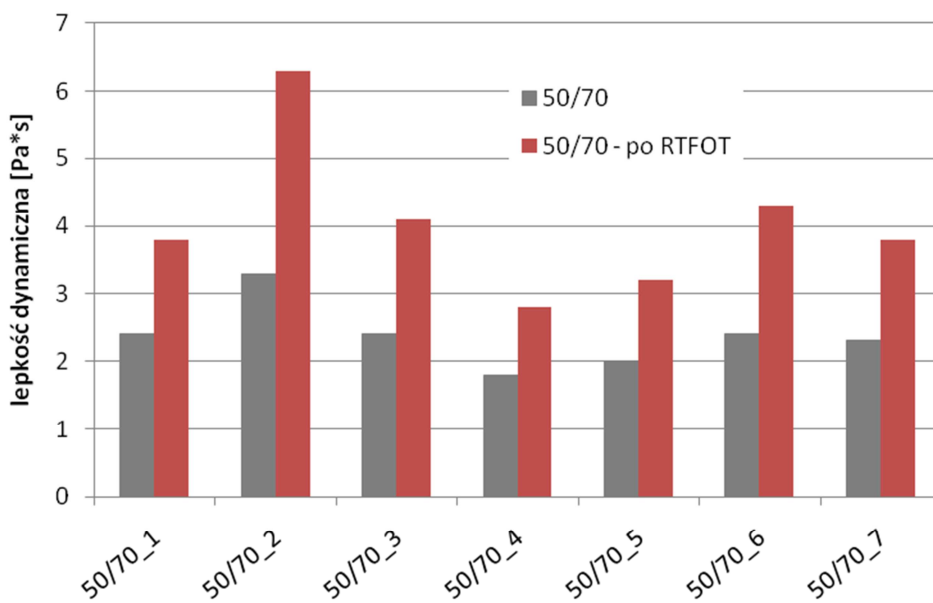
Rys. 6-5. Lepkość dynamiczna w temperaturze 90°C polimeroasfaltów rodzaju PMB 45/80-55



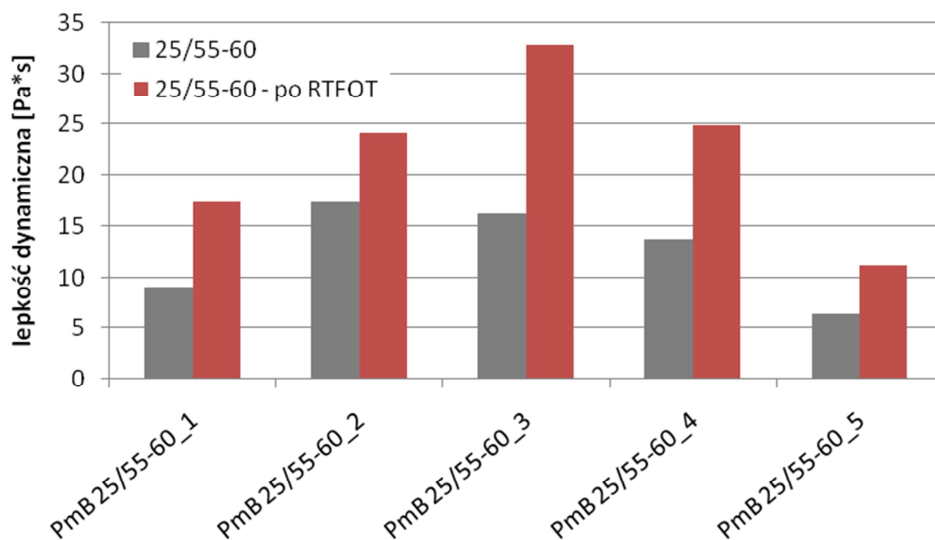
Rys. 6-6. Lepkość dynamiczna w temperaturze 110°C asfaltów rodzaju 20/30



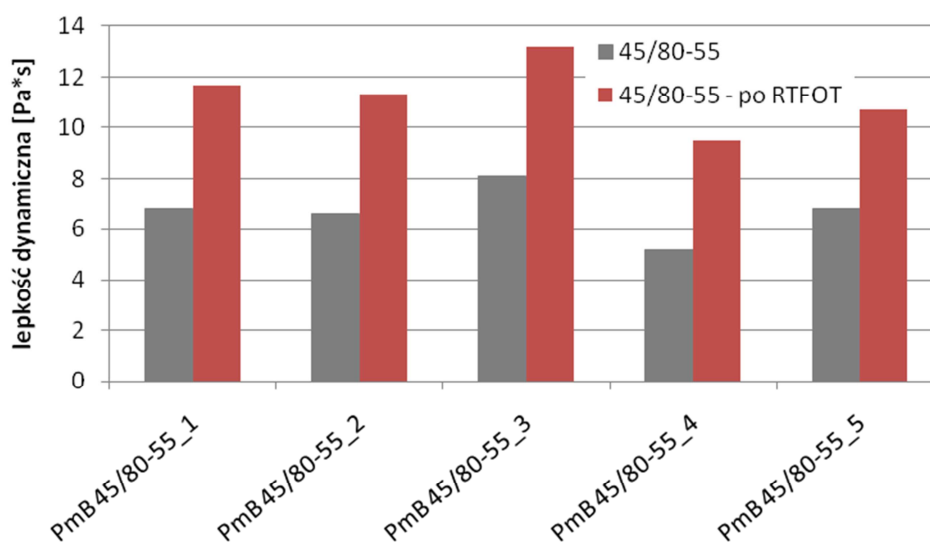
Rys. 6-7. Lepkość dynamiczna w temperaturze 110°C asfaltów rodzaju 35/50



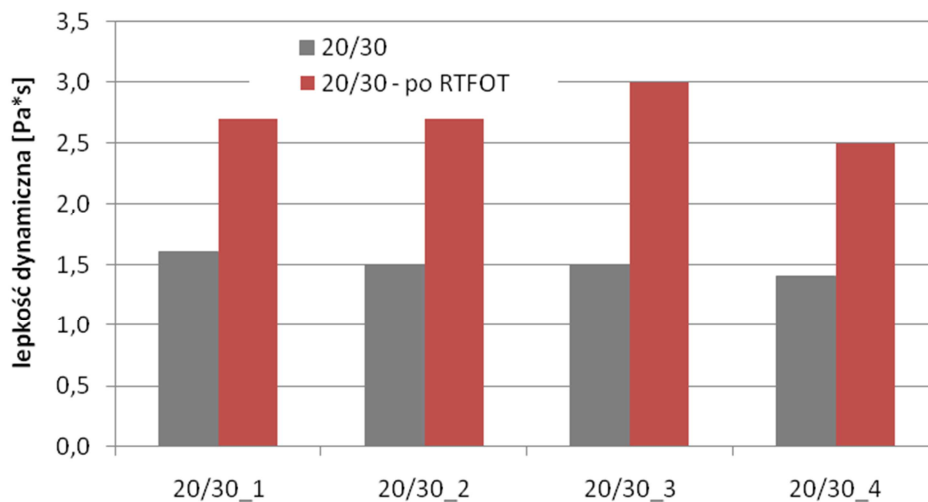
Rys. 6-8. Lepkość dynamiczna w temperaturze 110°C asfaltów rodzaju 50/70



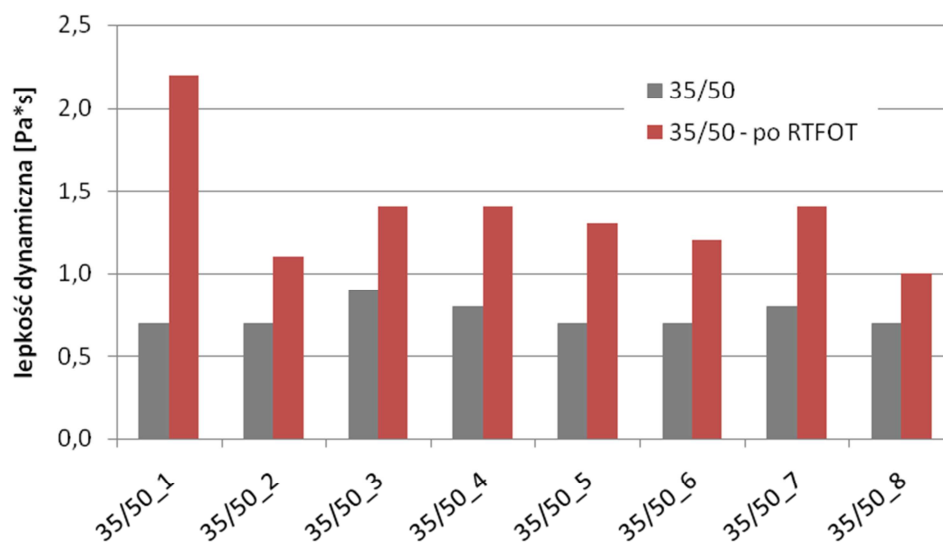
Rys. 6-9. Lepkość dynamiczna w temperaturze 110°C polimeroasfaltów rodzaju PMB 25/55-60



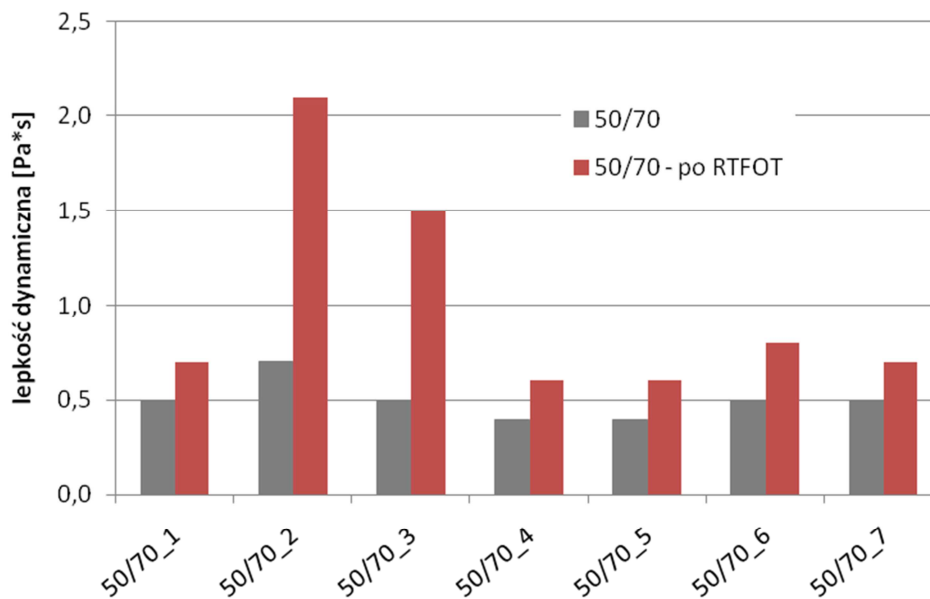
Rys. 6-10. Lepkość dynamiczna w temperaturze 110°C polimeroasfaltów rodzaju PMB 45/80-55



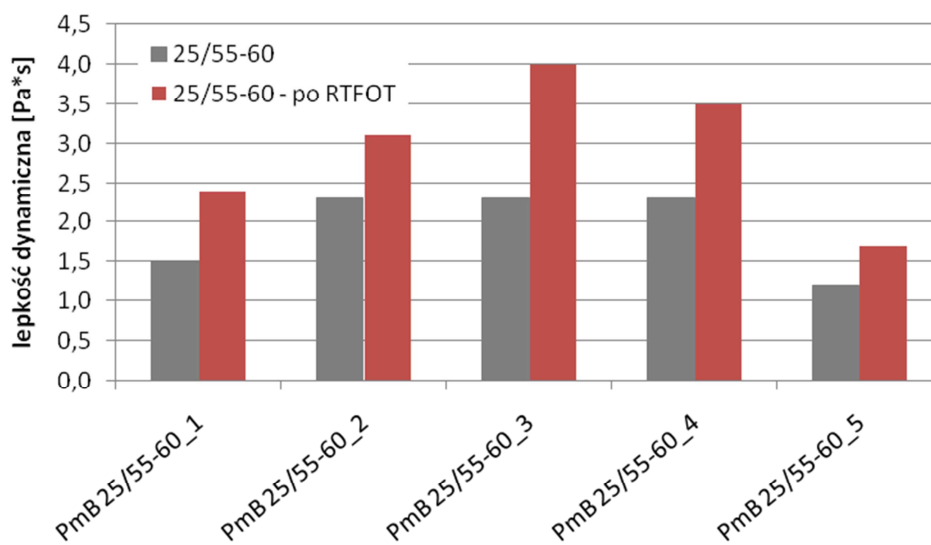
Rys. 6-11. Lepkość dynamiczna w temperaturze 135°C asfaltów rodzaju 20/30



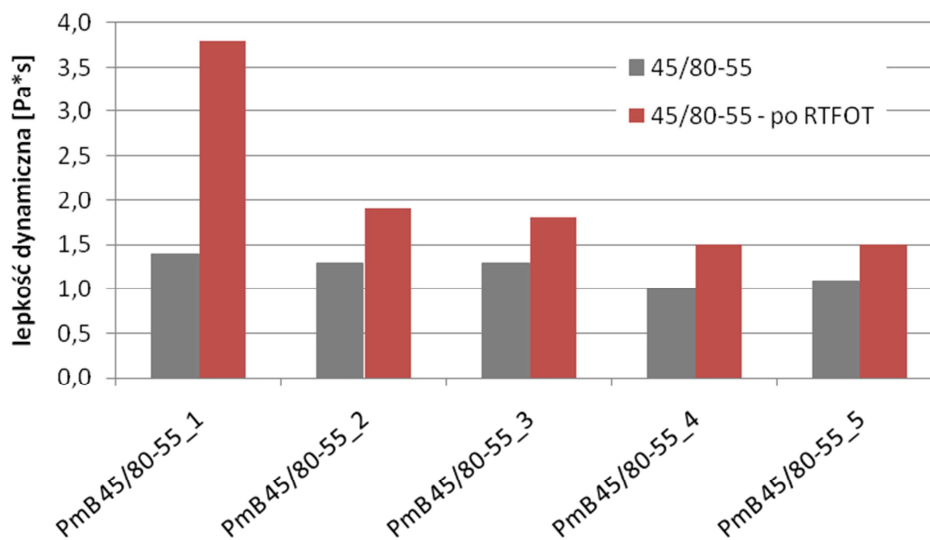
Rys. 6-12. Lepkość dynamiczna w temperaturze 135°C asfaltów rodzaju 35/50



Rys. 6-13. Lepkość dynamiczna w temperaturze 135°C asfaltów rodzaju 50/70



Rys. 6-14. Lepkość dynamiczna w temperaturze 135°C polimeroasfaltów rodzaju PMB 25/55-60



Rys. 6-15. Lepkość dynamiczna w temperaturze 135°C polimeroasfaltów rodzaju PMB 45/80-55



## 6.2 Określenie indeksu stwardnienia lepiszczy asfaltowych

Wyniki określenia indeksu stwardnienia lepiszczy asfaltowych przedstawiono w tabelicy 6-2.

**Tabelica 6-2. Indeks stwardnienia lepiszczy asfaltowych**

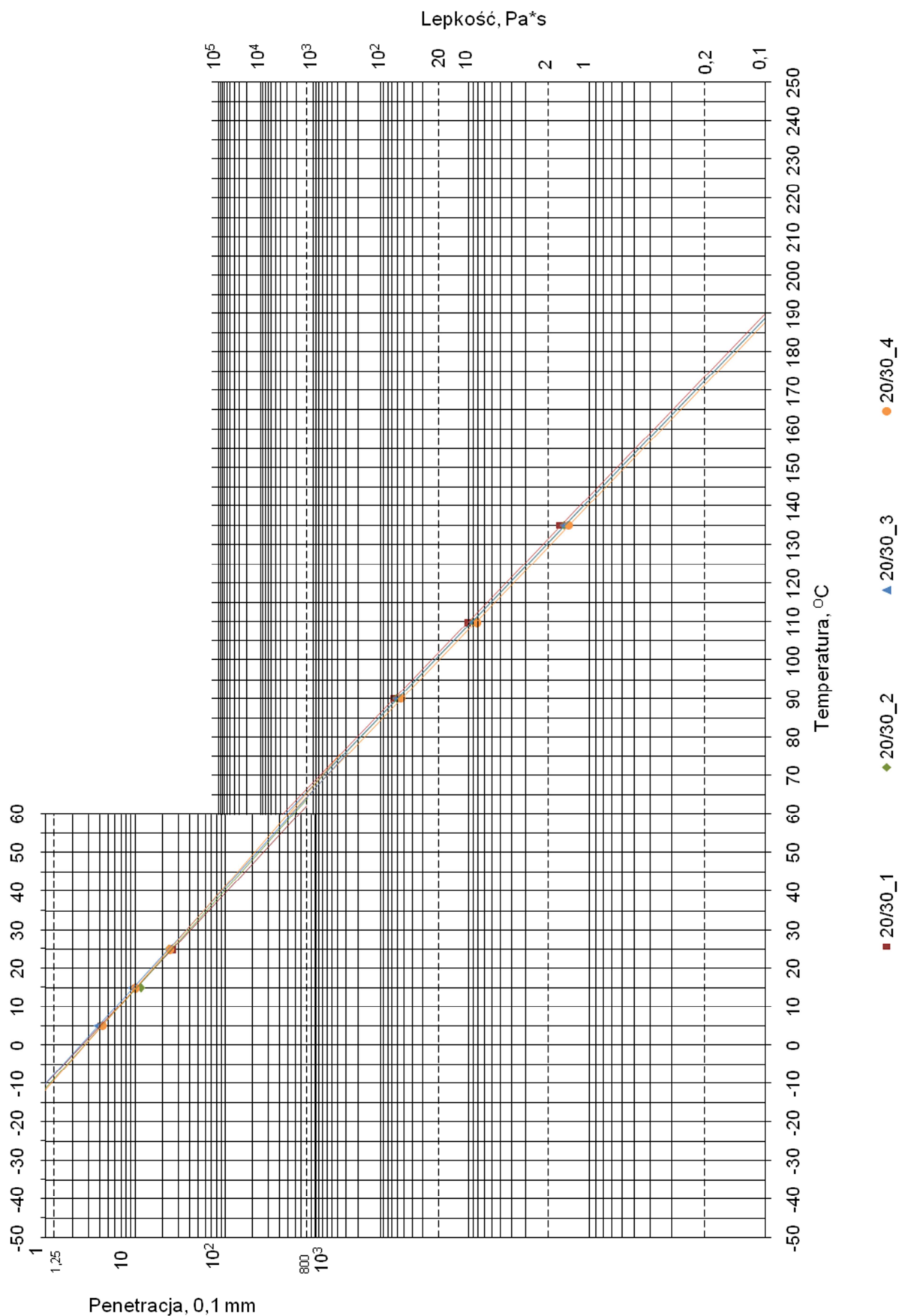
Rodzaj lepiszcza	Indeks stwardnienia	Średnia
20/30_1	2.5	2,72
20/30_2	2.6	
20/30_3	3.1	
20/30_4	2.7	
35/50_1	2.1	2,31
35/50_2	1.9	
35/50_3	2.2	
35/50_4	2.4	
35/50_5	2.5	
35/50_6	2.6	
35/50_7	2.6	
35/50_8	2.2	
50/70_1	1.8	1,91
50/70_2	2.4	
50/70_3	1.9	
50/70_4	1.7	
50/70_5	1.8	
50/70_6	2.0	
50/70_7	1.8	
PmB 25/55-60_1	2.3	2,22
PmB 25/55-60_2	1.6	
PmB 25/55-60_3	2.7	
PmB 25/55-60_4	2.3	
PmB 25/55-60_5	2.2	
PmB 45/80-55_1	1.9	1,78
PmB 45/80-55_2	2.0	
PmB 45/80-55_3	1.7	
PmB 45/80-55_4	2.2	
PmB 45/80-55_5	1.1	

Indeks stwardnienia został obliczony na podstawie wyników badania lepkości dynamicznej w temperaturze 90°C przed i po starzeniu RTFOT. Indeks stwardnienia jest to iloraz wartości lepkości po starzeniu, do lepkości przed starzeniem. Na podstawie wartości indeksu stwardnienia przedstawionych w tabelicy 6-2 można stwierdzić, że najwyższe wartości indeksu stwardnienia (2,7 do 2,3) mają lepiszcza drogowe 20/30 i 35/50. Polimeroasfalty mają indeksy stwardnienia w granicach 1,8 do 2,2.

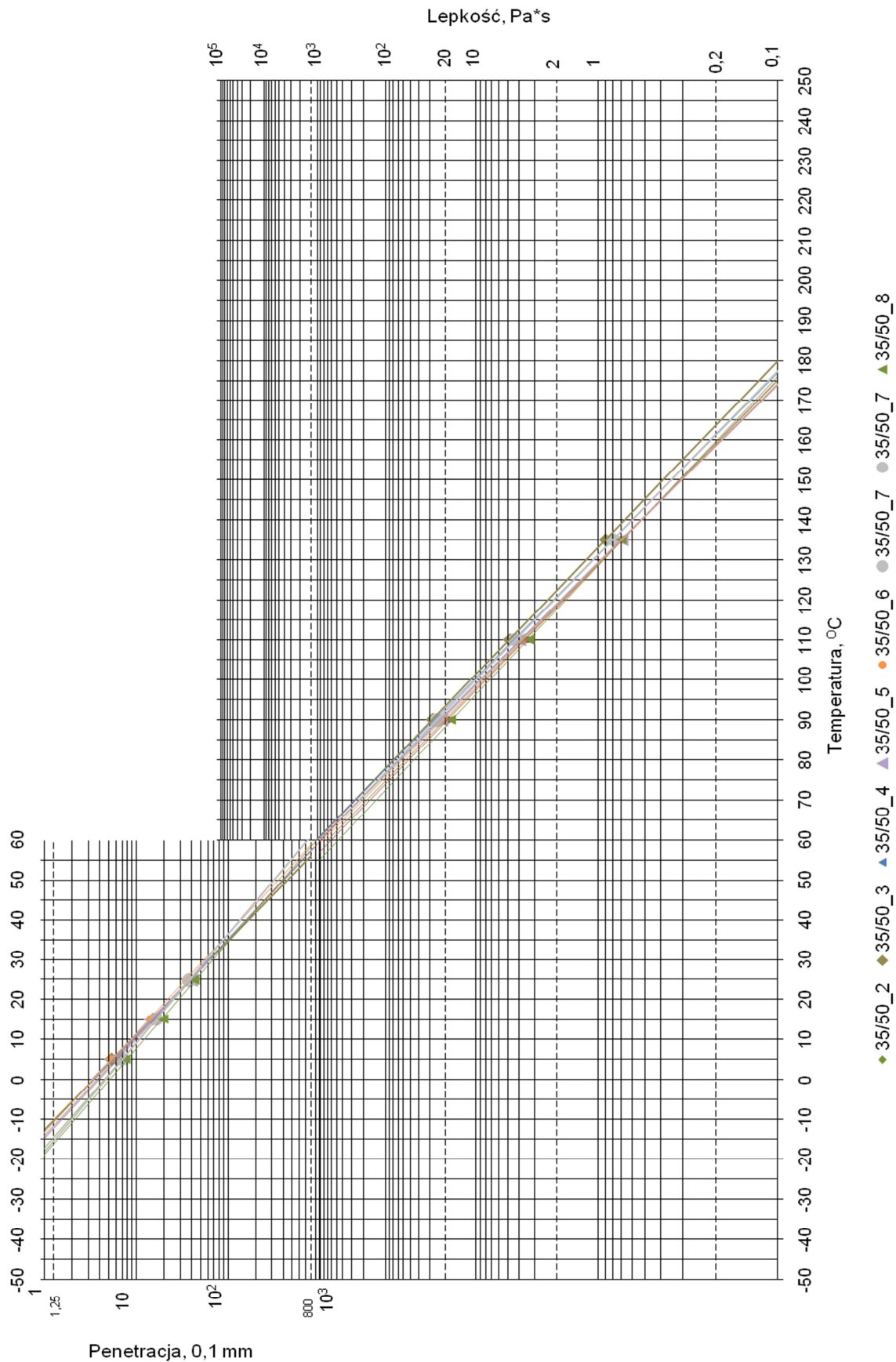
### 6.3 Karta Jakości Asfaltów BTDC

Wykresy BTDC przedstawiono w grupach twardości asfaltów na rysunkach 6-16 do 6-20 przed starzeniem i na rysunkach 6-21 do 6-25 po starzeniu RTFOT.

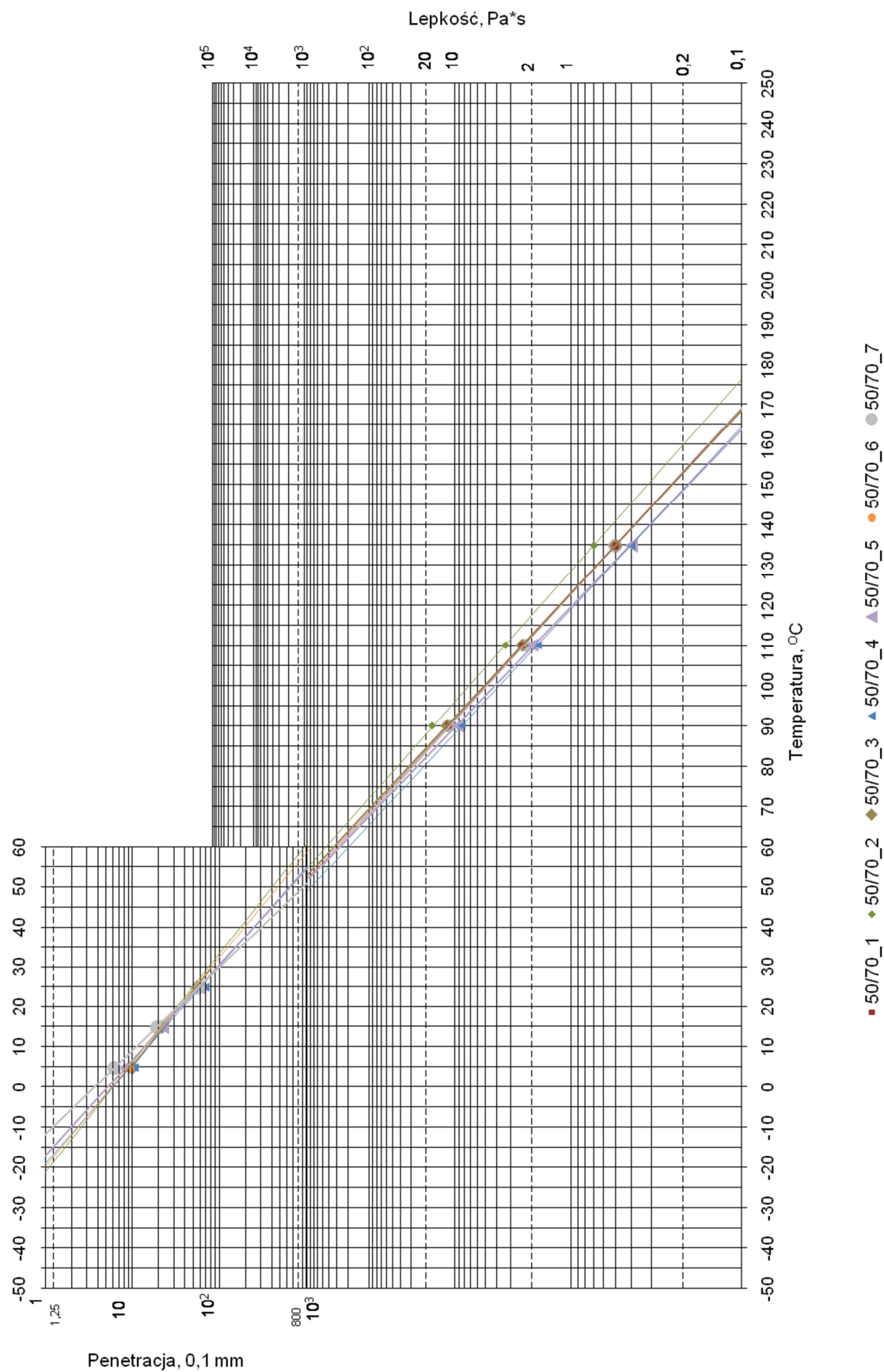
Na podstawie układu prostych penetracji i lepkości na wykresach BTDC, przedstawionych na rysunku 6-16 asfalty w grupie twardości 20/30 można zaliczyć do asfaltów klasy B (utlenianych). W grupie asfaltów 35/50 (rysunek 6-17) dwa z siedmiu asfaltów wykazują przynależności do klasy asfaltów B. Część asfaltów grupy twardości 35/50 oraz asfalty w grupie twardości 50/70 (rysunek 6-18) mają układ prostych penetracji i lepkości zbliżony do asfaltów klasy W (parafinowe). Badane asfalty modyfikowane polimerami charakteryzują się przesuniętą prostą lepkości w stronę wyższych wartości.



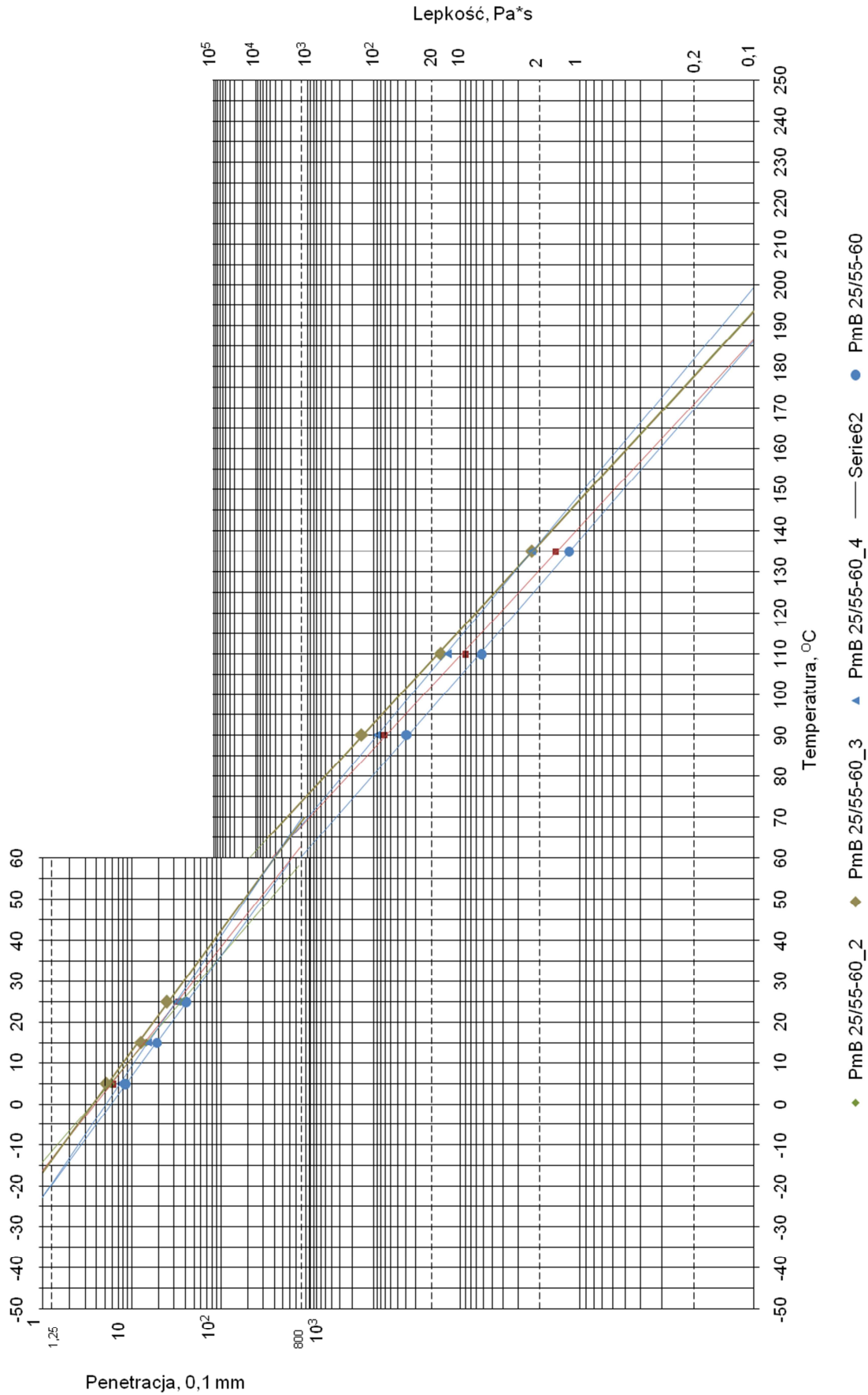
Rys. 6-16. Wykres BTDC dla asfaltów rodzaju 20/30 przed starzeniem



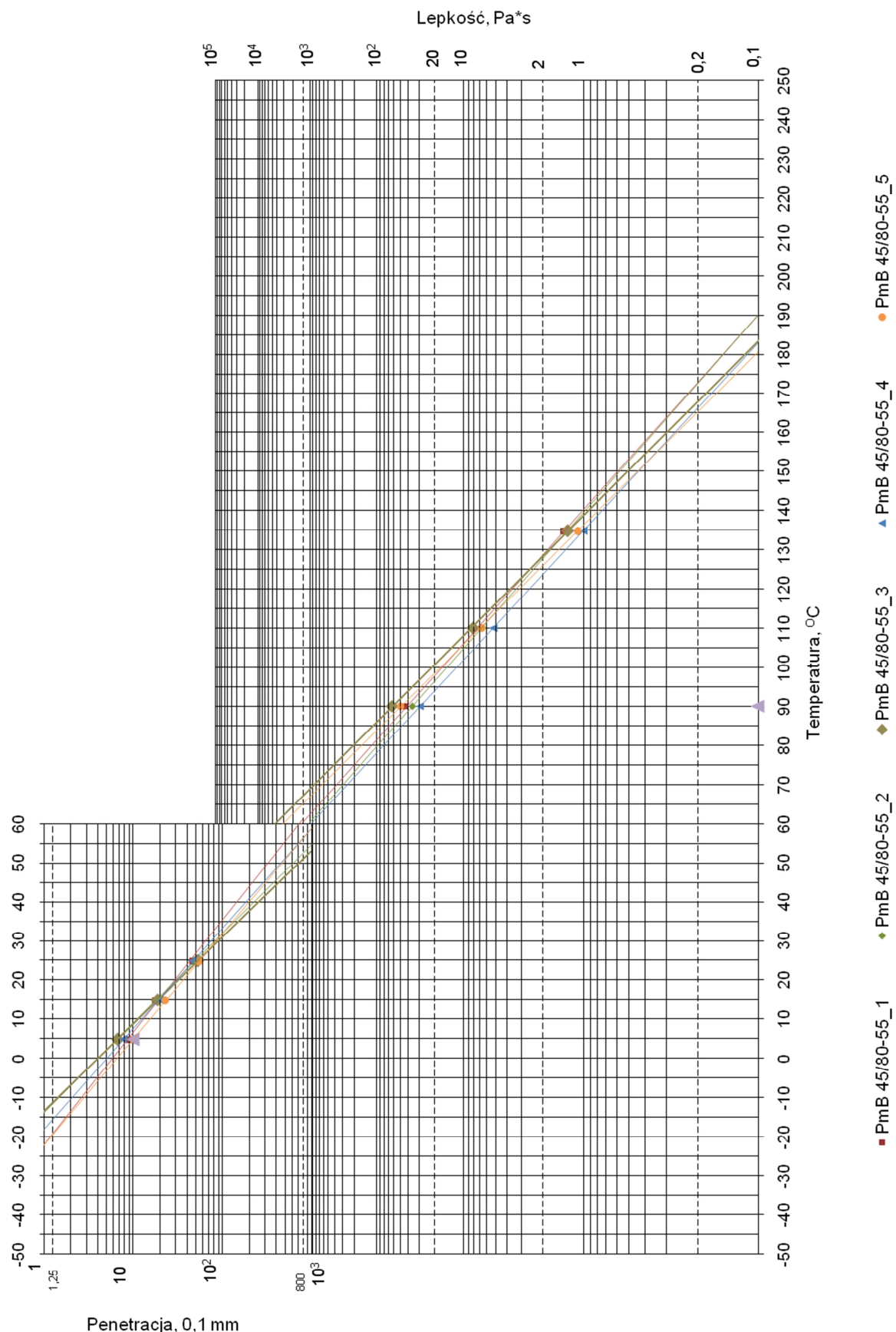
Rys. 6-17. Wykres BTDC dla asfaltów rodzaju 35/50 przed starzeniem



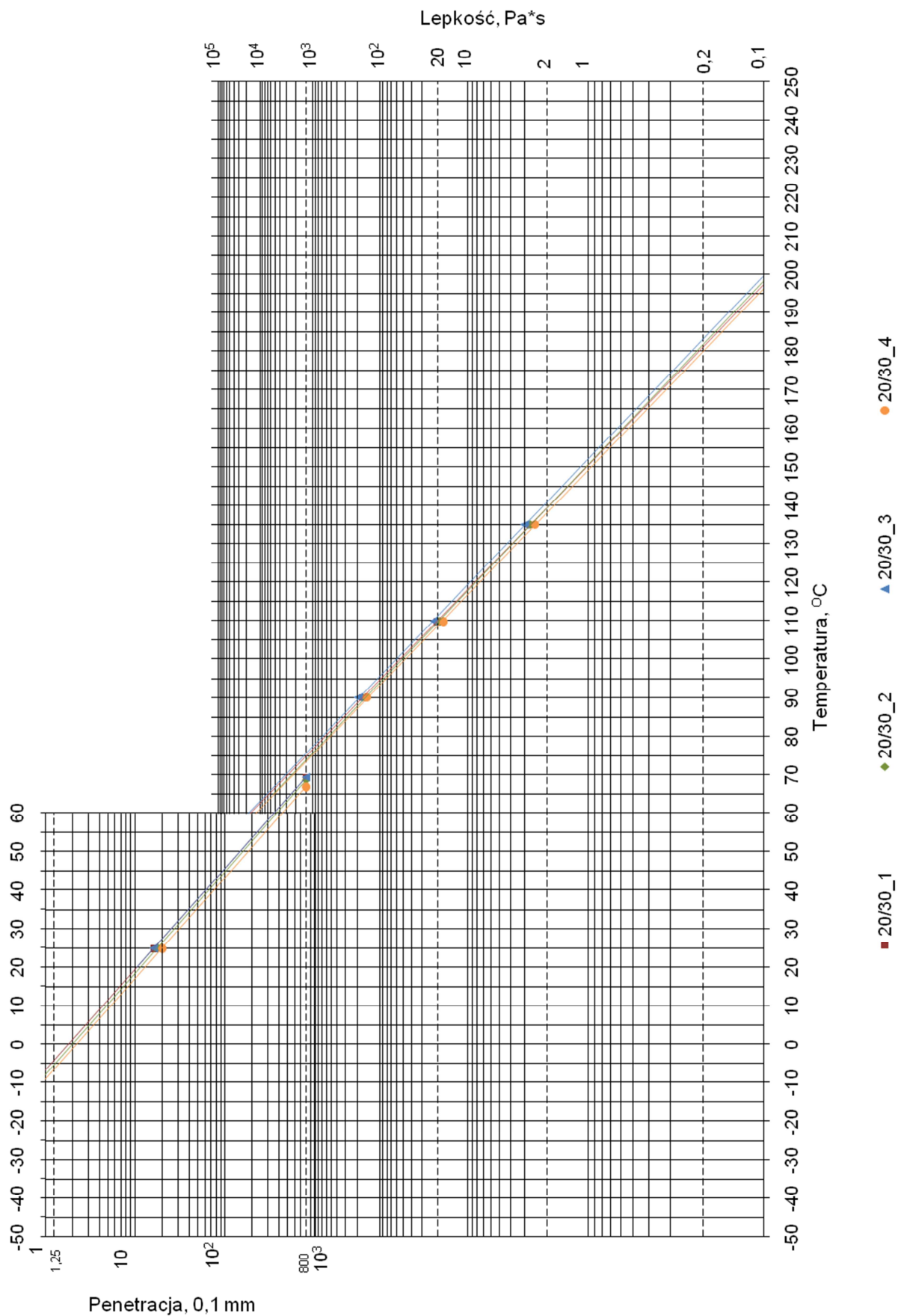
Rys. 6-18. Wykres BTDC dla asfaltów rodzaju 50/70 przed starzeniem



Rys. 6-19. Wykres BTDC dla polimeroasfaltów rodzaju PMB 25/55-60 przed starzeniem

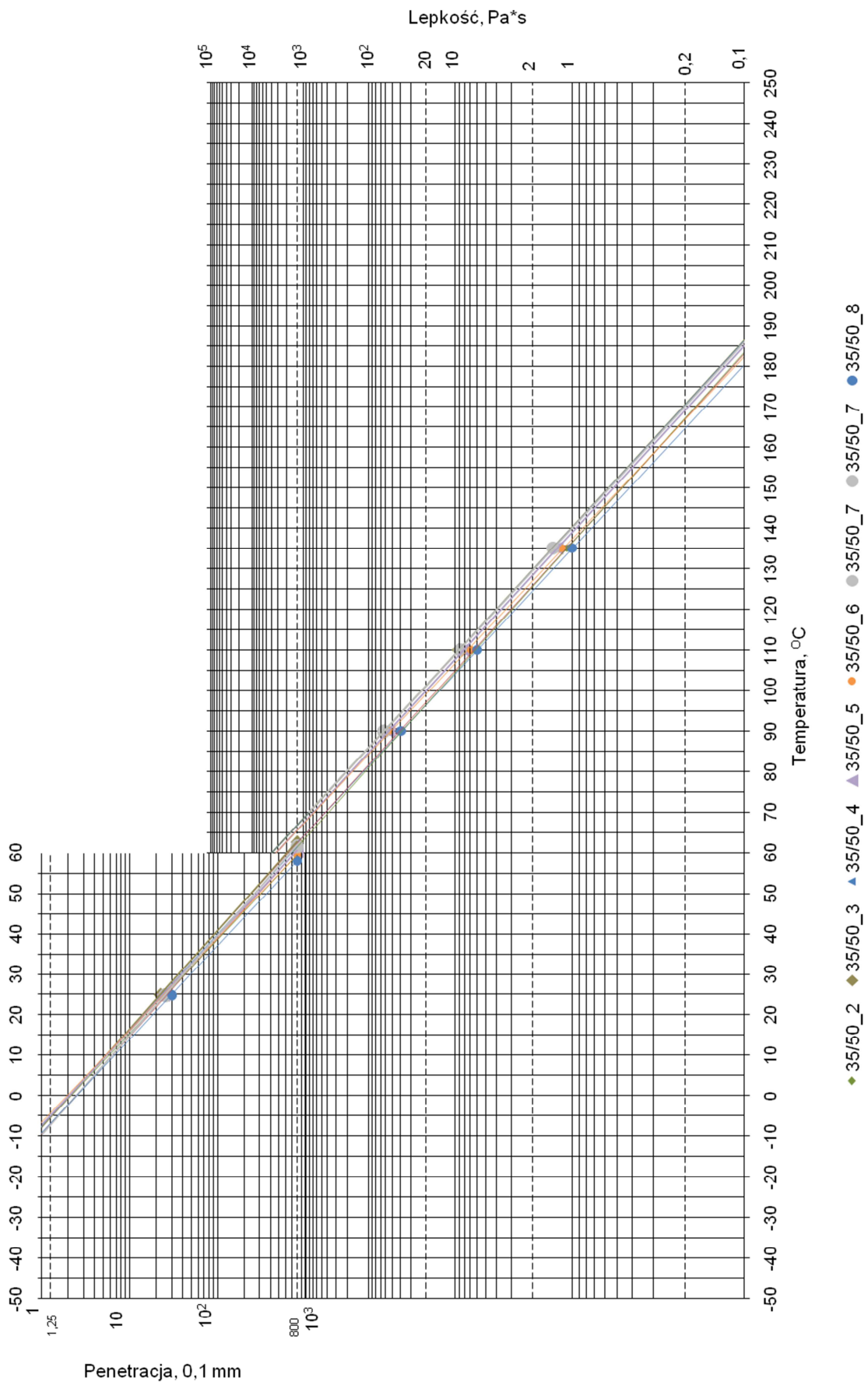


Rys. 6-20. Wykres BTDC dla polimeroasfaltów rodzaju PMB 45/80-55 przed starzeniem

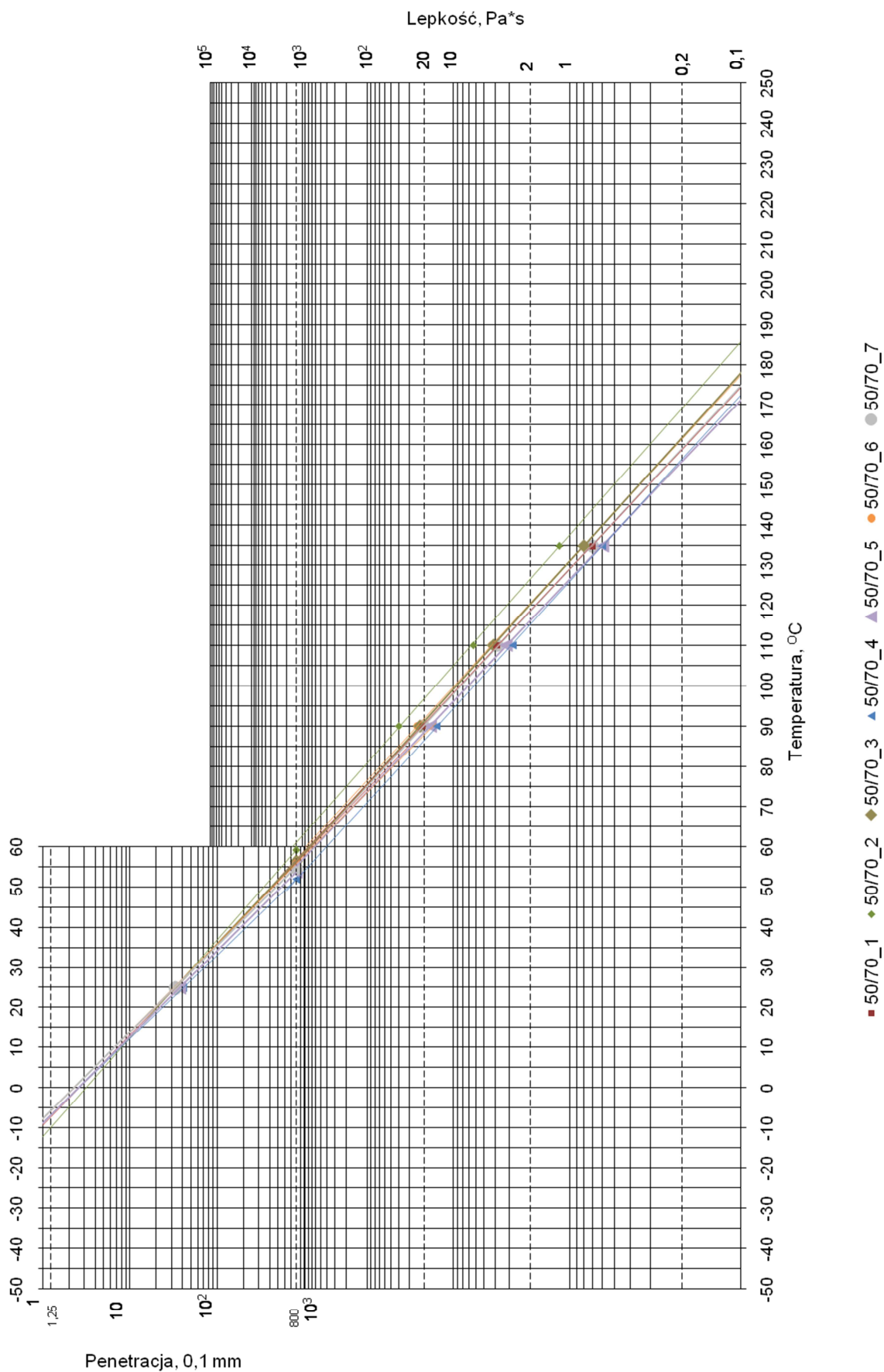


Rys. 6-21. Wykres BTDC dla asfaltów rodzaju 20/30 po starzeniu RTFOT

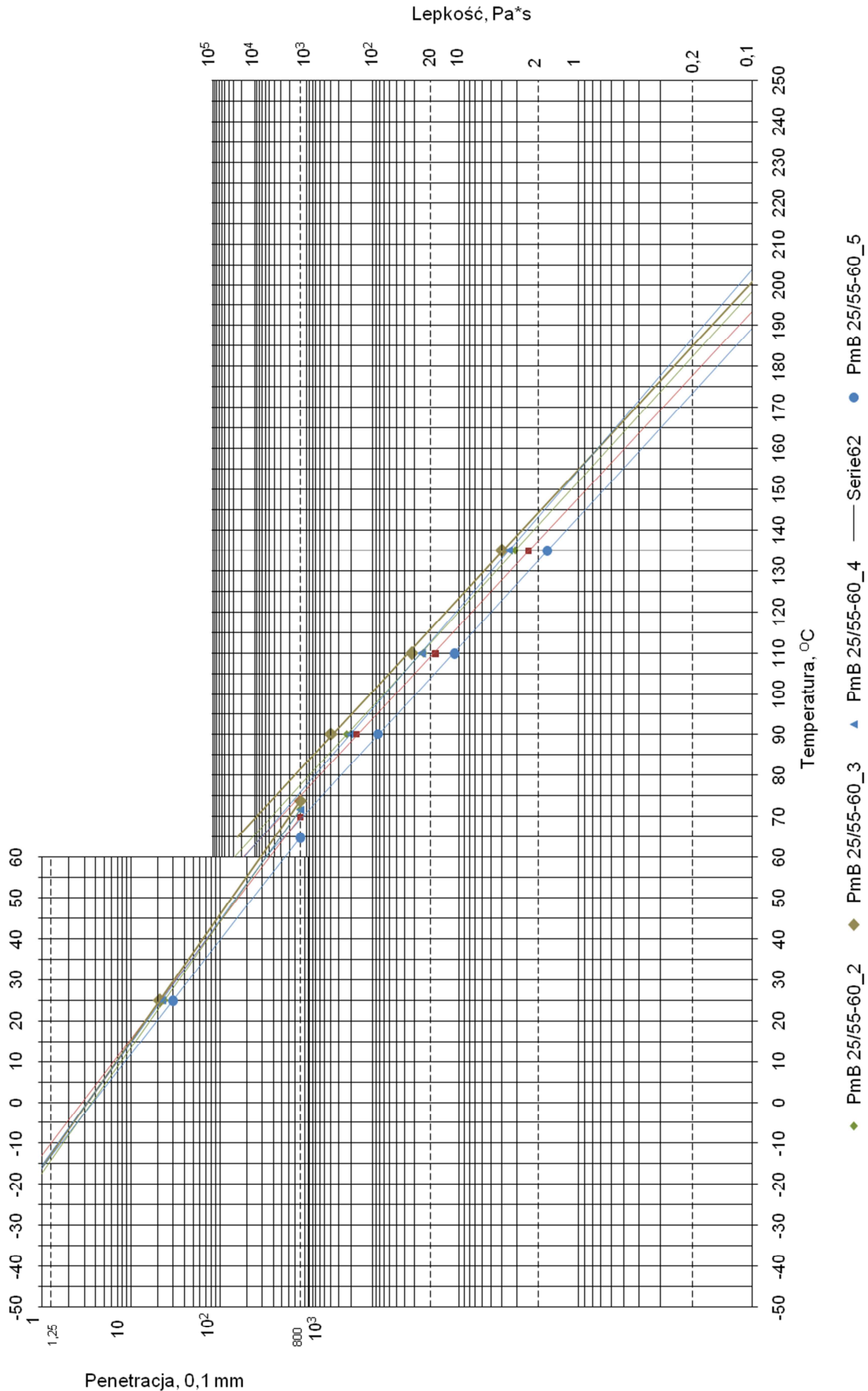




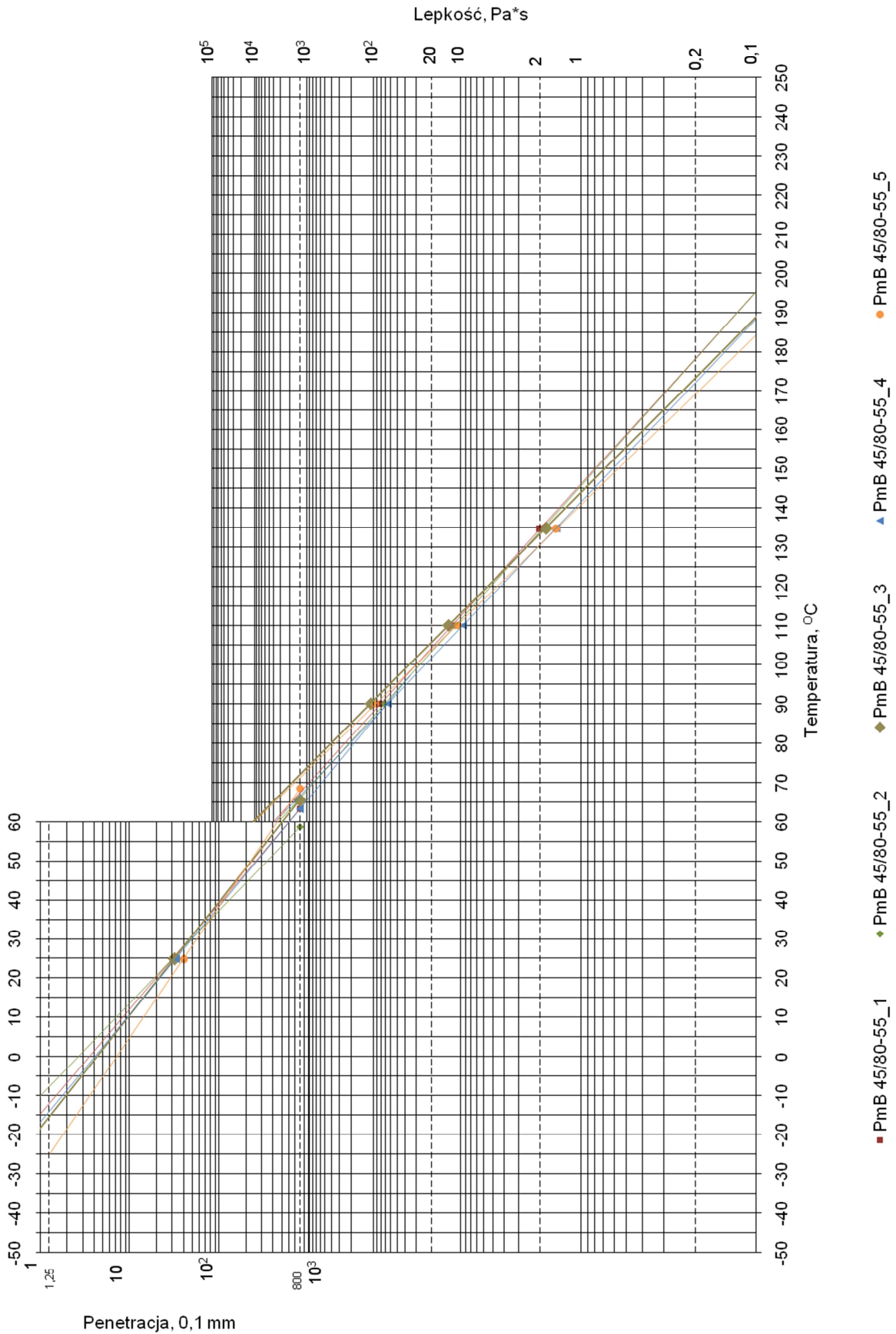
Penetracja, 0,1 mm  
Rys. 6-22. Wykres BTDC dla asfaltów rodzaju 35/50 po starzeniu RTFOT



Rys. 6-23. Wykres BTDC dla asfaltów rodzaju 50/70 po starzeniu RTFOT



Rys. 6-24. Wykres BTDC dla polimeroasfaltów rodzaju PMB 25/55-60 po starzeniu RTFOT



Rys. 6-25. Wykres BTDC dla polimeroasfaltów rodzaju PMB 45/80-55 po starzeniu RTFOT

Na podstawie wykresów BTDC określono następujące parametry:

- temperaturę łamliwości odpowiadającą 1.25x0,1mm,
- temperaturę mięknięcia odpowiadającą temperaturze penetracji 800x0.1mm,
- temperatury technologiczne: otaczania, pompowania i końcowego zagęszczania.

Wyznaczone z wykresu wartości temperatur eksploatacyjnych i technologicznych przedstawiono odpowiednio w tablicach 6-3 i 6-4 i w formie graficznej na rysunkach 6-26, 6-27, 6-28, 6-29 i 6-30.

Analizując wyniki badania temperatury mięknięcia i temperatury łamliwości oraz ich odpowiednie wartości odczytane z wykresu BTDC należy stwierdzić:

- temperatury łamliwości wg metody Frassa i odczytu z wykresu BTDC (Tablica 6-3) wykazują rozbieżność kilku stopni Celsjusza,

- uwzględniając niedokładność pomiaru temperatury łamliwości metodą Frassa należy uznać, że określenie wartości  $T_{lam}$ , odpowiadającej penetracji 1.25x0.1mm, jest wystarczające do oceny niskotemperaturowych właściwości asfaltów,

- różnice w wartościach temperatury mięknięcia wg PiK i wyznaczonej na podstawie wykresu BTDC dla asfaltów są rzędu kilku stopni. Większe zróżnicowanie wyników temperatury mięknięcia występuje dla asfaltów modyfikowanych,

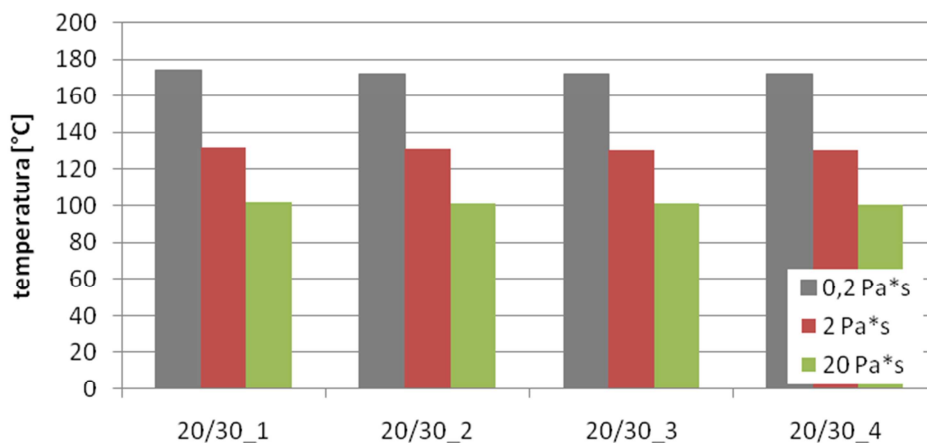
- określone temperatury technologiczne (Tablica 6-4) wykazują bardzo dobrą zgodność w poszczególnych grupach twardości lepiszczy. Ocena konsystencji lepiszczy na podstawie pomiarów lepkości w aparacie Brookfielda i wykresu BTDC daje możliwość wyznaczenia rzeczywistych temperatur technologicznych.

**Tablica 6-3. Temperatura łamliwości i temperatura mięknięcia. Wartości określone z badań i odczytane z wykresu BTDC**

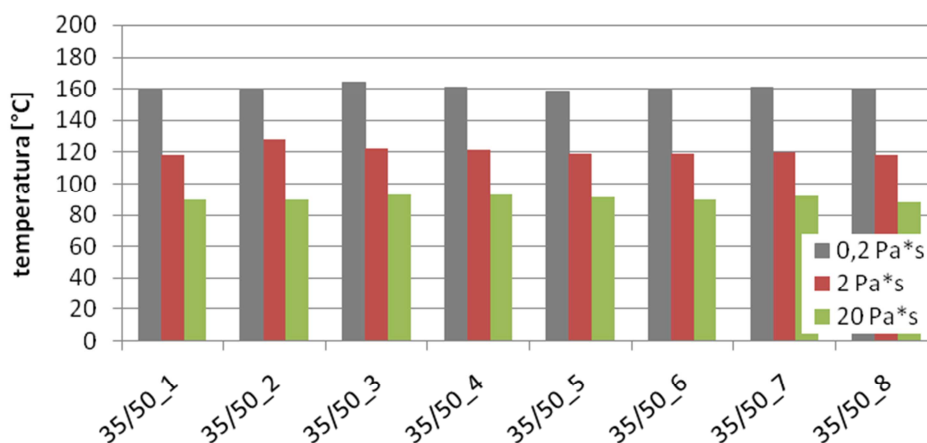
Rodzaj lepszczca	Temperatura mięknięcia wg PiK [°C]	Temperatura T <sub>800</sub> z BTDC [°C]	Temperatura łamliwości wg Frassa [°C]	Temperatura T <sub>1,25</sub> z BTDC [°C]	Tłam - T <sub>1,25</sub>	TPiK - T <sub>800</sub>
20/30_1	62.1	62	-11	-8	-3	0.1
20/30_2	61.6	64	-11	-9	-2	-2.4
20/30_3	63.0	64	-6	-8	2	-1.0
20/30_4	61.8	65	-6	-9	3	-3.2
35/50_1	54.2	56	-13	-13	0	-1.8
35/50_2	54.1	59	-15	-15	0	-5.0
35/50_3	56.4	55	-16	-10	-6	1.4
35/50_4	55.2	57	-11	-12	1	-1.8
35/50_5	54.0	55	-12	-10	-2	-1.0
35/50_6	54.2	59	-11	-11	0	-4.8
35/50_7	56.4	60	-9	-15	6	-3.6
35/50_8	53.6	58	-10	-16	6	-4.4
50/70_1	50.0	53	-12	-15	3	-3.0
50/70_2	53.2	57	-14	-19	5	-3.8
50/70_3	50.0	56	-18	-20	2	-6.0
50/70_4	47.5	53	-17	-17	0	-5.5
50/70_5	48.5	52	-14	-15	1	-3.6
50/70_6	49.7	55	-16	-17	1	-5.3
50/70_7	49.3	49	-11	-10	-1	0.3
PmB 25/55-60_1	64.8	62	-11	-14	3	2.8
PmB 25/55-60_2	66.3	59	-16	-11	-5	7.3
PmB 25/55-60_3	69.6	69	-17	-14	-3	0.6
PmB 25/55-60_4	59.4	70	-18	-20	2	-10.6
PmB 25/55-60_5	60.7	63	-20	-20	0	-2.3
PmB 45/80-55_1	57.9	61	-14	-19	5	-3.1
PmB 45/80-55_2	56.1	58	-11	-12	1	-1.9
PmB 45/80-55_3	62.1	51	-18	-11	-7	11.1
PmB 45/80-55_4	56.4	56	-17	-16	-1	0.4
PmB 45/80-55_5	61.9	56	-15	-20	5	5.9

**Tablica 6-4. Temperatury technologiczne odczytane z wykresu BTDC**

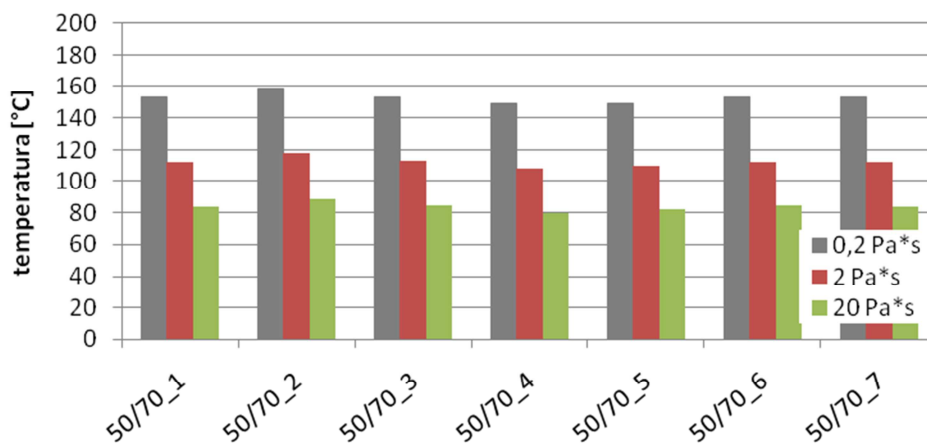
Rodzaj lepiszcza	Temperatura otaczania kruszywa [°C]	Temperatura pompowania asfaltu [°C]	Temperatura końcowej fazy zagęszczania MMA [°C]
20/30_1	174	132	102
20/30_2	172	131	101
20/30_3	172	130	101
20/30_4	172	130	100
35/50_1	159	118	90
35/50_2	159	128	90
35/50_3	164	122	93
35/50_4	161	121	93
35/50_5	158	119	91
35/50_6	159	119	90
35/50_7	161	120	92
35/50_8	160	118	88
50/70_1	153	112	84
50/70_2	159	118	89
50/70_3	153	113	85
50/70_4	149	108	80
50/70_5	149	110	82
50/70_6	153	112	85
50/70_7	153	112	84
PmB 25/55-60_1	171	130	102
PmB 25/55-60_2	178	137	108
PmB 25/55-60_3	178	137	108
PmB 25/55-60_4	182	137	106
PmB 25/55-60_5	169	127	97
PmB 45/80-55_1	173	129	98
PmB 45/80-55_2	173	128	96
PmB 45/80-55_3	168	129	101
PmB 45/80-55_4	166	124	94
PmB 45/80-55_5	162	126	101



Rys. 6-26. Temperatury technologiczne dla asfaltów rodzaju 20/30

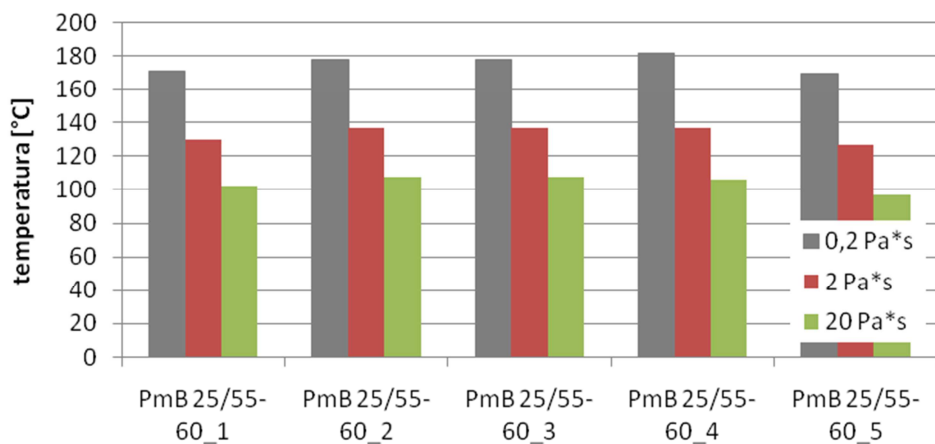


Rys. 6-27. Temperatury technologiczne dla asfaltów rodzaju 35/50

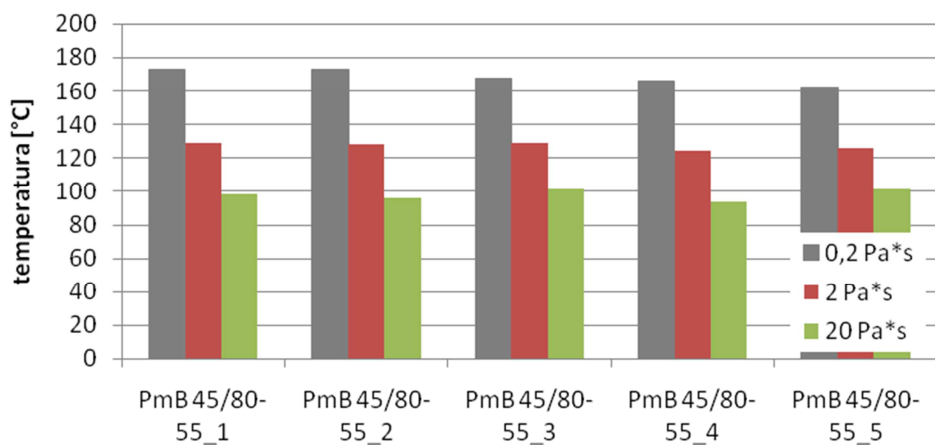


Rys. 6-28. Temperatury technologiczne dla asfaltów rodzaju 50/70





Rys. 6-29. Temperatury technologiczne dla polimeroasfaltów rodzaju PMB 25/55-60



Rys. 6-30. Temperatury technologiczne dla polimeroasfaltów rodzaju PMB 45/80-55

## 6.4 Badanie składu grupowego lepkości asfaltowych

Wyniki badania składu grupowego lepkości asfaltowych (podział na trzy składniki grupowe) przedstawiono w tabelicy 6-5 a w formie graficznej w grupach twardości asfaltów na rysunkach 6-31 do 6-35.

Tablica 6-5. Skład grupowy lepkości asfaltowych

Rodzaj lepkości	Skład grupowy								
	Asfalteny			Żywice			Oleje		
	wartość	średnia	odch. std.	wartość	średnia	odch. std.	wartość	średnia	odch. std.
20/30_1	21.47	22.47	1.59	44.69	41.42	2.65	33.84	36.12	3.20
20/30_2	20.85			38.28			40.87		
20/30_3	23.25			41.87			34.89		
20/30_4	24.29			40.84			34.88		
35/50_1	20.07	19.31	2.00	43.85	41.01	2.99	36.09	39.68	3.04
35/50_2	18.58			45.20			36.22		
35/50_3	16.85			42.78			40.37		
35/50_4	16.68			41.42			41.91		
35/50_5	20.24			41.10			38.67		
35/50_6	21.70			38.31			40.00		
35/50_7	18.47			36.16			45.37		
35/50_8	21.90			39.29			38.82		
50/70_1	14.91	16.86	1.92	40.74	41.91	1.72	44.36	41.24	1.77
50/70_2	19.47			41.28			39.26		
50/70_3	18.67			40.90			40.44		
50/70_4	14.81			43.85			41.35		
50/70_5	15.26			43.35			41.40		
50/70_6	18.11			39.51			42.38		
50/70_7	16.79			43.73			39.48		
PmB 25/55-60_1	16.48	16.30	0.61	45.17	44.89	1.53	38.36	38.82	1.40
PmB 25/55-60_2	16.41			45.89			37.70		
PmB 25/55-60_3	15.25			46.13			38.63		
PmB 25/55-60_4	16.87			44.95			38.18		
PmB 25/55-60_5	16.47			42.29			41.25		
PmB 45/80-55_1	11.72	11.85	2.56	47.11	48.15	2.52	41.18	40.01	1.70
PmB 45/80-55_2	12.67			47.23			40.11		
PmB 45/80-55_3	8.05			50.32			41.64		
PmB 45/80-55_4	15.18			44.98			39.84		
PmB 45/80-55_5	11.63			51.10			37.27		

Asfalty drogowe, należące do typu reologicznego zolo-żel, powinny charakteryzować się następującym składem grupowym:

- asfalteny w ilości od 18% do 26%,

- żywice w ilości od 30% do 42%,
- oleje w ilości od 40% do 50%.

Asfalty typu reologicznego zolo-żel składają się z niezbyt gęsto rozwiniętej struktury sieciowej asfaltenów stabilizowanych grubymi otoczkami żywic. Asfalty te wykazują optymalne właściwości do ich stosowania w budownictwie drogowym.

Analizując wyniki badań składu grupowego dla asfaltów rodzaju 20/30, zawarte w tablicy 6-5, należy zwrócić uwagę na wysoką zawartość asfaltenów co można wiązać z głębokim procesem utleniania tego rodzaju lepiszczy. Proces utleniania asfaltów 20/30 zmienia skład grupowy w kierunku korzystnego wzrostu zawartości asfaltenów, a zawartość olejów i żywic zmniejsza się. Jednak takie asfalty mogą mieć zmniejszoną odporność na spękania niskotemperaturowe.

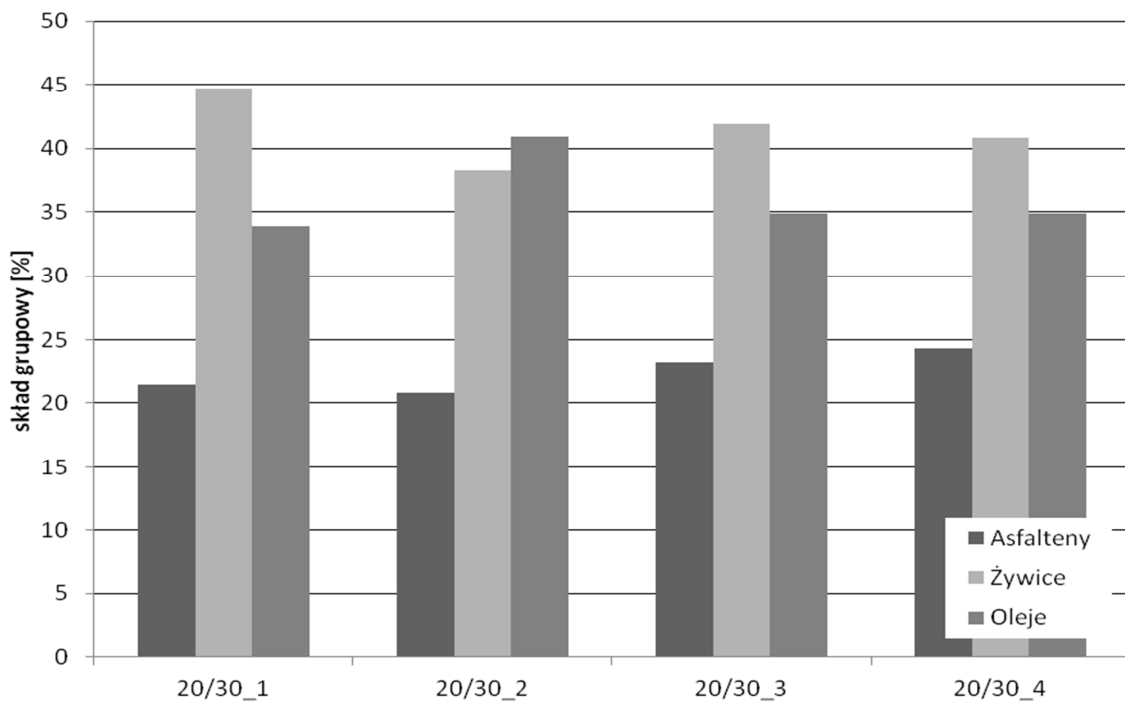
Oceniając skład grupowy asfaltów rodzaju 35/50 można stwierdzić, że zawartość asfaltenów jest zróżnicowana i wynosi od około 17% do około 22%. Podobne zróżnicowanie składu występuje w zawartości żywic i olejów co może skutkować zmienną wrażliwością temperaturową.

W grupie asfaltów o twardości 50/70 obserwuje się duże zróżnicowanie w zawartości asfaltenów. Asfalty te charakteryzują się zawartością asfaltenów i olejów zbliżoną do zalecanych dolnych granic wymagań. Zawartość żywic w tej grupie asfaltów jest mało zróżnicowana i oscyluje wokół górnej granicy zalecanej zawartości.

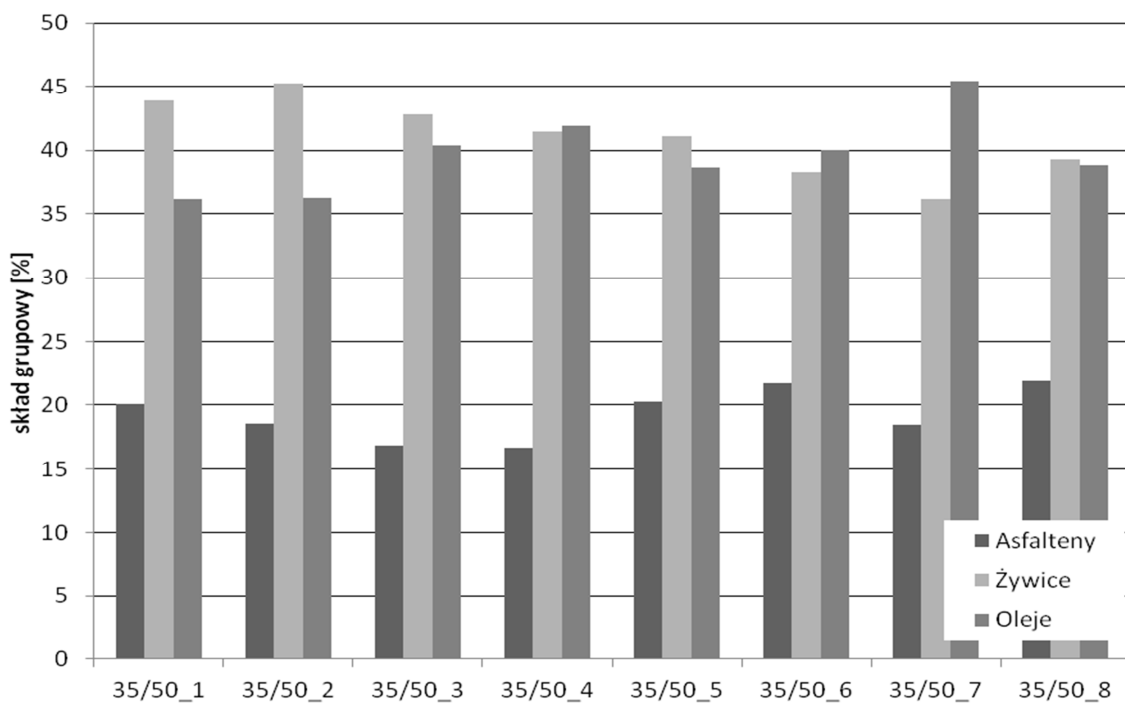
Do oceny polimeroasfaltów nie powinno się stosować kryteriów składu grupowego takiego jak dla asfaltów drogowych. Wytworzenie polimeroasfaltów wiąże się z problemem kompatybilności asfaltów z polimerami oraz rozpuszczalnością polimerów w asfalcie. Rozpuszczalność polimerów w asfalcie zależy od wielu parametrów, z których najważniejszymi są:

- różnica parametrów rozpuszczalności polimeru i frakcji olejowej w asfalcie,
- ilość i rodzaj asfaltenów w asfalcie.

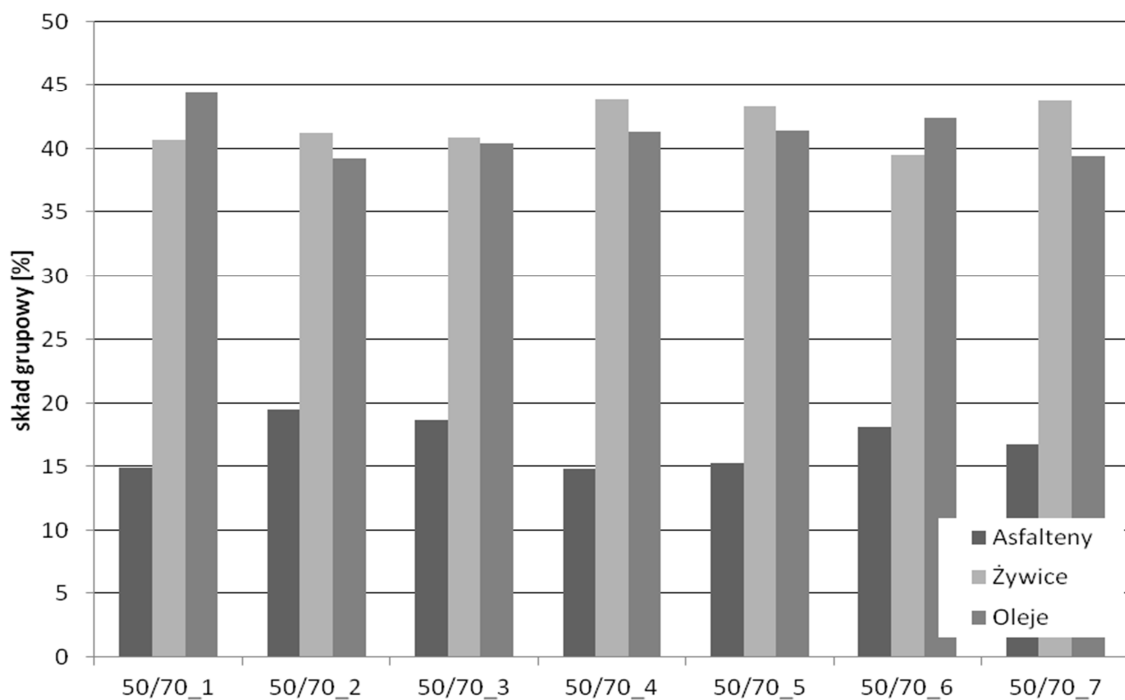
Wyniki badania składu grupowego asfaltów modyfikowanych elastomerami nie są miarodajne, gdyż stosowane w analizie różnego rodzaju rozpuszczalniki do wydzielenia składników grupowych mogą różnie wpływać na rozpuszczalność polimeru. Obserwuje się wysokie zawartości żywic, co może być związane z wytrąceniem części polimerów w tym składniku grupowym.



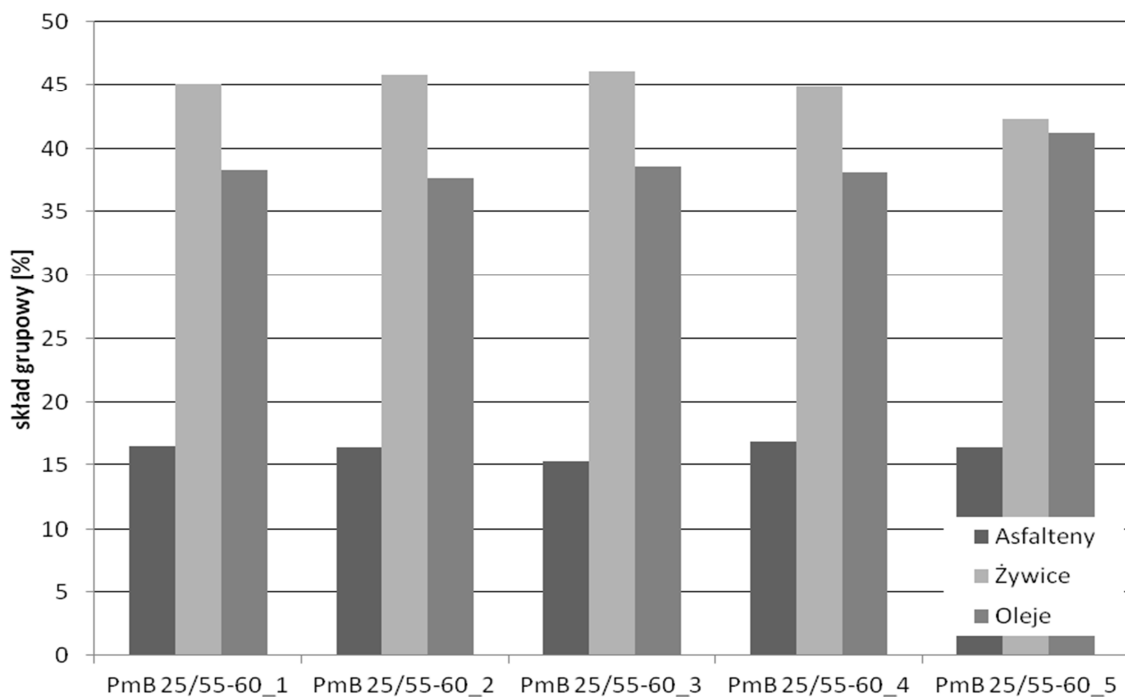
Rys. 6-31. Skład grupowy dla asfaltów rodzaju 20/30



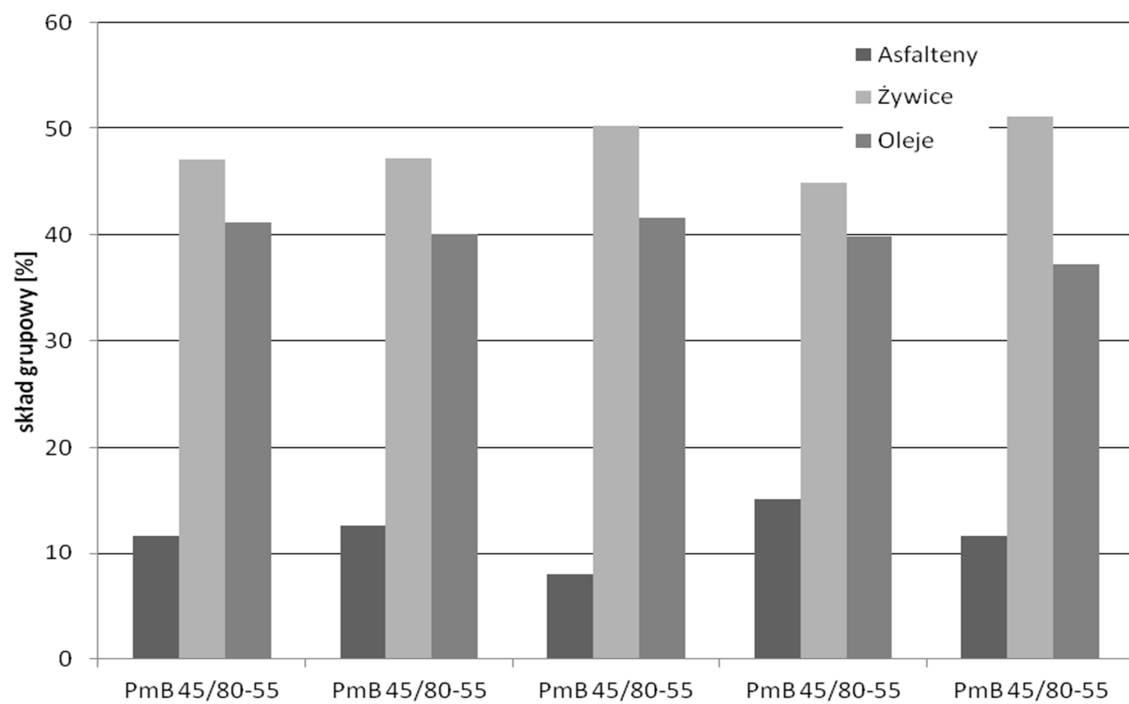
Rys. 6-32. Skład grupowy dla asfaltów rodzaju 35/50



Rys. 6-33. Skład grupowy dla asfaltów rodzaju 50/70



Rys. 6-34. Skład grupowy dla polimeroasfaltów rodzaju PMB 25/55-60



Rys. 6-35. Skład grupowy dla polimeroasfaltów rodzaju PMB 45/80-55

## 7 BADANIA ODPORNOŚCI LEPIZCZY ASFALTOWYCH NA STARZENIE TECHNOLOGICZNE I EKSPLOATACYJNE. BADANIE ADHEZJI. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

### 7.1 Badanie odporności lepizczy asfaltowych na starzenie

Wyniki badania odporności na starzenie wg RTFOT i PAV lepizczy asfaltowych przedstawiono w tablicy 7-1, 7-2, 7-3, 7-4 i 7-5 a w formie graficznej w grupach twardości asfaltów na rysunkach 7-1 do 7-20.

Tablica 7-1. Zmiana masy lepizczy asfaltowych po starzeniu RTFOT

Rodzaj lepizcza	Zmiana masy po starzeniu RTFOT, [%]		
	wartość	średnia	odch. std.
20/30_1	0.01%	-0.02%	0.04%
20/30_2	0.02%		
20/30_3	-0.04%		
20/30_4	-0.07%		
35/50_1	-0.02%	-0.02%	0.10%
35/50_2	0.04%		
35/50_3	-0.11%		
35/50_4	-0.12%		
35/50_5	0.04%		
35/50_6	0.08%		
35/50_7	0.08%		
35/50_8	-0.16%		
50/70_1	-0.05%	-0.03%	0.10%
50/70_2	-0.22%		
50/70_3	-0.03%		
50/70_4	0.03%		
50/70_5	0.06%		
50/70_6	-0.07%		
50/70_7	0.05%		
PmB 25/55-60_1	-0.09%	0.00%	0.05%
PmB 25/55-60_2	0.04%		
PmB 25/55-60_3	0.00%		
PmB 25/55-60_4	0.04%		
PmB 25/55-60_5	0.02%		
PmB 45/80-55_1	-0.05%	-0.01%	0.05%
PmB 45/80-55_2	0.04%		
PmB 45/80-55_3	0.04%		
PmB 45/80-55_4	-0.02%		
PmB 45/80-55_5	-0.05%		

Wyniki zmiany masy lepiszczy po starzeniu RTFOT, przedstawione w tabelicy 7-1, są korzystnie niższe od wymaganej wartości normowej wynoszącej 0.5% m/m. Odporność na starzenie wg normy PN-EN określona wartością pozostałej penetracji po badaniu RTFOT, spełnia wymagania normowe dla asfaltów i dla asfaltów modyfikowanych. Podobnie jest z wymaganiem normowym dotyczącym wzrostu temperatury mięknienia po starzeniu RTFOT (Tabela 7-5).

Należy podkreślić duże zróżnicowanie wyników badania odporności na starzenie RTFOT i PAV w poszczególnych grupach twardości lepiszczy asfaltowych (Tabela 7-1). Dotyczy to szczególnie zmiany konsystencji określonej na podstawie penetracji. Oceniając wyniki badania penetracji i ich zróżnicowanie w zależności od producenta należy stwierdzić, że większe zróżnicowanie wyników badań twardości występuje u producenta 2.

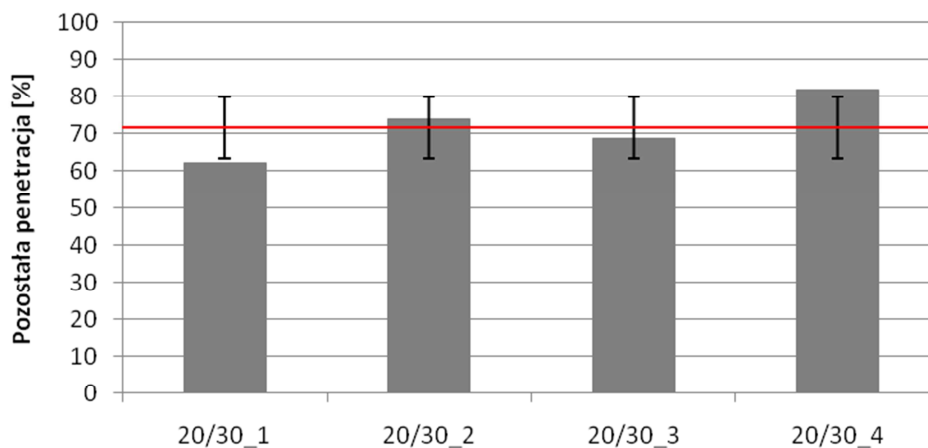
**Tabela 7-2. Penetracja w temperaturze 25°C lepiszczy asfaltowych po starzeniu RTFOT i po RTFOT+PAV**

lepiszcze	Penetracja w 25°C [0,1 mm]	Penetracja po RTFOT w 25°C, [0,1 mm]			Penetracja po RTFOT + PAV w 25°C [0,1 mm]		
		wartość	średnia	odch. std.	wartość	średnia	odch. std.
20/30_1	26.2	16.3	17.5	1.7	11.0	11.8	0.6
20/30_2	23.9	17.7			12.2		
20/30_3	23.6	16.2			12.3		
20/30_4	24.3	19.9			11.7		
35/50_1	40.1	26.6	25.3	2.3	19.4	17.4	2.2
35/50_2	42.0	25.7			16.9		
35/50_3	38.0	22.5			15.6		
35/50_4	39.1	23.5			16.7		
35/50_5	39.1	24.3			17.0		
35/50_6	34.7	24.2			15.3		
35/50_7	38.6	25.8			16.3		
35/50_8	43.3	30.0			21.8		
50/70_1	58.0	33.4	34.4	3.2	23.6	21.3	1.7
50/70_2	50.9	32.7			20.0		
50/70_3	55.0	33.1			19.7		
50/70_4	69.0	40.6			22.8		
50/70_5	57.8	36.9			23.0		
50/70_6	55.0	31.5			19.8		
50/70_7	57.9	32.8			20.3		
PmB 25/55-60_1	33.4	21.5	23.6	3.5	15.3	17.0	1.7
PmB 25/55-60_2	36.0	23.8			16.8		
PmB 25/55-60_3	24.6	21.0			15.9		
PmB 25/55-60_4	31.7	22.3			17.5		
PmB 25/55-60_5	41.3	29.5			19.6		
PmB 45/80-55_1	46.0	30.2	33.1	4.1	20.1	21.2	1.6
PmB 45/80-55_2	48.6	30.5			19.8		
PmB 45/80-55_3	52.5	31.8			20.2		
PmB 45/80-55_4	46.4	33.0			22.9		
PmB 45/80-55_5	55.5	40.2			23.1		

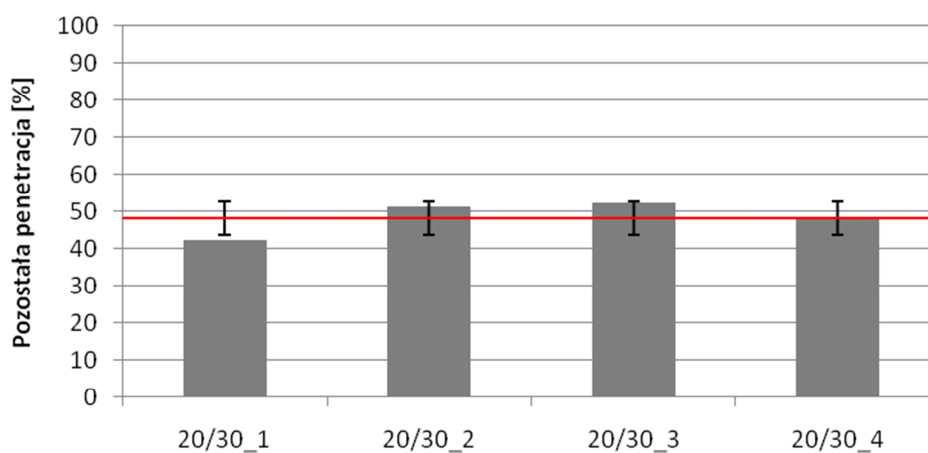


**Tablica 7-3. Pozostała penetracja lepiszczy asfaltowych po starzeniu RTFOT i po RTFOT+PAV**

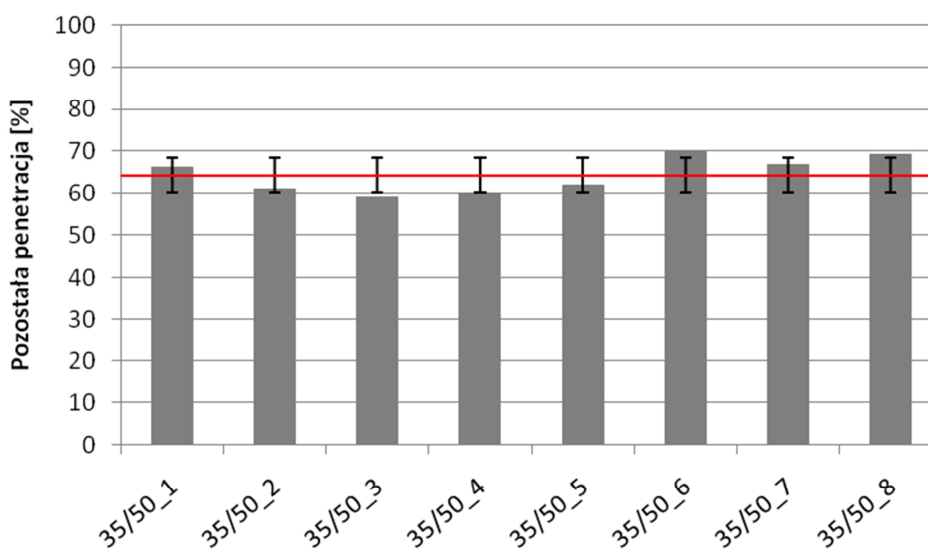
Rodzaj lepiszcza	Penetracja w 25 °C [0,1 mm]	Pozostała penetracja po RTFOT w 25 °C [%]	Pozostała penetracja po RTFOT + PAV w 25 °C [%]
20/30_1	26.2	62.3	42.0
20/30_2	23.9	74.1	51.0
20/30_3	23.6	68.6	52.1
20/30_4	24.3	81.9	48.1
35/50_1	40.1	66.3	48.4
35/50_2	42.0	61.2	40.2
35/50_3	38.0	59.2	41.1
35/50_4	39.1	60.2	42.7
35/50_5	39.1	62.1	43.4
35/50_6	34.7	69.7	44.1
35/50_7	38.6	66.8	42.2
35/50_8	43.3	69.3	50.3
50/70_1	58.0	57.6	40.7
50/70_2	50.9	64.2	39.3
50/70_3	55.0	60.2	35.8
50/70_4	69.0	58.9	33.1
50/70_5	57.8	63.9	39.8
50/70_6	55.0	57.3	36.0
50/70_7	57.9	56.7	35.1
PmB 25/55-60_1	33.4	64.4	45.8
PmB 25/55-60_2	36.0	66.1	46.6
PmB 25/55-60_3	24.6	85.4	64.6
PmB 25/55-60_4	31.7	70.3	55.2
PmB 25/55-60_5	41.3	71.4	47.5
PmB 45/80-55_1	46.0	65.7	43.7
PmB 45/80-55_2	48.6	62.8	40.7
PmB 45/80-55_3	52.5	60.5	38.5
PmB 45/80-55_4	46.4	71.1	49.4
PmB 45/80-55_5	55.5	72.4	41.6



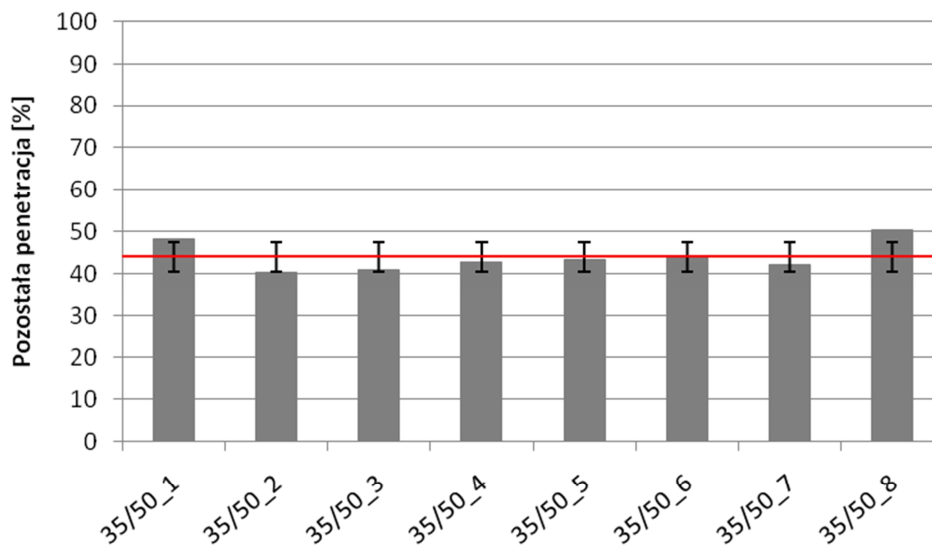
Rys. 7-1. Pozostała penetracja po badaniu starzenia wg RTFOT asfaltów rodzaju 20/30



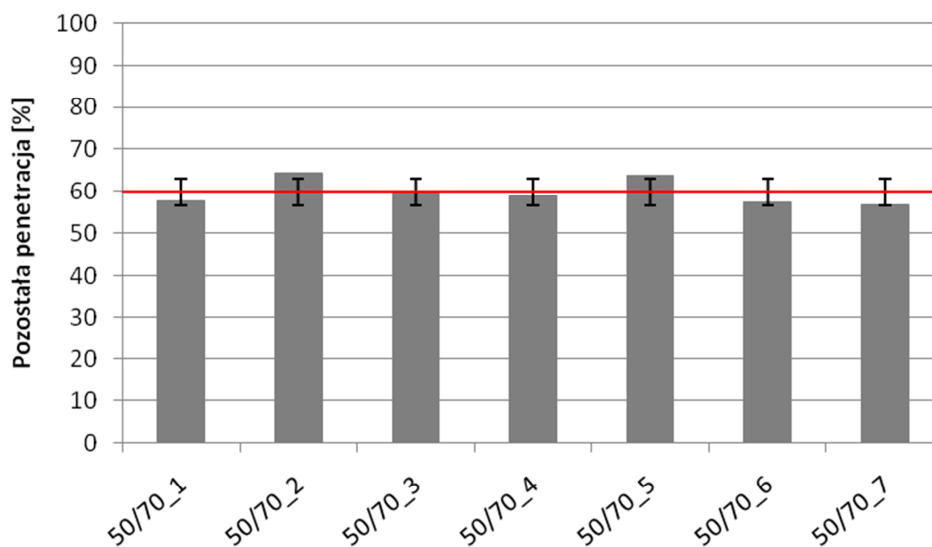
Rys. 7-2. Pozostała penetracja po badaniu starzenia wg RTFOT+PAV asfaltów rodzaju 20/30



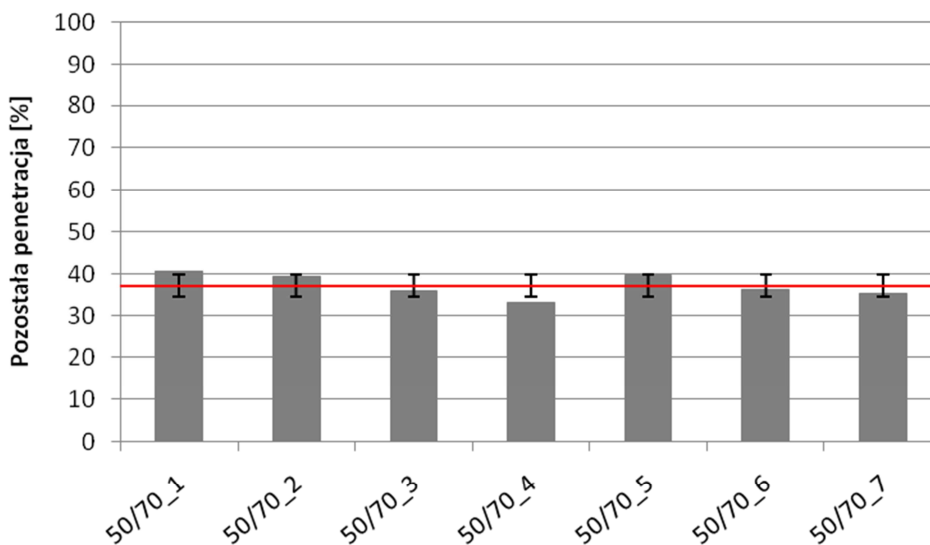
Rys. 7-3. Pozostała penetracja po badaniu starzenia wg RTFOT asfaltów rodzaju 35/50



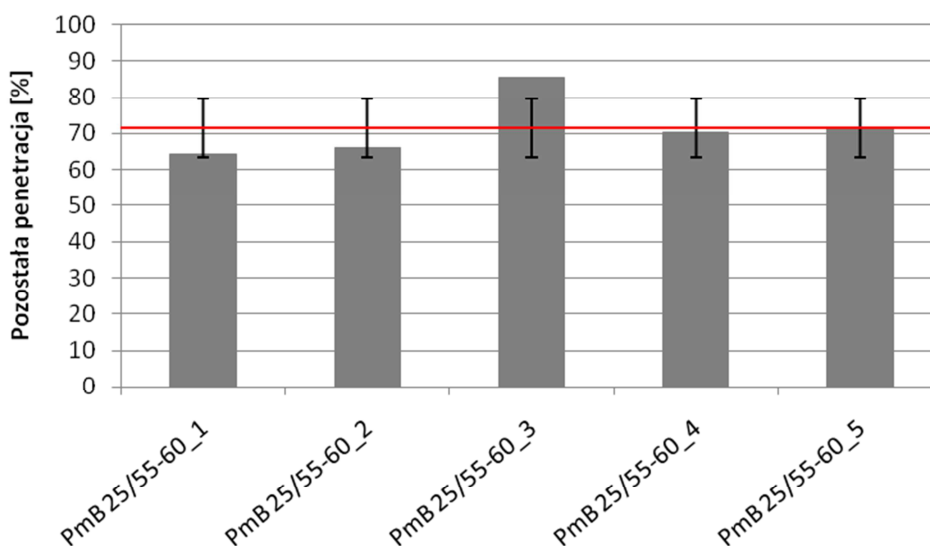
Rys. 7-4. Pozostała penetracja po badaniu starzenia wg RTFOT+PAV asfaltów rodzaju 35/50



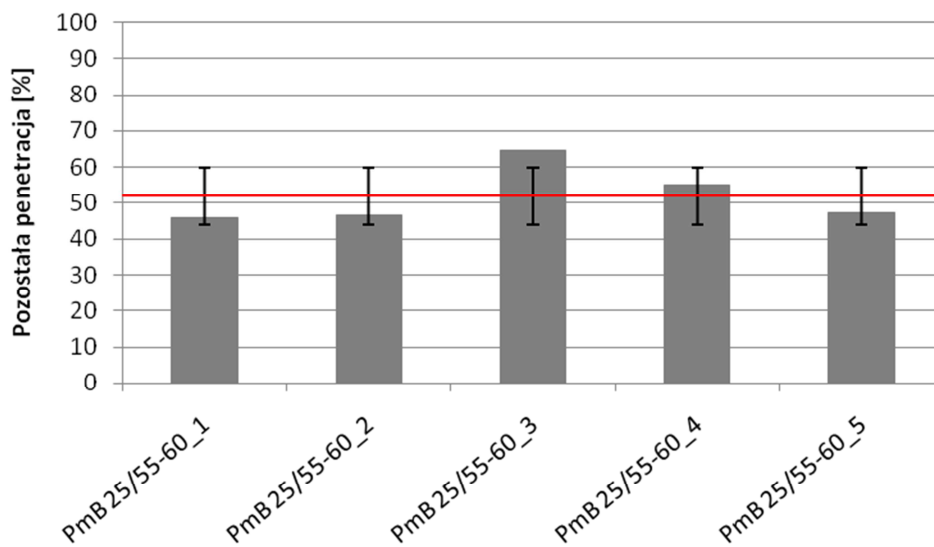
Rys. 7-5. Pozostała penetracja po badaniu starzenia wg RTFOT asfaltów rodzaju 50/70



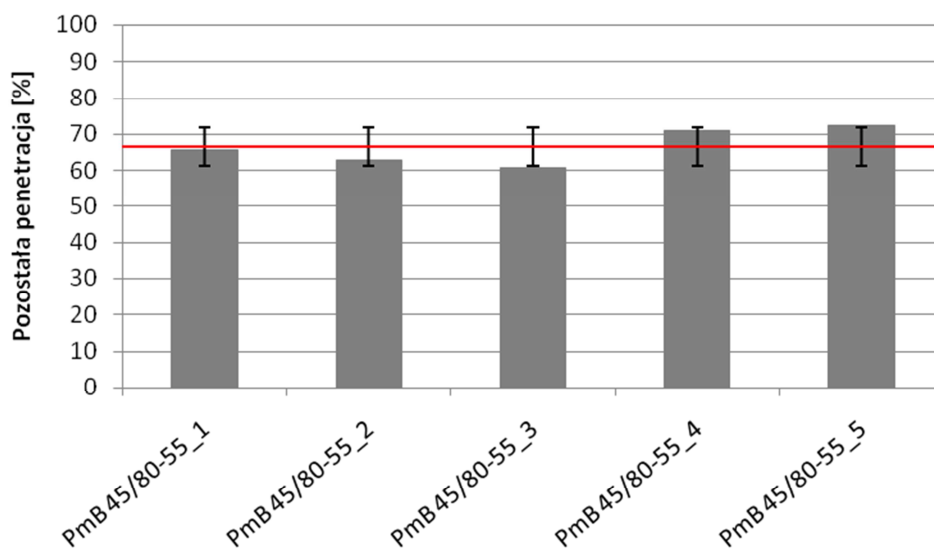
Rys. 7-6. Pozostała penetracja po badaniu starzenia wg RTFOT+PAV asfaltów rodzaju 50/70



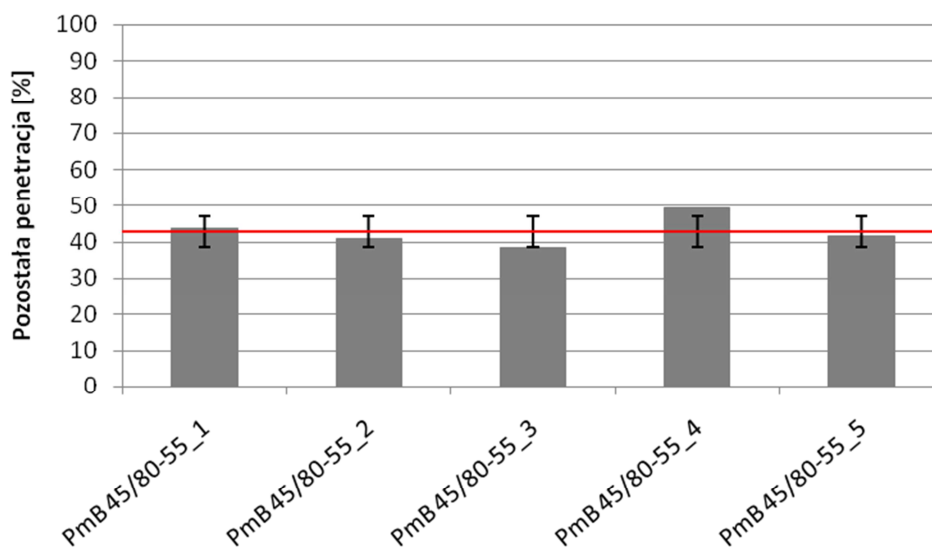
Rys. 7-7. Pozostała penetracja po badaniu starzenia wg RTFOT asfaltów rodzaju PMB 25/55-60



Rys. 7-8. Pozostała penetracja po badaniu starzenia wg RTFOT+PAV asfaltów rodzaju PMB 25/55-60



Rys. 7-9. Pozostała penetracja po badaniu starzenia wg RTFOT asfaltów rodzaju PMB 45/80-55



Rys. 7-10. Pozostała penetracja po badaniu starzenia wg RTFOT+PAV asfaltów rodzaju PMB 45/80-55

W tablicach 7-4 i 7-5 oraz na rysunkach 7-11 do 7-20 zestawiono wyniki badania temperatury mięknięcia wg PiK lepiszczy po badaniu starzenia metodą RTFOT oraz metoda RTFOT + PAV. Obliczono wzrost temperatury mięknięcia po starzeniu RTFOT i PAV a uzyskane wyniki wskazują, że lepiszcza spełniają wymagania norm.

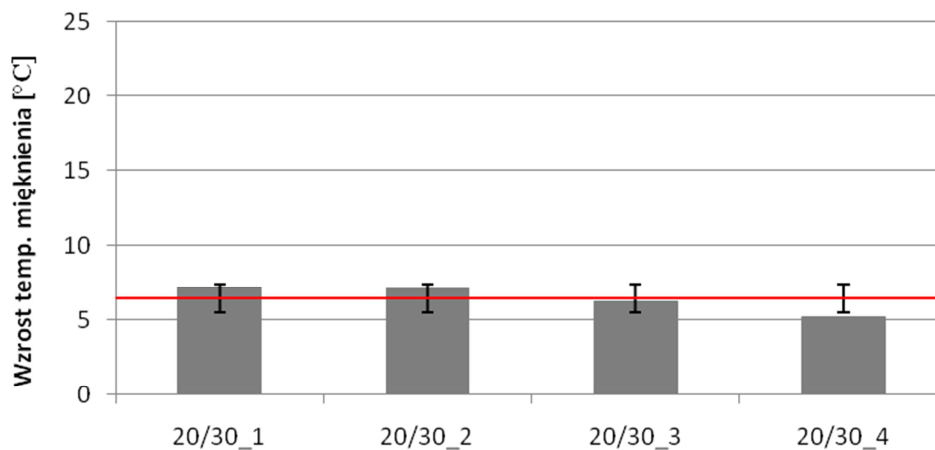
**7-4. Temperatura mięknięcia wg PiK lepszycy asfaltowych po starzeniu RTFOT i RTFOT+PAV**

Rodzaj lepszycza	Temp. mięknięcia wg PiK, [°C]	Temp. mięknięcia wg PiK po RTFOT, [°C]			Temp. mięknięcia wg PiK po RTFOT + PAV, [°C]		
		wartość	średnia	odch. std.	wartość	średnia	odch. std.
20/30_1	62.1	69.3	68.6	1.1	78.8	78.7	1.1
20/30_2	61.6	68.7			80.1		
20/30_3	63.0	69.3			78.1		
20/30_4	61.8	67.0			77.6		
35/50_1	54.2	60.6	60.5	1.5	69.8	69.6	1.4
35/50_2	54.1	59.6			69.5		
35/50_3	56.4	62.6			71.3		
35/50_4	55.2	61.4			71.3		
35/50_5	54.0	60.4			69.6		
35/50_6	54.2	59.6			67.9		
35/50_7	56.4	61.8			70.4		
35/50_8	53.6	58.0			67.3		
50/70_1	50.0	56.1	55.4	2.3	64.6	63.8	2.7
50/70_2	53.2	59.2			69.1		
50/70_3	50.0	56.3			64.3		
50/70_4	47.5	52.0			60.7		
50/70_5	48.5	53.6			61.5		
50/70_6	49.7	55.8			63.7		
50/70_7	49.3	54.8			62.8		
PmB 25/55-60_1	64.8	69.8	70.3	3.3	78.1	78.2	3.7
PmB 25/55-60_2	66.3	71.7			79.0		
PmB 25/55-60_3	69.6	73.7			81.7		
PmB 25/55-60_4	59.4	71.5			80.1		
PmB 25/55-60_5	60.7	64.9			71.9		
PmB 45/80-55_1	57.9	63.2	63.8	3.6	70.2	70.3	0.8
PmB 45/80-55_2	56.1	58.6			70.3		
PmB 45/80-55_3	62.1	65.5			70.3		
PmB 45/80-55_4	56.4	63.3			71.4		
PmB 45/80-55_5	61.9	68.5			69.2		

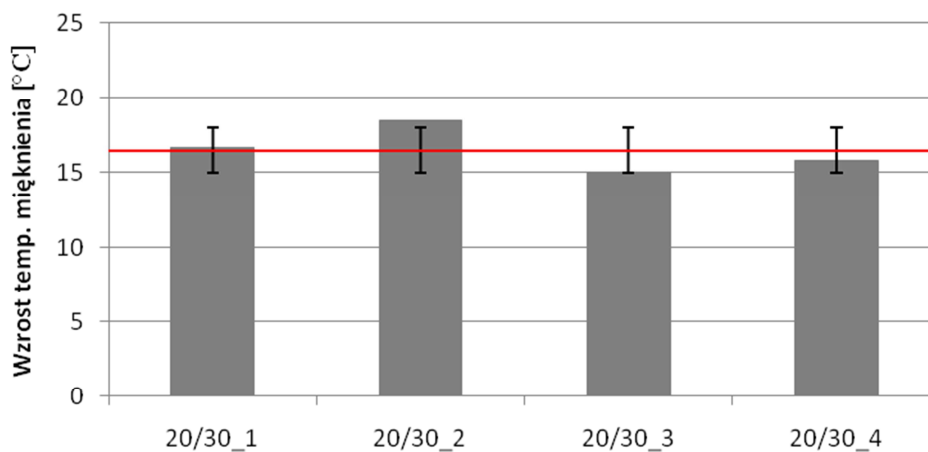
**7-5. Wzrost temperatury mięknięcia wg PiK lepszycy asfaltowych po starzeniu RTFOT i RTFOT+PAV**

Rodzaj lepszycy	Temp. mięknięcia wg PiK [°C]	Wzrost temp. mięknięcia wg PiK po RTFOT [°C]	Wzrost temp. mięknięcia wg PiK po RTFOT+PAV [°C]
20/30_1	62.1	7.2	16.7
20/30_2	61.6	7.1	18.5
20/30_3	63.0	6.3	15.1
20/30_4	61.8	5.2	15.8
35/50_1	54.2	6.5	15.7
35/50_2	54.1	5.6	15.5
35/50_3	56.4	6.2	14.9
35/50_4	55.2	6.2	16.1
35/50_5	54.0	6.4	15.6
35/50_6	54.2	5.4	13.7
35/50_7	56.4	5.4	14.0
35/50_8	53.6	4.4	13.7
50/70_1	50.0	6.1	14.6
50/70_2	53.2	6.0	15.9
50/70_3	50.0	6.3	14.3
50/70_4	47.5	4.5	13.2
50/70_5	48.5	5.2	13.1
50/70_6	49.7	6.1	14.0
50/70_7	49.3	5.5	13.5
PmB 25/55-60_1	64.8	5.0	13.3
PmB 25/55-60_2	66.3	5.4	12.7
PmB 25/55-60_3	69.6	4.1	12.1
PmB 25/55-60_4	59.4	12.1	20.7
PmB 25/55-60_5	60.7	4.2	11.2
PmB 45/80-55_1	57.9	5.3	12.3
PmB 45/80-55_2	56.1	2.5	14.2
PmB 45/80-55_3	62.1	3.4	8.2
PmB 45/80-55_4	56.4	6.9	15.0
PmB 45/80-55_5	61.9	6.6	7.3

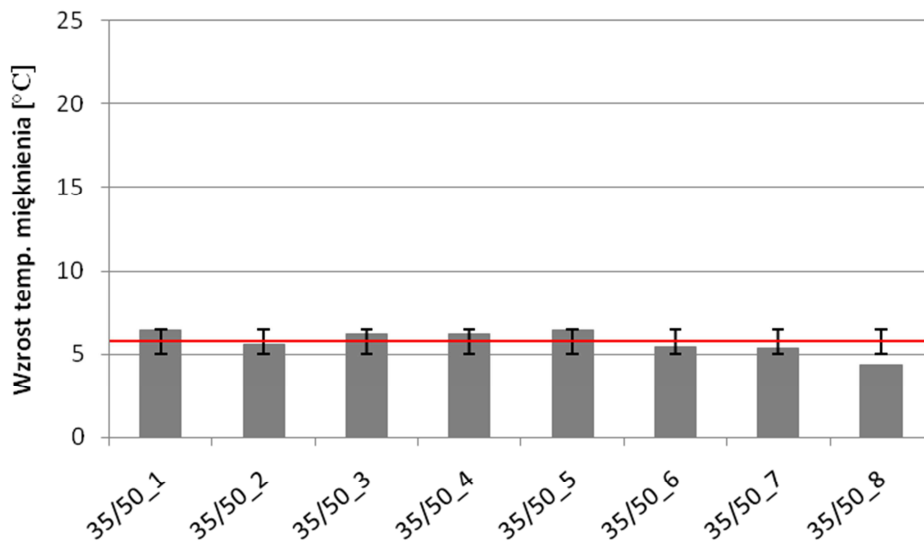




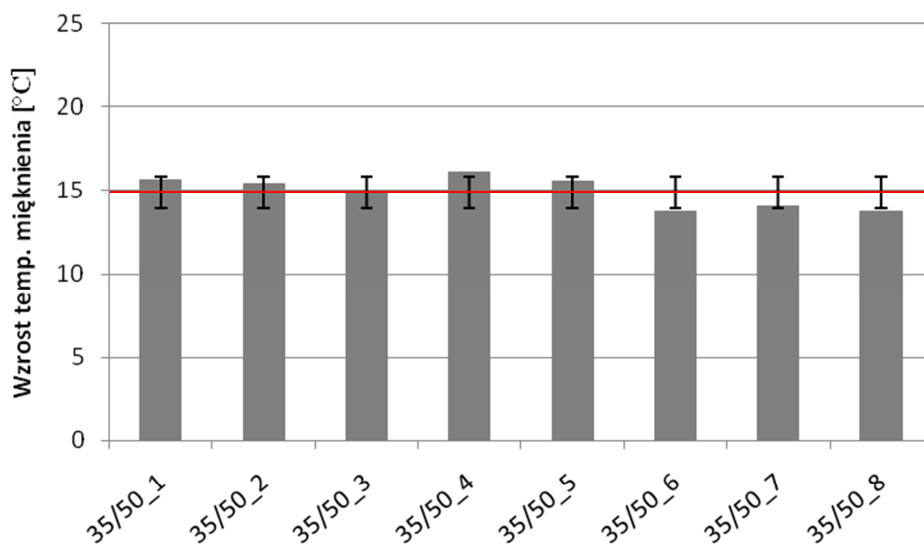
Rys. 7-11. Wzrost temperatury mięknienia wg PiK po badaniu RTFOT asfaltów rodzaju 20/30



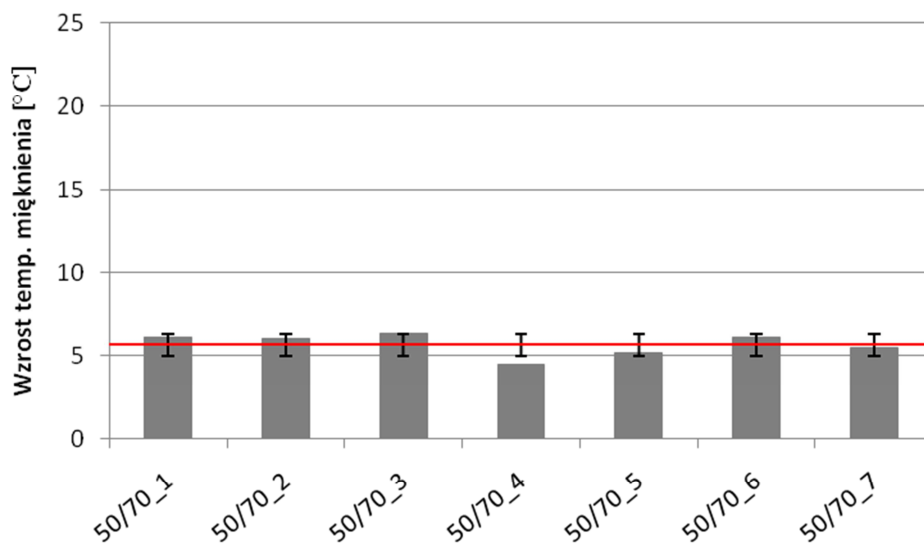
Rys. 7-12. Wzrost temperatury mięknienia wg PiK po badaniu RTFOT+PAV asfaltów rodzaju 20/30



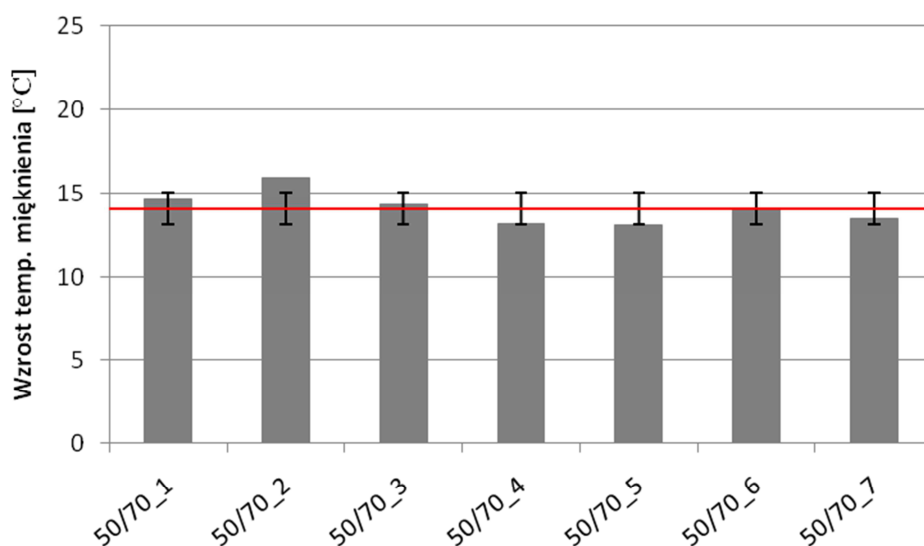
Rys. 7-13. Wzrost temperatury mięknienia wg PiK po badaniu RTFOT asfaltów rodzaju 35/50



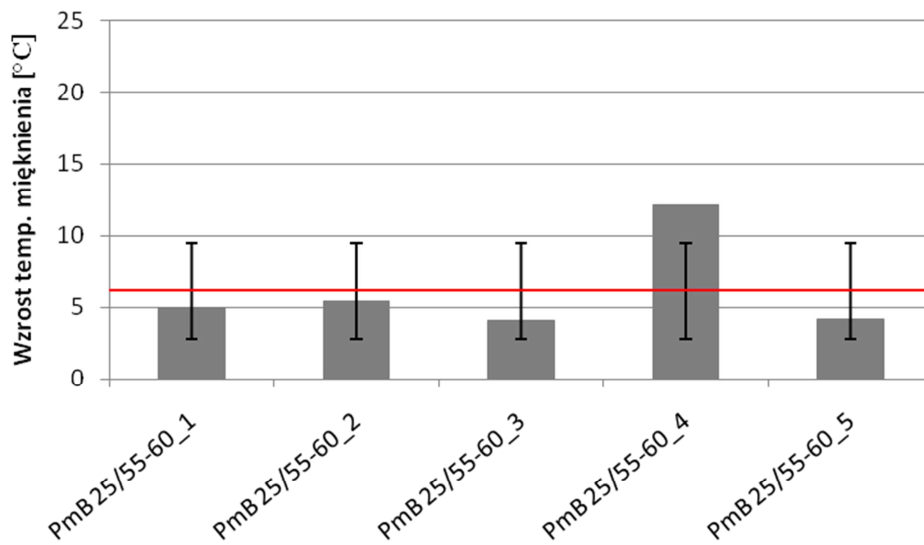
Rys. 7-14. Wzrost temperatury mięknienia wg PiK po badaniu RTFOT+PAV asfaltów rodzaju 35/50



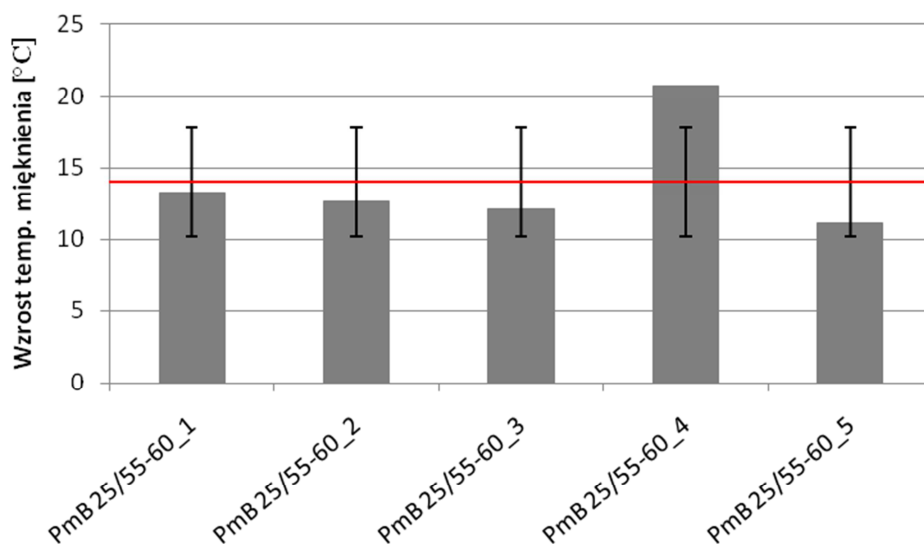
Rys. 7-15. Wzrost temperatury mięknienia wg PiK po badaniu RTFOT asfaltów rodzaju 50/70



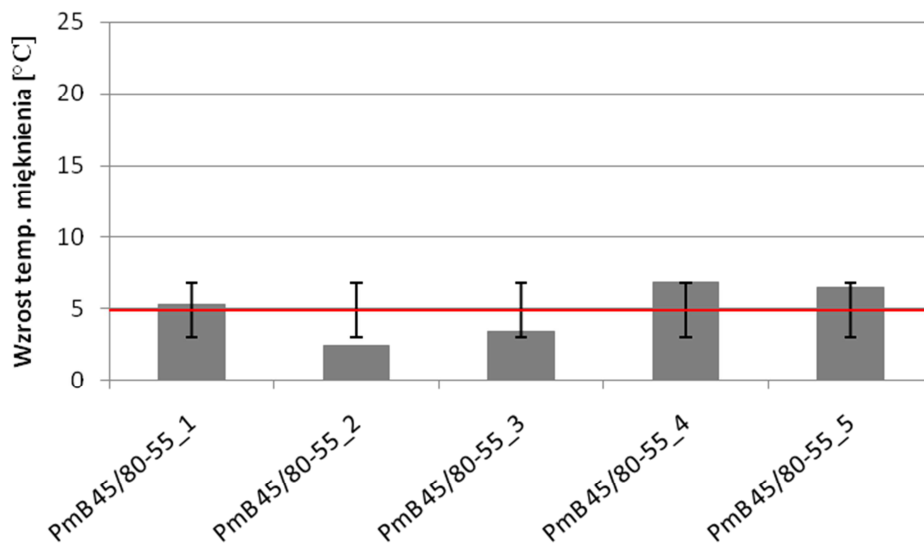
Rys. 7-16. Wzrost temperatury mięknienia wg PiK po badaniu RTFOT+PAV asfaltów rodzaju 50/70



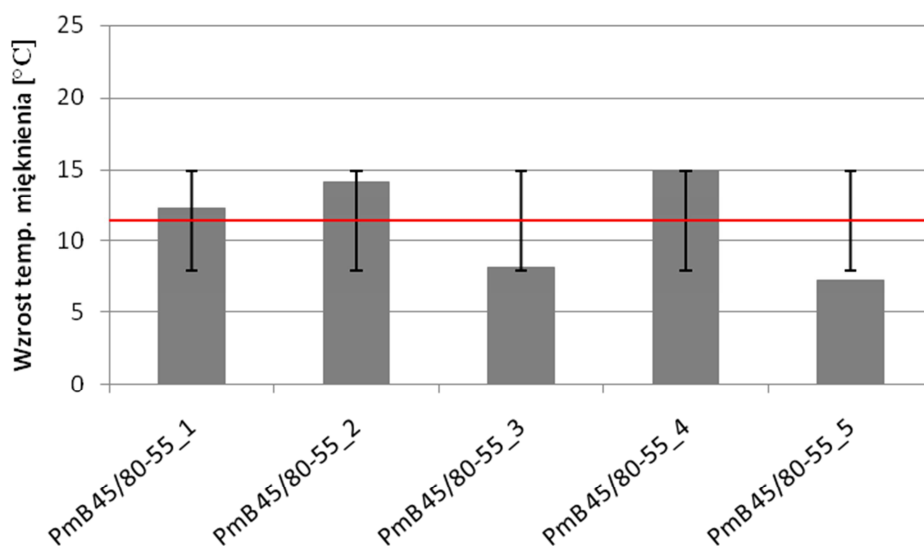
Rys. 7-17. Wzrost temperatury mięknienia wg PiK po badaniu RTFOT asfaltów rodzaju PMB 25/55-60



Rys. 7-18. Wzrost temperatury mięknienia wg PiK po badaniu RTFOT+PAV asfaltów rodzaju PMB 25/55-60



Rys. 7-19. Wzrost temperatury mięknienia wg PiK po badaniu RTFOT asfaltów rodzaju PMB 45/80-55



Rys. 7-20. Wzrost temperatury mięknienia wg PiK po badaniu RTFOT+PAV asfaltów rodzaju PMB 45/80-55

## 7.2 Badanie adhezji

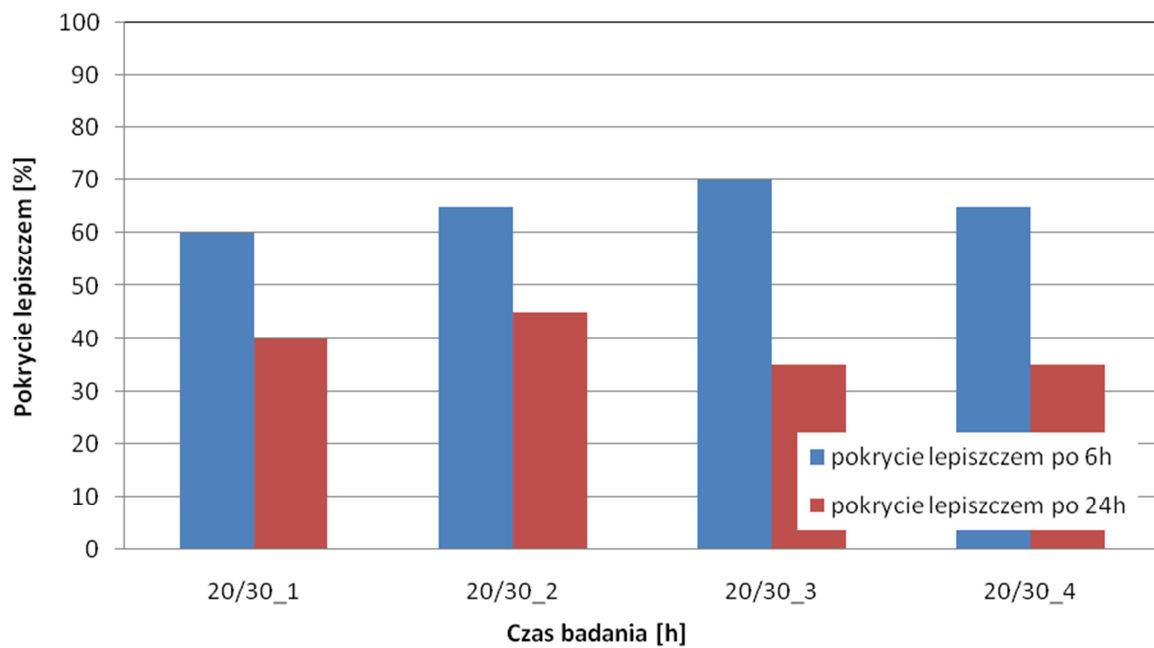
Wyniki badania adhezji lepiszczy asfaltowych przedstawiono w tabelicy 7-6 a w formie graficznej w grupach twardości asfaltów na rysunkach 7-21, 7-22, 7-23 i 7-25. Badanie adhezji (powinowactwo) metodą butelkową wykazało, że kruszywa otoczone lepiszczami asfaltowymi o niższych penetracjach mają nieco wyższe wartości powierzchni nieodmytej w porównaniu do lepiszczy miększych. Lepszą adhezję asfaltu 20/30 w porównaniu do innych lepiszczy można tłumaczyć składem grupowym asfaltu (wysoka zawartość asfaltenów) oraz grubością otoczki asfaltu na ziarnach kruszywa. Należy stwierdzić, że asfalty z grupy 20/30 charakteryzują się podobnym stopniem odmycia jak asfalty modyfikowane z grupy 25/55-60. W przypadku polimeroasfaltu należy tłumaczyć to mocniejszą strukturą usieciowanego polimeru.

Oceniając badane lepiszcza pod względem zmienności wyników w grupach twardości obserwuje się zróżnicowanie wyników niezależnie od producenta.

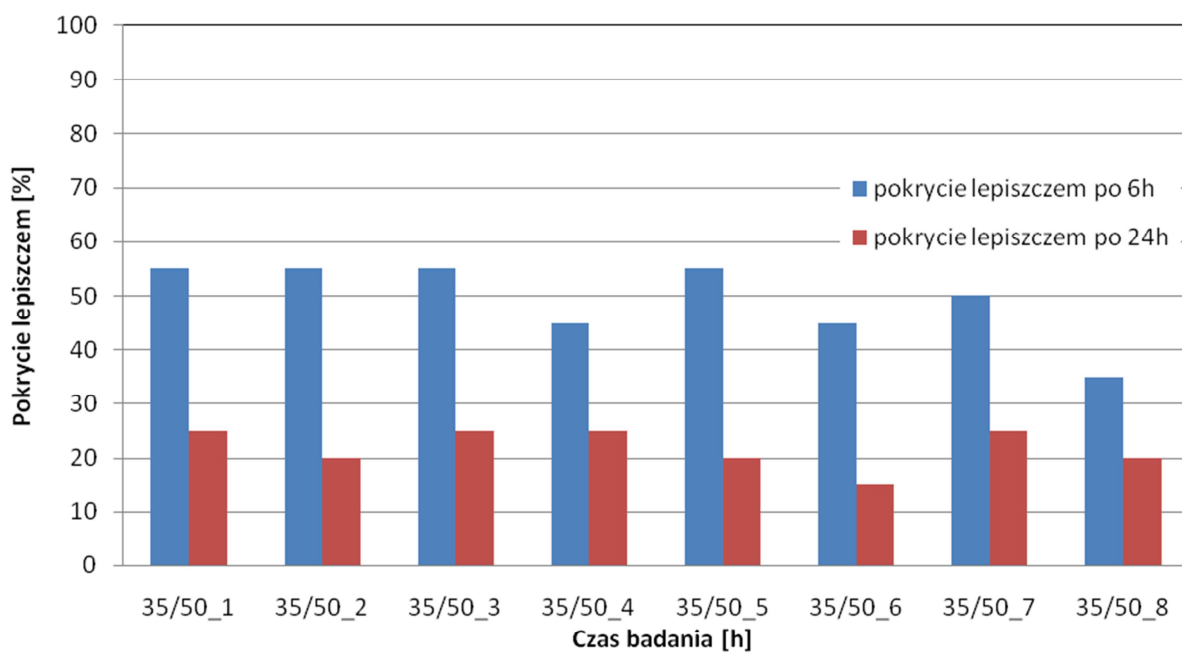
Należy zwrócić uwagę, że wartość powinowactwa asfaltu do kruszywa zależy w dużej mierze od rodzaju zastosowanego kruszywa (adhezja chemiczna i fizyczna związana z teksturą powierzchni ziarn kruszywa). W badaniu stosowano kwaśne kruszywo granitowe oraz nie stosowano dodatków powierzchniowo-czynnych.

**Tablica 7-6. Adhezja lepiszcza asfaltowego do kruszywa**

Rodzaj lepiszcza	Adhezja					
	pokrycie lepiszczem po 6h, [%]			pokrycie lepiszczem po 24h, [%]		
	wartość	średnia	odchylenie standardowe	wartość	średnia	odchylenie standardowe
20/30_1	60	65	4	40	39	5
20/30_2	65			45		
20/30_3	70			35		
20/30_4	65			35		
35/50_1	55	49	7	25	22	4
35/50_2	55			20		
35/50_3	55			25		
35/50_4	45			25		
35/50_5	55			20		
35/50_6	45			15		
35/50_7	50			25		
35/50_8	35			20		
50/70_1	50	47	7	25	21	5
50/70_2	50			25		
50/70_3	40			15		
50/70_4	55			25		
50/70_5	50			25		
50/70_6	35			20		
50/70_7	50			15		
PmB 25/55-60_1	65	60	9	40	32	11
PmB 25/55-60_2	65			40		
PmB 25/55-60_3	65			40		
PmB 25/55-60_4	45			20		
PmB 25/55-60_5	60			20		
PmB 45/80-55_1	50	43	6	25	22	3
PmB 45/80-55_2	35			20		
PmB 45/80-55_3	45			20		
PmB 45/80-55_4	45			25		
PmB 45/80-55_5	40			20		

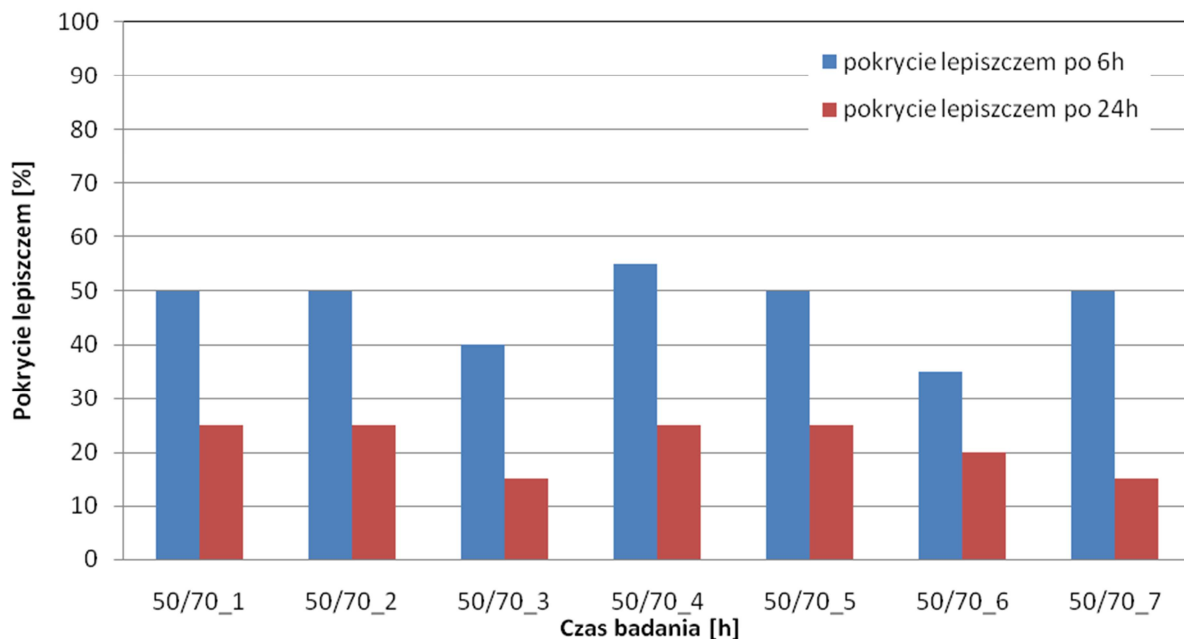


Rys. 7-21. Adhezja lepizszcza asfaltowego do kruszywa asfaltów rodzaju 20/30

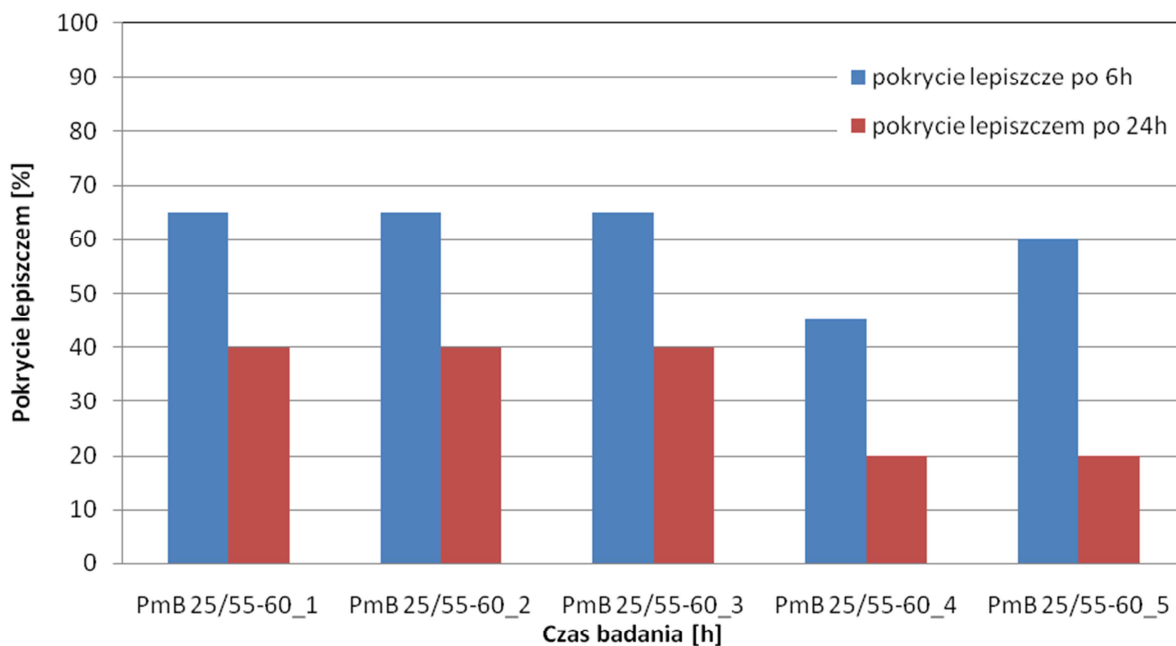


Rys. 7-22. Adhezja lepizszcza asfaltowego do kruszywa dla asfaltów rodzaju 35/50

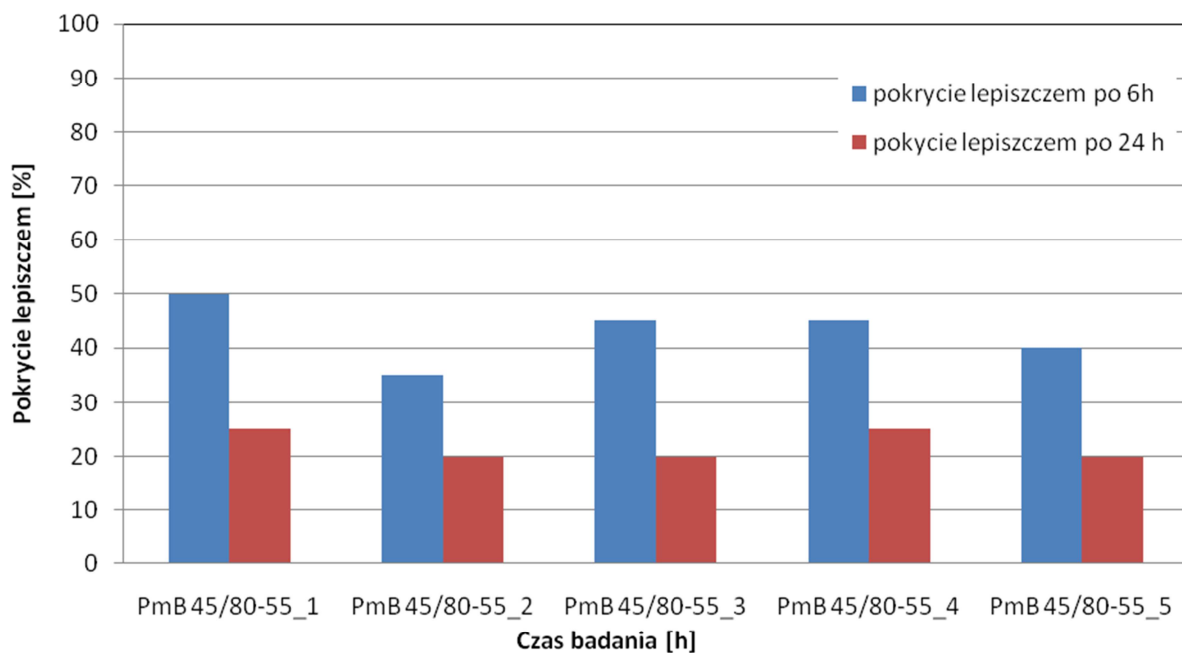




Rys. 7-23. Adhezja lepiszcza asfaltowego do kruszywa dla asfaltów rodzaju 50/70



Rys. 7-24. Adhezja lepiszcza asfaltowego do kruszywa dla asfaltów rodzaju PMB 25/55-60

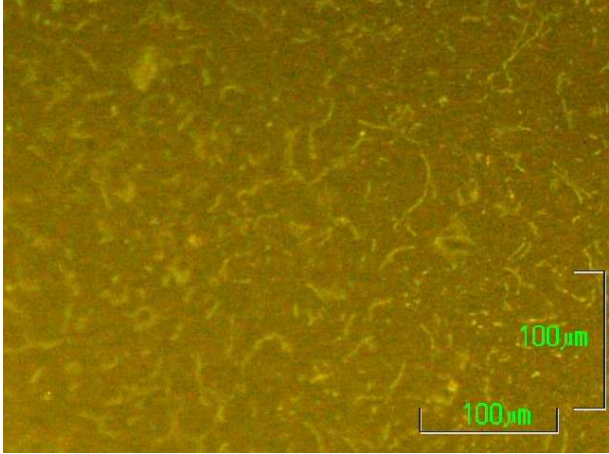
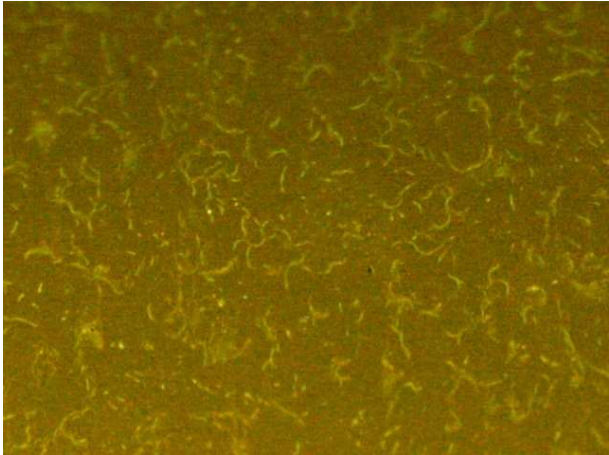
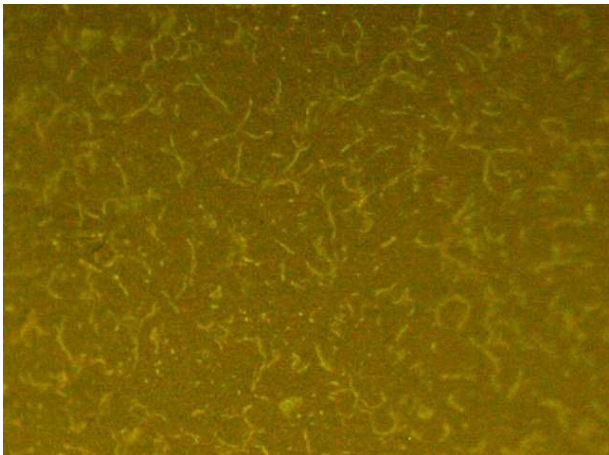


Rys. 7-25. Adhezja lepiszcza asfaltowego do kruszywa dla asfaltów rodzaju PMB 45/80-55

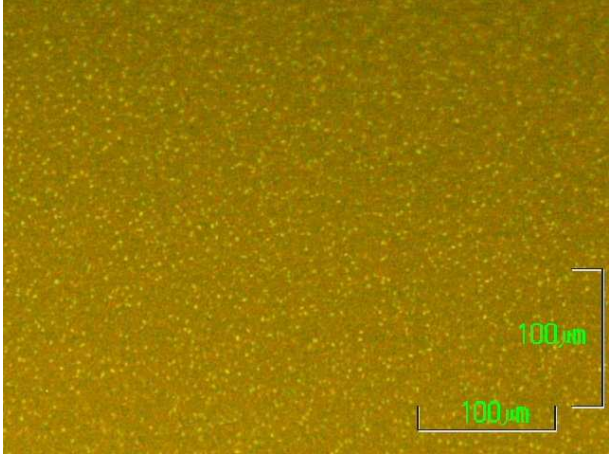
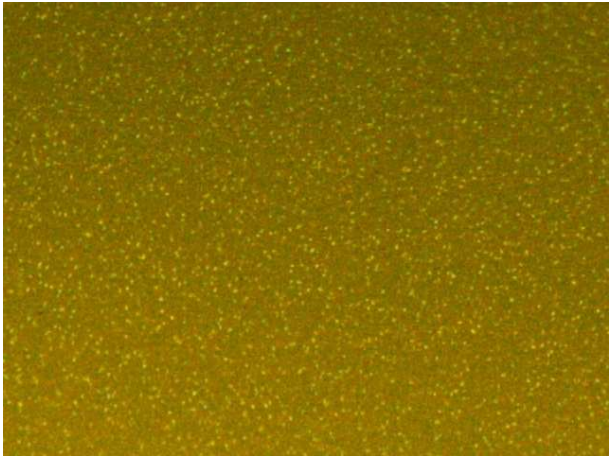
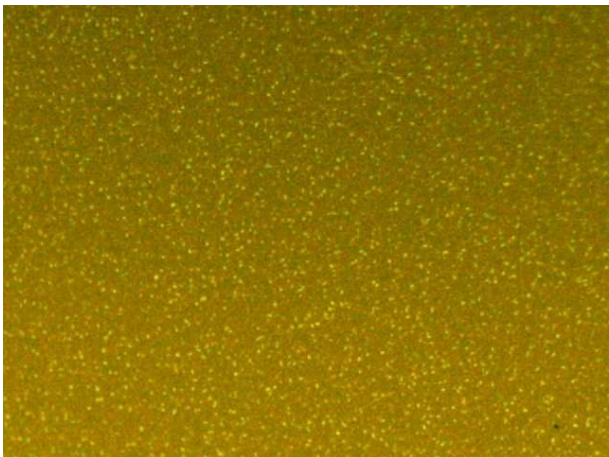
## 8 BADANIA STRUKTURY LEPIZCZY ASFALTOWYCH NA PODSTAWIE BADAŃ W MIKROSKOPIE FLUOROSCENCYJNYM

Wyniki badania mikrostruktury polimeroasfaltów wykonane w mikroskopie fluorescencyjnym przedstawiono w tablicach 8-6 do 8-5.

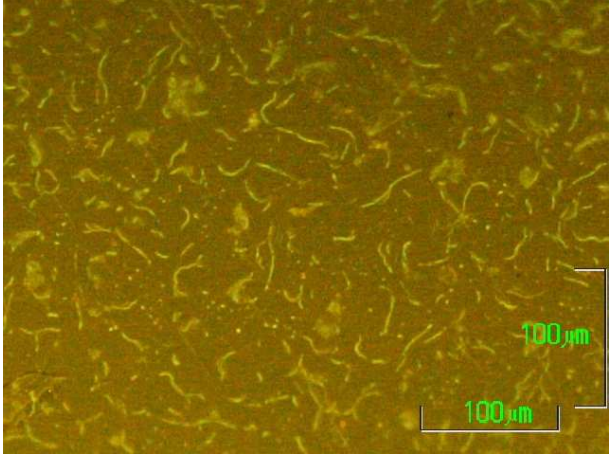
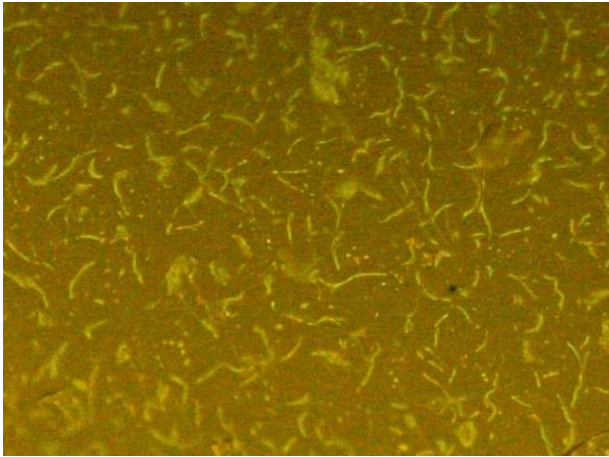
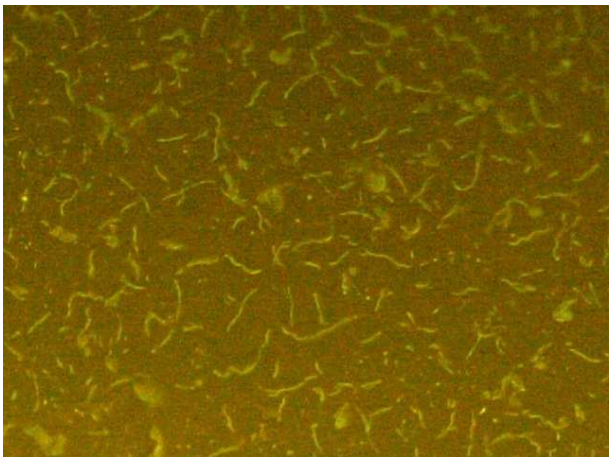
Tablica 8-1. Próbka: PmB 25/55-60\_1

Zdjęcie	Opis fazy	Ciągłość fazy	Opis fazy	Opis rozmiaru	Opis kształtu
	B	I	M	s	
	B	I	M	s	
	B	I	M	s	

Tablica 8-2. Próbka: PmB 25/55-60-2

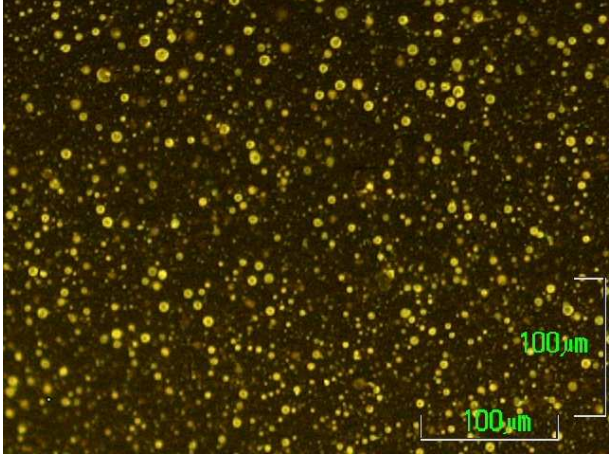
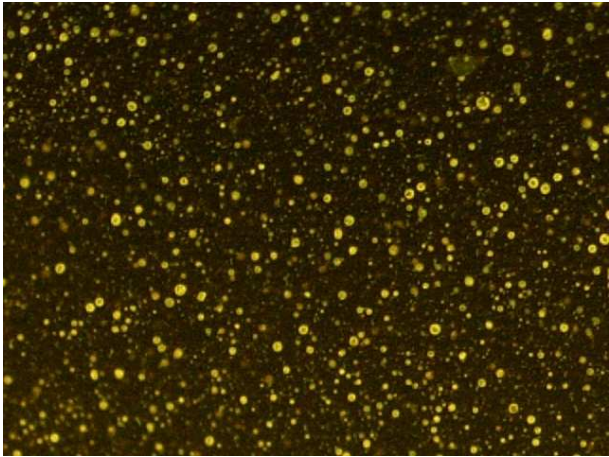
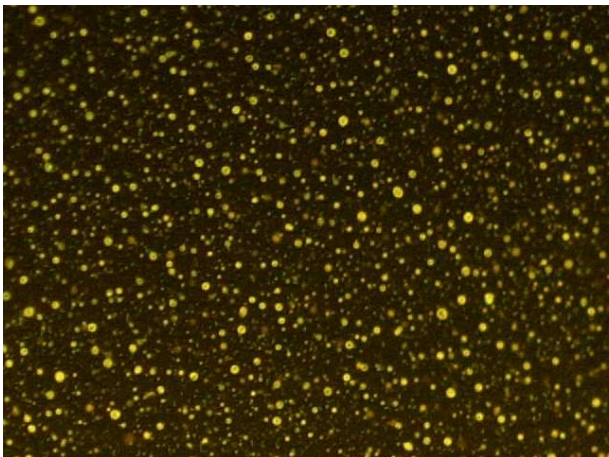
Zdjęcie	Opis fazy	Ciągłość fazy	Opis fazy	Opis rozmiaru	Opis kształtu
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>

Tablica 8-3. Próbka: PmB 25/55-60-3

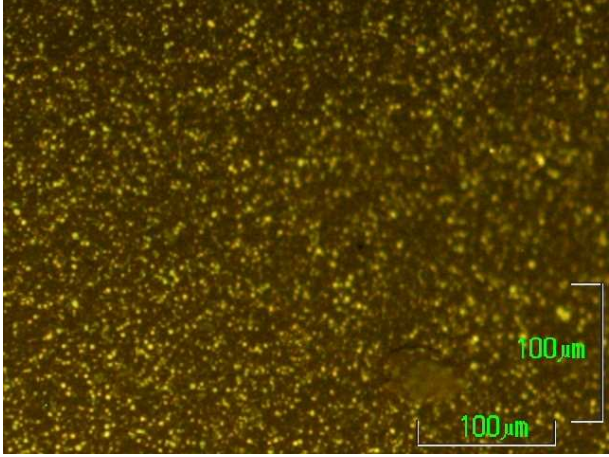
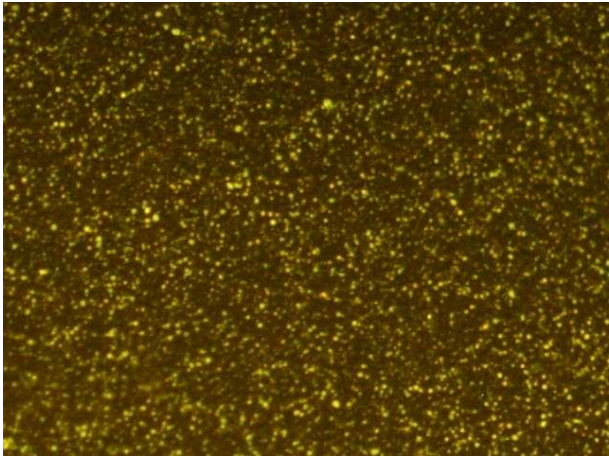
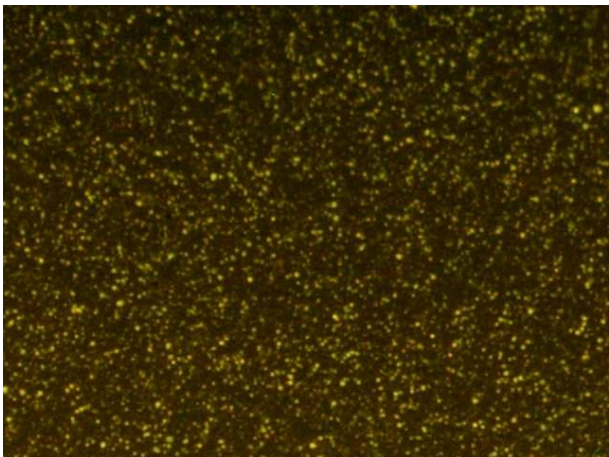
Zdjęcie	Opis fazy	Ciągłość fazy	Opis fazy	Opis rozmiaru	Opis kształtu
		<b>B</b>	<b>I</b>	<b>M</b>	<b>s</b>
		<b>B</b>	<b>I</b>	<b>M</b>	<b>s</b>
		<b>B</b>	<b>I</b>	<b>M</b>	<b>s</b>



Tablica 8-4. Próbka: PmB 25/55-60-4

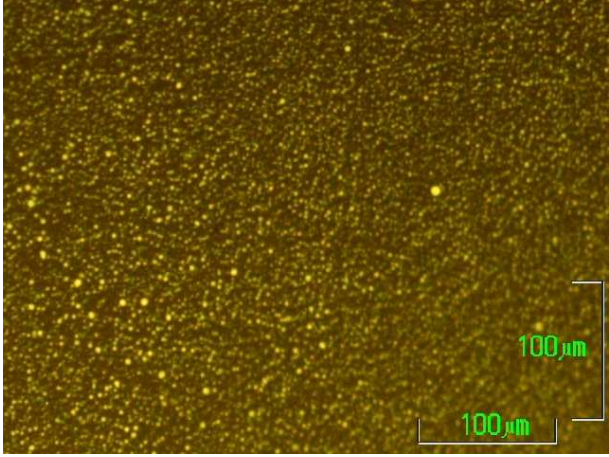
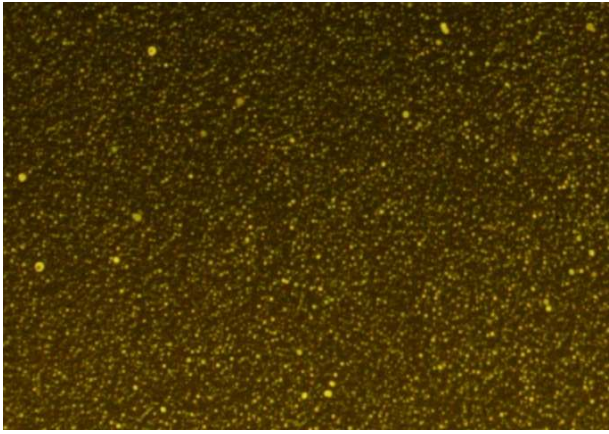
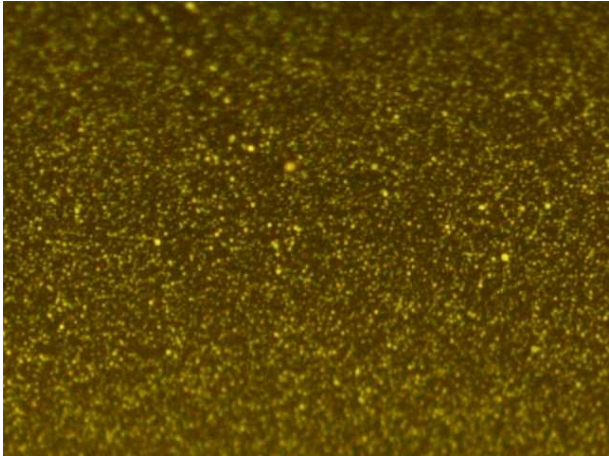
Zdjęcie	Opis fazy	Ciągłość fazy	Opis fazy	Opis rozmiaru	Opis kształtu
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>

Tablica 8-5. Próbka: PmB 25/55-60-5

Zdjęcie	Opis fazy	Ciągłość fazy	Opis fazy	Opis rozmiaru	Opis kształtu
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>

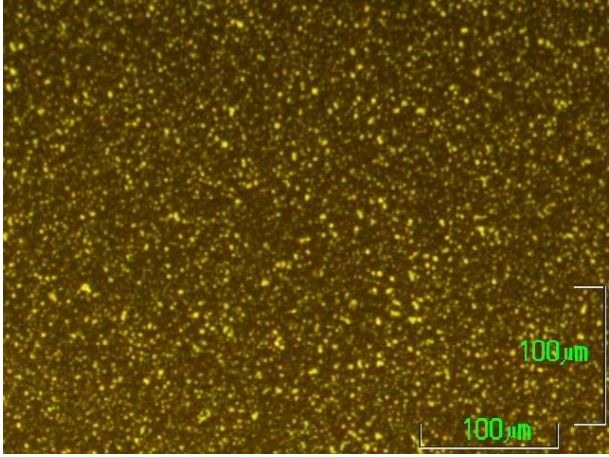
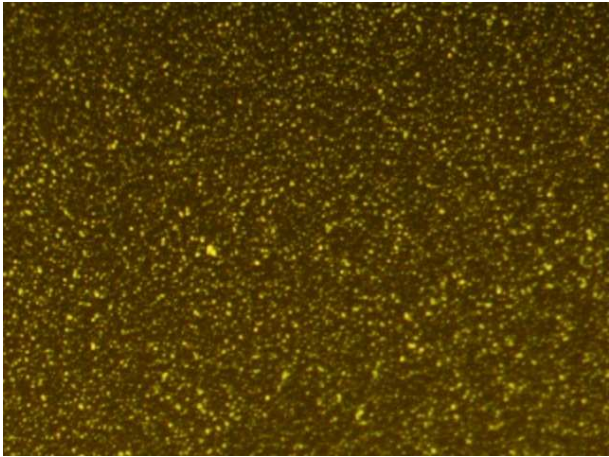
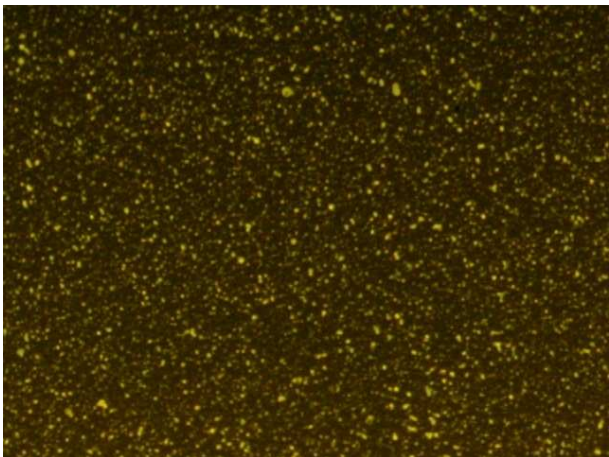


Tablica 8-6. Próbką: PmB 45/80-55-1

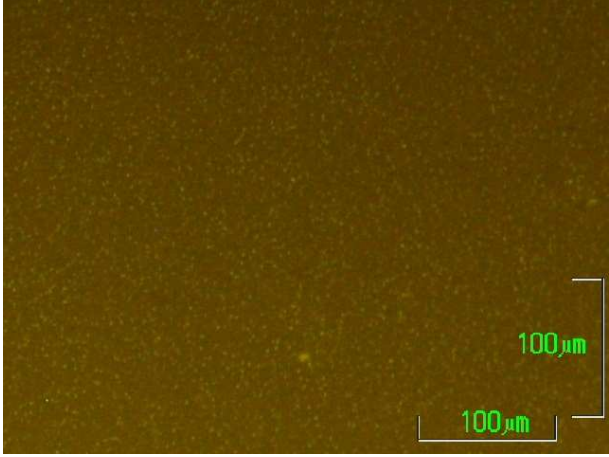
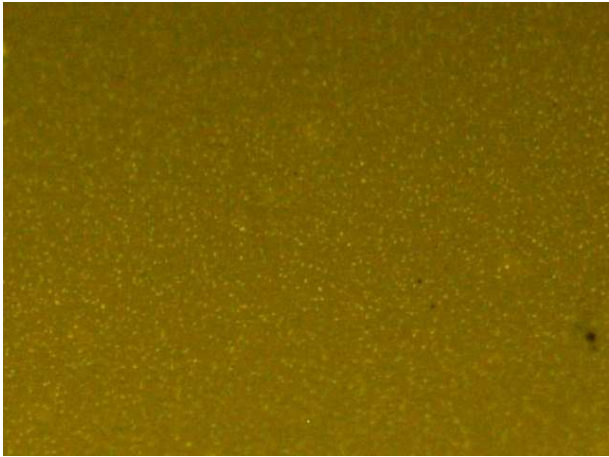
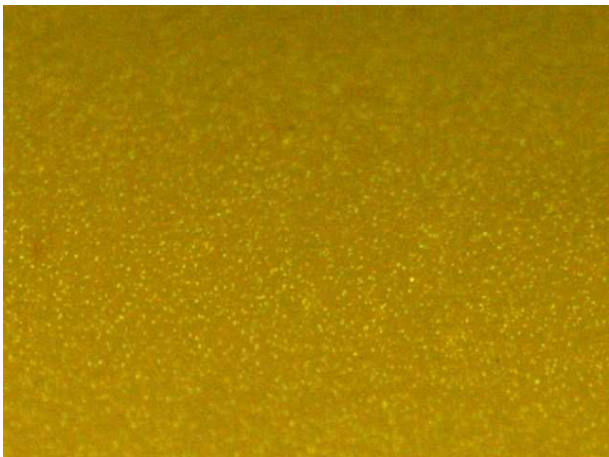
Zdjęcie	Opis fazy	Ciągłość fazy	Opis fazy	Opis rozmiaru	Opis kształtu
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>



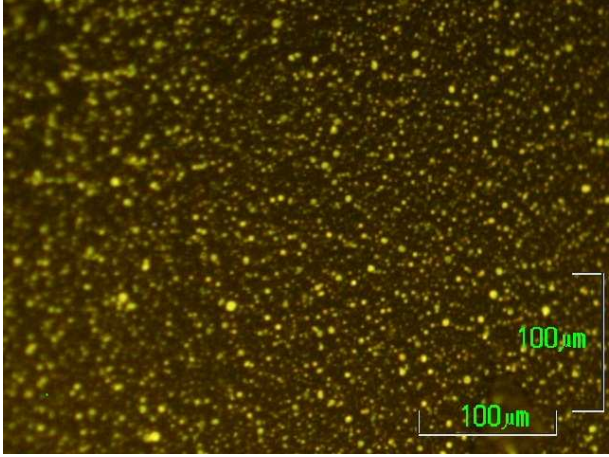
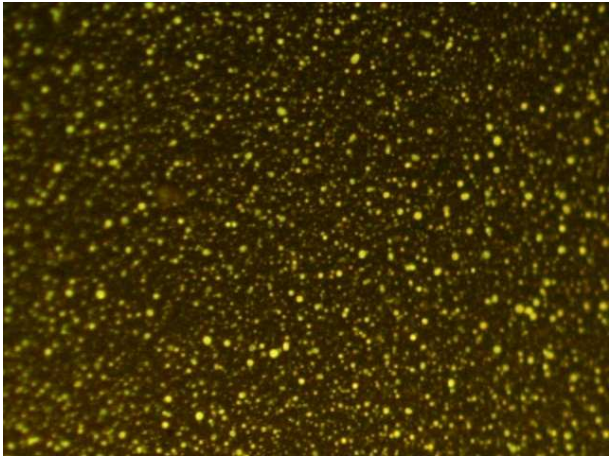
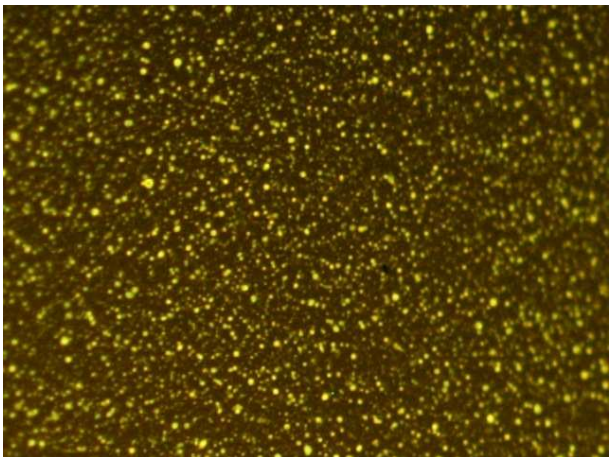
Tablica 8-7. Próbka: PmB 45/80-55-2

Zdjęcie	Opis fazy	Ciągłość fazy	Opis fazy	Opis rozmiaru	Opis kształtu
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>

Tablica 8-8. Próbka: PmB 45/80-55-3

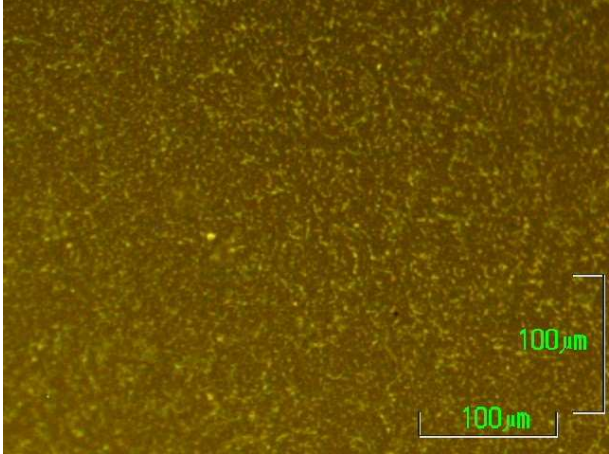
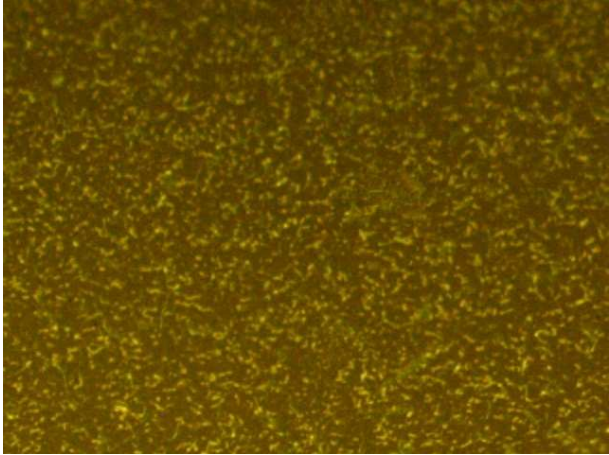
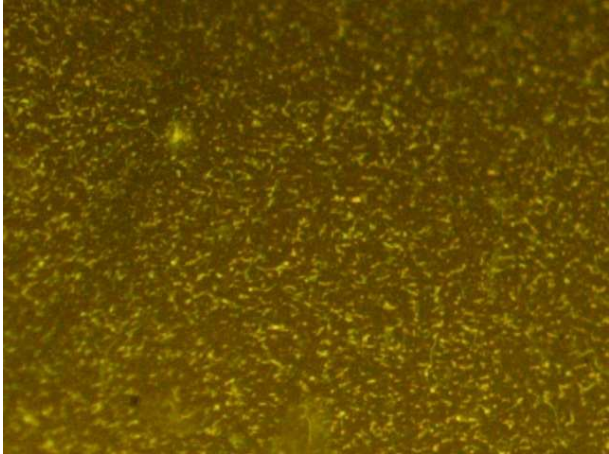
Zdjęcie	Opis fazy	Ciągłość fazy	Opis fazy	Opis rozmiaru	Opis kształtu
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>

Tablica 8-9. Próbka: PmB 45/80-55-4

Zdjęcie	Opis fazy	Ciągłość fazy	Opis fazy	Opis rozmiaru	Opis kształtu
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>
		<b>B</b>	<b>H</b>	<b>S</b>	<b>r</b>



Tablica 8-10. Próbka: PmB 45/80-55-5

Zdjęcie	Opis fazy	Opis fazy	Opis rozmiaru	Opis kształtu
	<b>B</b>	<b>I</b>	<b>M</b>	<b>o</b>
	<b>B</b>	<b>I</b>	<b>M</b>	<b>o</b>
	<b>B</b>	<b>I</b>	<b>M</b>	<b>o</b>

Dokonano oceny mikrostruktury polimeroasfaltów na podstawie ciągłości fazy, jednorodności fazy polimerowej, wielkości cząstek polimeru oraz ich kształtu zgodnie z normą PN-EN 13632. We wszystkich asfaltach modyfikowanych otrzymano dyspersyjne rozproszenie polimeru w matrycy asfaltowej (B). Lepiszczka charakteryzujące się strukturą ziarnistą o cząstkach o kształcie okrągłym (r) i rozmiarze cząstek poniżej 10  $\mu\text{m}$  (S) zaliczają się do mieszanin homogenicznych (H). Do tej grupy należy zaliczyć większość badanych lepiszczy z wyjątkiem lepiszczy charakteryzujących się cząstkami polimeru o kształcie wydłużonym (s) lub innym (o) i rozmiarze cząstek poniżej 10  $\mu\text{m}$  (S) lub o rozmiarze cząstek od 10  $\mu\text{m}$  do 100  $\mu\text{m}$  (M). Do tego rodzaju lepiszczy zaliczamy z grupy PMB 25/55-60 – dwa lepiszcza i grupy 45/80-55 – jedno lepiszcze. Te lepiszcza należy zaliczyć do lepiszczy niehomogenicznych (I) zgodnie ze wzorcem A.5 podanym w załączniku normy PN-EN 13632. Lepiszczka sklasyfikowane jako niehomogeniczne pochodzą od producenta 2. Zauważono, że występuje pewne zróżnicowanie obrazu mikrostruktury w grupach rodzajów polimeroasfaltów.

## **9 BADANIA WŁAŚCIWOŚCI FUNKCJONALNYCH LEPISZCZY ASFALTOWYCH ZGODNIE Z SUPERPAVE**

### **9.1 Badanie dynamicznego ścinania DSR**

Wyniki badania zespolonego modułu ścinania w funkcji temperatury, określonego w aparacie DSR dla częstotliwości 10 Hz lepiszczy asfaltowych przedstawiono w tablicach 9-1 (przed starzeniem), 9-2 (po RTFOT), 9-3 (po RTFOT i PAV) a w formie graficznej w grupach twardości asfaltów na rysunkach 9-1 do 9-15.

**Tablica 9-1. Wartości modułu zespolonego lepkości asfaltowych przed starzeniem**

Rodzaj lepiszcza	Moduł zespolony G*, [kPa]				
	Temperatura [°C]				
	0	22	40	58	82
20/30_1	31 380 000	7 006 000	327 200	28 920	1 490
20/30_2	36 240 000	6 018 000	277 000	24 600	1 310
20/30_3	52 460 000	7 952 000	406 400	33 720	1 560
20/30_4	45 100 000	7 306 000	349 400	28 200	1 322
35/50_1	48 060 000	3 392 000	138 400	9 724	496
35/50_2	49 060 000	3 922 000	140 200	9 444	483
35/50_3	29 240 000	3 776 000	160 400	11 800	600
35/50_4	39 320 000	3 682 000	150 600	11 400	585
35/50_5	67 780 000	3 918 000	139 200	9 396	482
35/50_6	38 600 000	4 150 000	137 400	9 074	460
35/50_7	37 720 000	3 760 000	142 000	10 360	561
35/50_8	21 540 000	2 744 000	112 000	7 810	401
50/70_1	32 420 000	2 098 000	72 720	4 640	256
50/70_2	41 960 000	1 806 000	87 520	7 044	428
50/70_3	26 120 000	2 038 000	72 660	4 490	247
50/70_4	36 200 000	1 848 000	52 800	3 216	191
50/70_5	32 340 000	2 506 000	66 400	3 780	208
50/70_6	51 980 000	2 340 000	79 640	4 988	274
50/70_7	35 840 000	2 492 000	72 240	4 300	234
PmB 25/55-60_1	57 500 000	3 376 000	160 200	16 260	1 248
PmB 25/55-60_2	33 420 000	3 342 000	148 600	15 500	1 510
PmB 25/55-60_3	44 800 000	3 856 000	192 600	20 240	1 790
PmB 25/55-60_4	52 220 000	4 170 000	197 800	21 680	1 824
PmB 25/55-60_5	52 040 000	1 944 000	72 380	7 282	798
PmB 45/80-55_1	35 160 000	2 484 000	100 540	9 578	794
PmB 45/80-55_2	24 040 000	2 620 000	97 040	8 980	696
PmB 45/80-55_3	42 740 000	1 844 000	70 320	7 268	763
PmB 45/80-55_4	30 520 000	2 110 000	88 680	8 504	669
PmB 45/80-55_5	33 820 000	2 632 000	107 200	10 040	760

**Tablica 9-2. Wartości modułu zespolonego lepkości asfaltowych po starzeniu RTFOT**

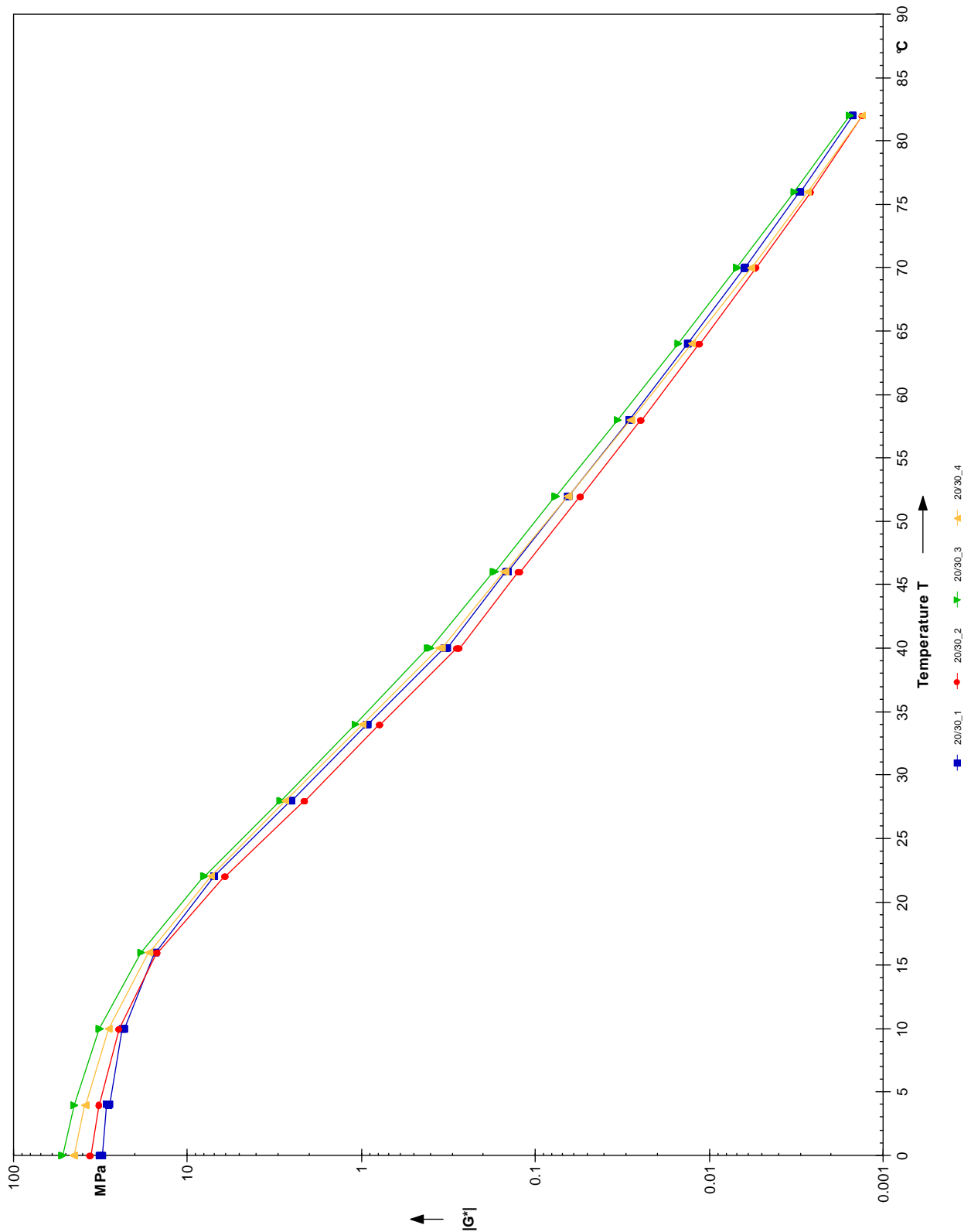
Rodzaj lepiszcza	Moduł zespolony G*, [kPa]				
	Temperatura [°C]				
	0	22	40	58	82
20/30_1	87 640 000	12 180 000	709 800	63 760	3 358
20/30_2	35 460 000	9 518 000	599 000	55 660	3 100
20/30_3	43 780 000	10 820 000	753 600	67 340	3 376
20/30_4	81 260 000	12 600 000	741 400	63 340	2 996
35/50_1	32 160 000	5 152 000	251 600	20 320	991
35/50_2	57 780 000	7 062 000	303 400	24 980	1 260
35/50_3	30 200 000	5 992 000	305 000	26 340	1 314
35/50_4	33 880 000	5 840 000	289 400	25 240	1 270
35/50_5	71 400 000	6 804 000	271 600	21 160	993
35/50_6	52 100 000	7 458 000	274 400	20 680	973
35/50_7	30 380 000	5 756 000	261 800	22 960	1 222
35/50_8	39 720 000	4 654 000	211 600	16 660	793
50/70_1	34 940 000	4 228 000	166 200	11 300	539
50/70_2	46 420 000	3 202 000	173 600	16 040	898
50/70_3	30 200 000	3 844 000	163 200	11 860	623
50/70_4	64 800 000	3 254 000	104 800	6 590	343
50/70_5	34 400 000	3 968 000	125 200	7 662	375
50/70_6	57 720 000	4 144 000	162 000	11 400	556
50/70_7	46 600 000	4 014 000	138 400	8 874	440
PmB 25/55-60_1	41 220 000	4 950 000	266 200	29 120	2 196
PmB 25/55-60_2	47 940 000	4 882 000	252 800	29 180	2 656
PmB 25/55-60_3	44 720 000	5 394 000	303 800	34 380	2 884
PmB 25/55-60_4	33 240 000	6 576 000	376 000	41 640	3 656
PmB 25/55-60_5	58 100 000	2 692 000	110 800	10 820	1 048
PmB 45/80-55_1	31 000 000	4 124 000	190 400	18 140	1 408
PmB 45/80-55_2	26 380 000	4 392 000	180 600	16 520	1 200
PmB 45/80-55_3	41 780 000	2 938 000	120 400	12 000	1 150
PmB 45/80-55_4	34 280 000	3 276 000	149 000	14 240	1 024
PmB 45/80-55_5	52 100 000	4 072 000	180 200	16 820	1 282

**Tablica 9-3. Wartości modułu zespolonego lepkości asfaltowych po starzeniu RTFOT i PAV**

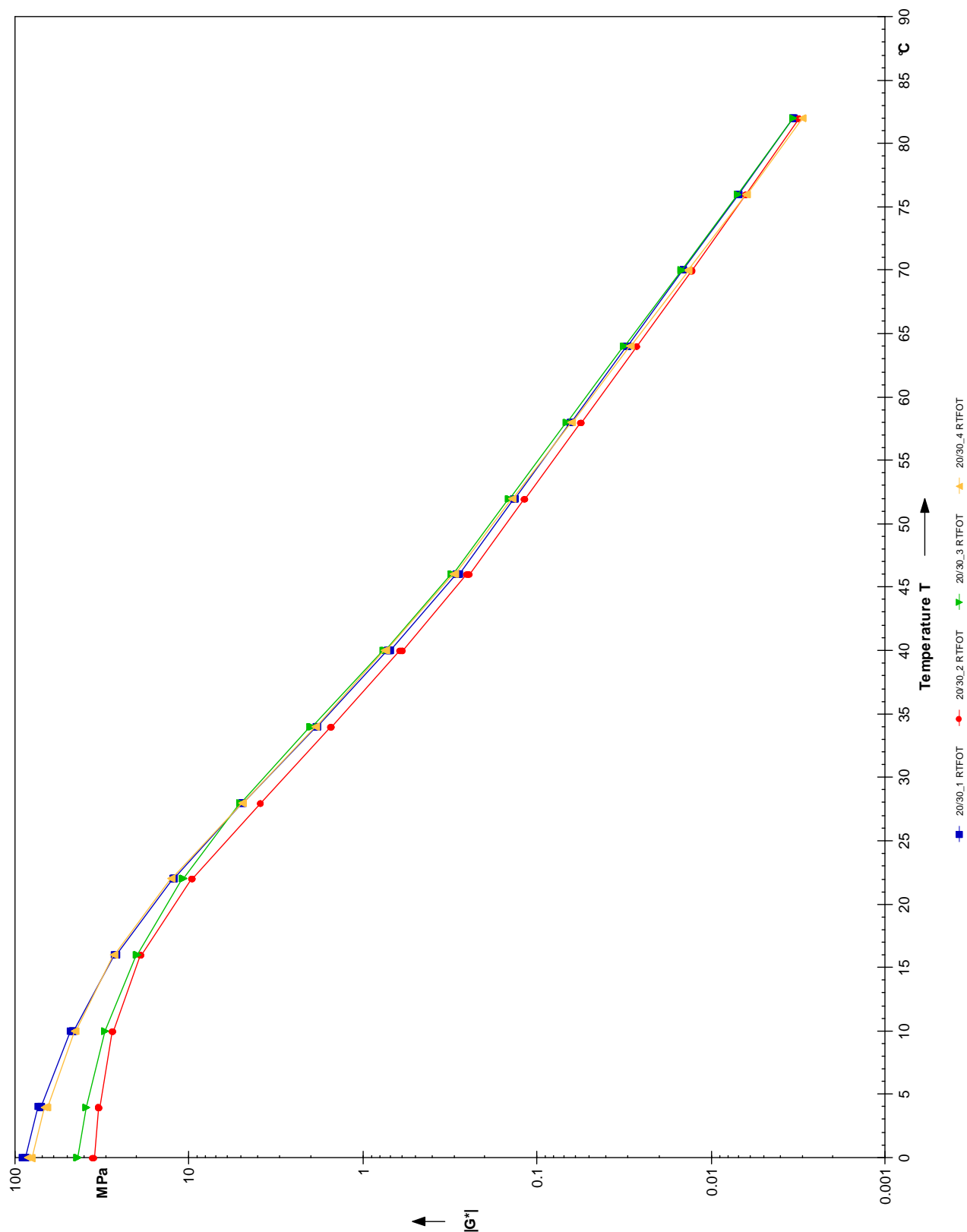
Rodzaj lepiszcza	Moduł zespolony G*, [kPa]				
	Temperatura [°C]				
	0	22	40	58	82
20/30_1	58 640 000	16 900 000	2 090 000	197 000	13 600
20/30_2	47 240 000	16 060 000	1 866 000	188 200	13 900
20/30_3	48 660 000	16 520 000	2 148 000	211 600	13 200
20/30_4	47 880 000	18 700 000	2 078 000	196 800	11 700
35/50_1	64 720 000	11 860 000	825 800	74 520	3 792
35/50_2	75 060 000	14 700 000	936 400	78 420	3 742
35/50_3	43 840 000	12 180 000	989 000	90 500	4 938
35/50_4	49 760 000	12 100 000	973 800	91 760	5 242
35/50_5	76 580 000	13 960 000	937 800	83 060	4 364
35/50_6	46 260 000	12 700 000	861 000	68 700	3 214
35/50_7	43 580 000	10 500 000	787 200	72 000	4 030
35/50_8	44 220 000	9 196 000	599 200	52 960	2 582
50/70_1	34 800 000	8 942 000	511 000	41 620	1 914
50/70_2	38 580 000	7 330 000	647 600	71 060	4 558
50/70_3	65 880 000	9 960 000	552 600	45 140	2 088
50/70_4	47 440 000	7 716 000	325 400	24 700	1 136
50/70_5	72 740 000	10 220 000	405 600	27 940	1 150
50/70_6	43 680 000	8 590 000	502 600	41 840	1 952
50/70_7	47 320 000	9 308 000	442 800	32 980	1 494
PmB 25/55-60_1	56 740 000	9 738 000	718 600	77 880	5 832
PmB 25/55-60_2	58 680 000	11 220 000	844 600	88 740	7 686
PmB 25/55-60_3	63 960 000	11 160 000	936 600	104 600	9 140
PmB 25/55-60_4	40 100 000	8 832 000	774 000	99 500	9 110
PmB 25/55-60_5	41 280 000	6 172 000	261 000	24 940	1 954
PmB 45/80-55_1	54 660 000	6 992 000	437 400	50 620	3 772
PmB 45/80-55_2	34 020 000	8 410 000	477 000	45 800	3 266
PmB 45/80-55_3	62 840 000	8 042 000	350 600	35 000	2 848
PmB 45/80-55_4	44 260 000	6 680 000	402 000	41 100	2 922
PmB 45/80-55_5	71 300 000	7 112 000	432 000	44 060	3 298

Wartości modułów zespolonych lepkości asfaltowych przedstawione w tablicy 9-1 wskazują, że korzystne wysokie wartości modułu w wysokiej temperaturze eksploatacyjnej (82°C) ma lepiszcze PmB 25/55-60. W grupie asfaltów drogowych najwyższe wartości modułu mają asfalty rodzaju 20/30. Pozostałe asfalty drogowe oraz polimeroasfalt PmB 45/80-55 mają podobne wartości modułu zespolonego. Po starzeniu technologicznym RTFOT najwyższy moduł sztywności i największe usztywnienie we wszystkich badanych temperaturach (w zakresie od 0 do 82°C) wykazują asfalty drogowe rodzaju 20/30, w dalszej kolejności asfalty rodzaju 35/50 i 50/70. Asfalty modyfikowane polimerem charakteryzują się niższym korzystnym stopniem usztywnienia. Badania modułu zespolonego po starzeniu technologicznym i eksploatacyjnym (RTFOT + PAV) wykazały, że asfalty drogowe wykazują znacznie wyższe usztywnienie w porównaniu do asfaltów modyfikowanych. We wszystkich grupach twardości lepkości asfaltowych otrzymano duże zróżnicowanie wyników badania modułu zespolonego niezależnie od producenta.

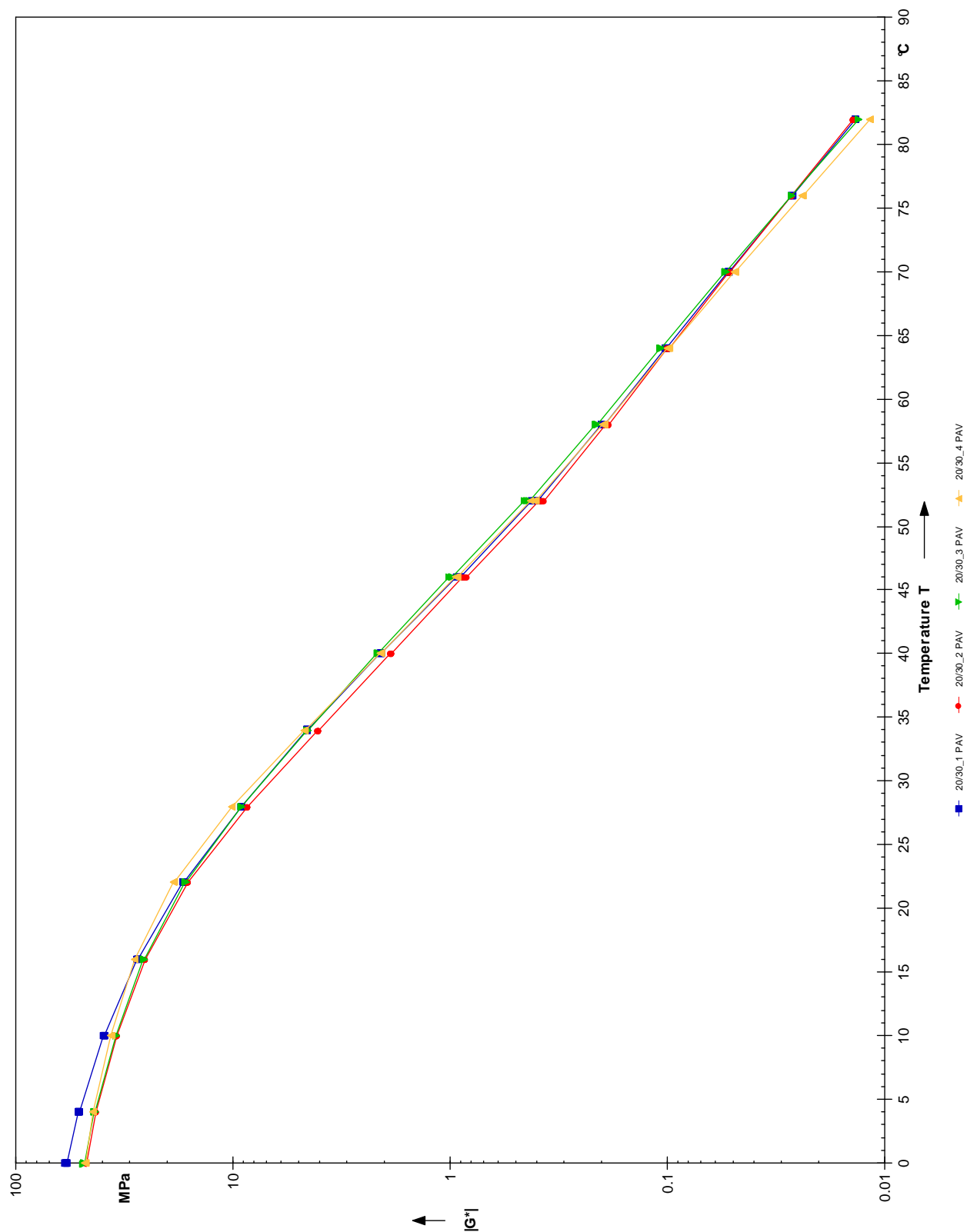




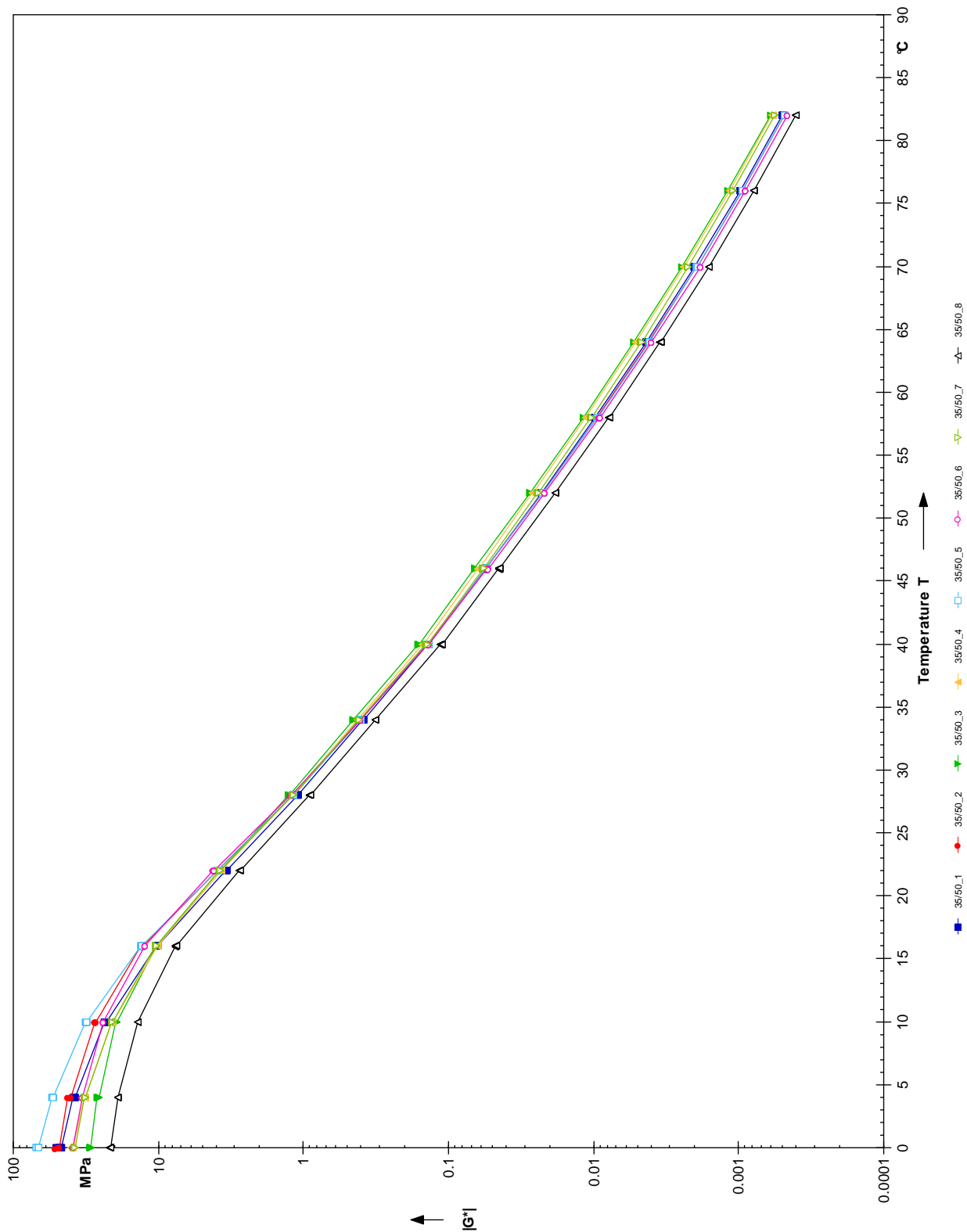
Rys. 9-1. Moduł zespolony w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 20/30



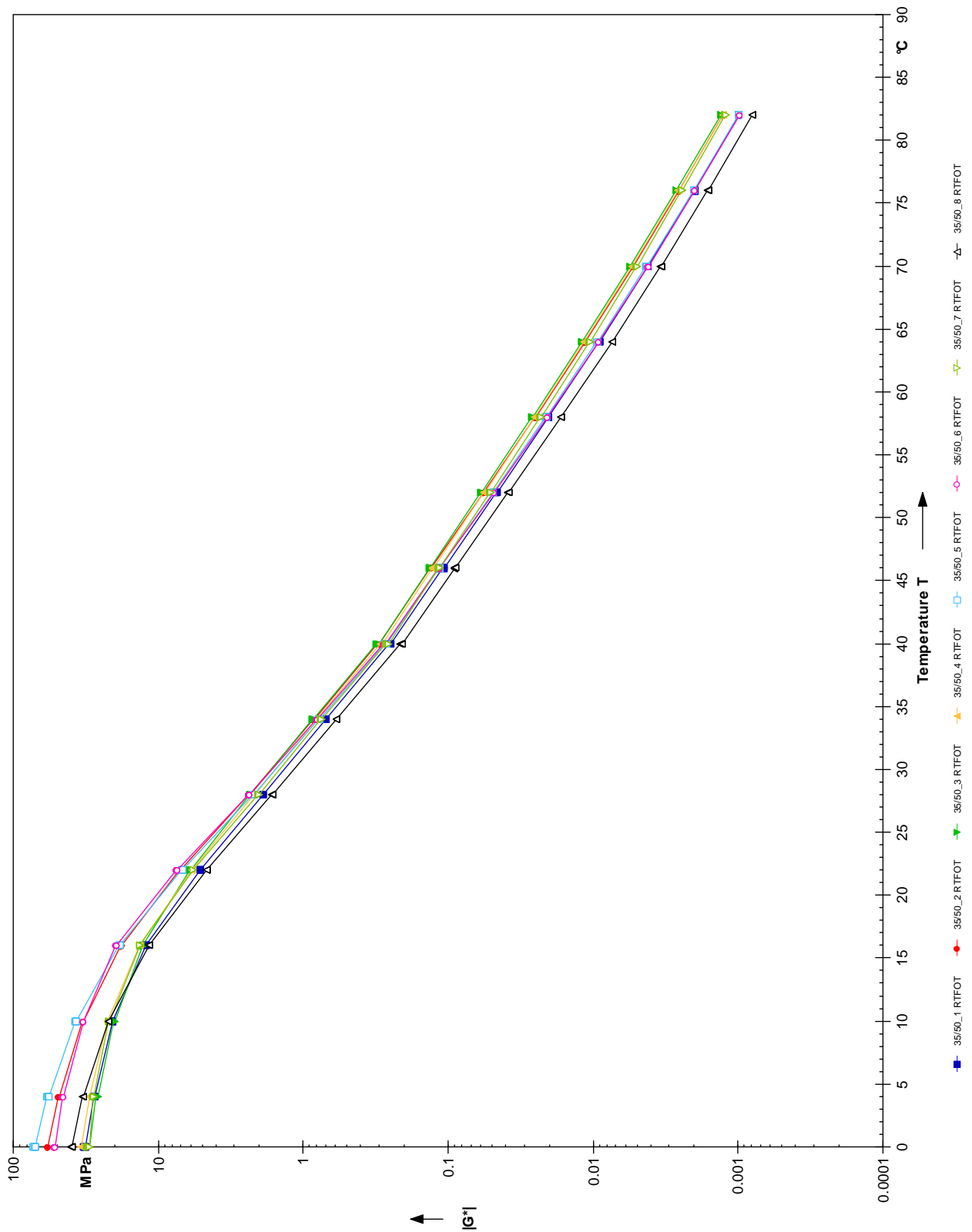
Rys. 9-2. Moduł zespolony w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 20/30 po starzeniu RTFOT



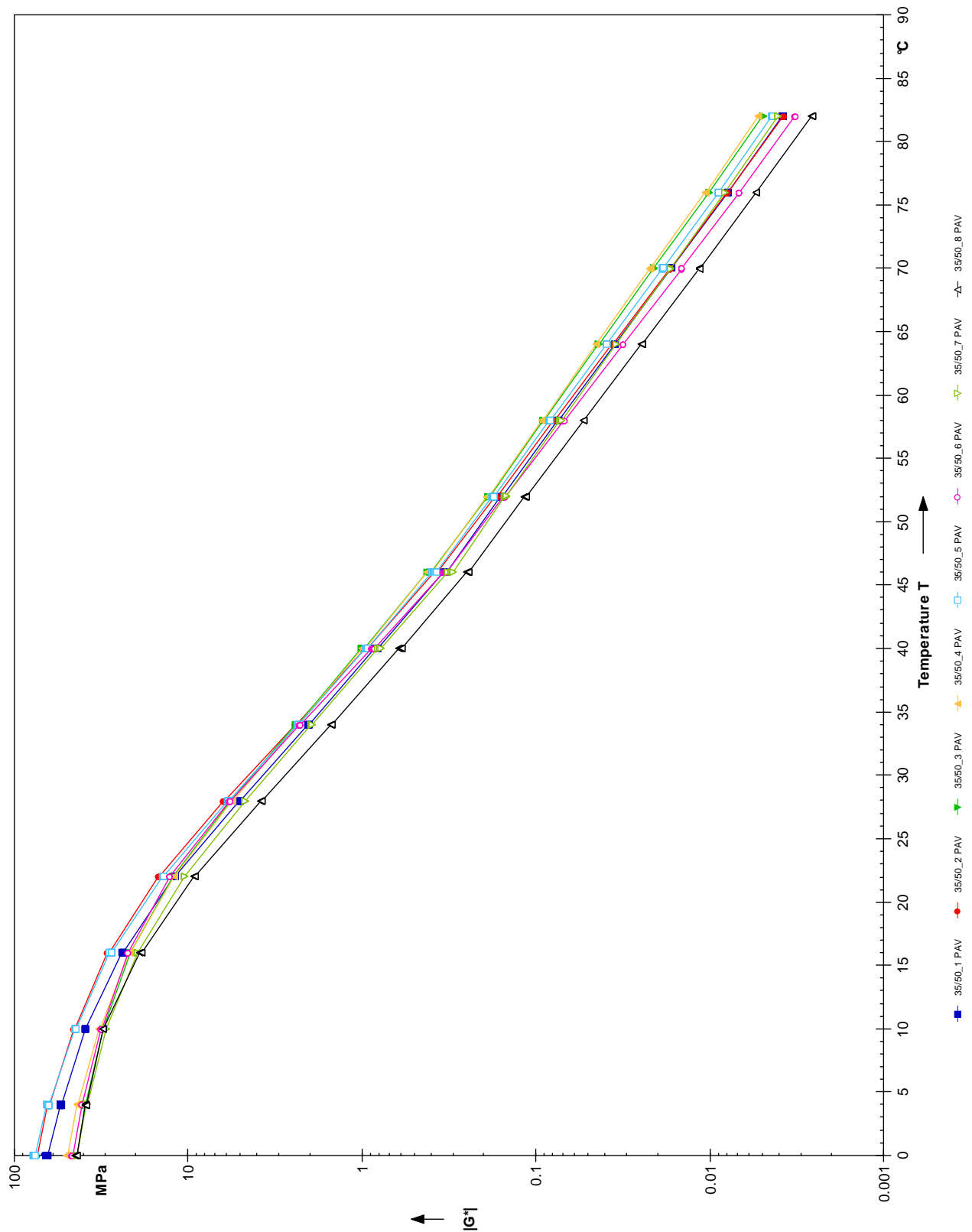
Rys. 9-3. Moduł zespolony w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 20/30 po starzeniu RTFOT+PAV



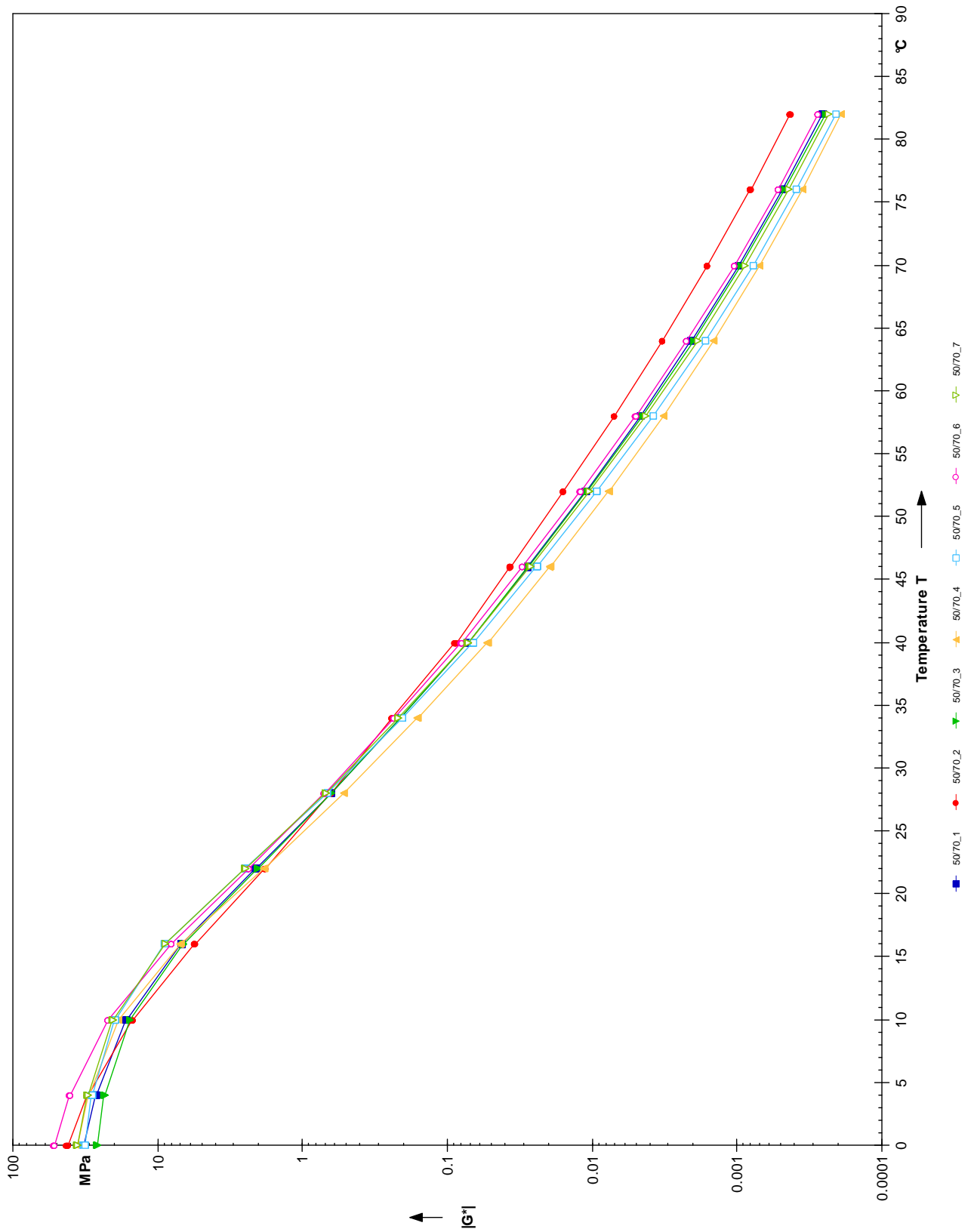
Rys. 9-4. Moduł zespolony w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 35/50



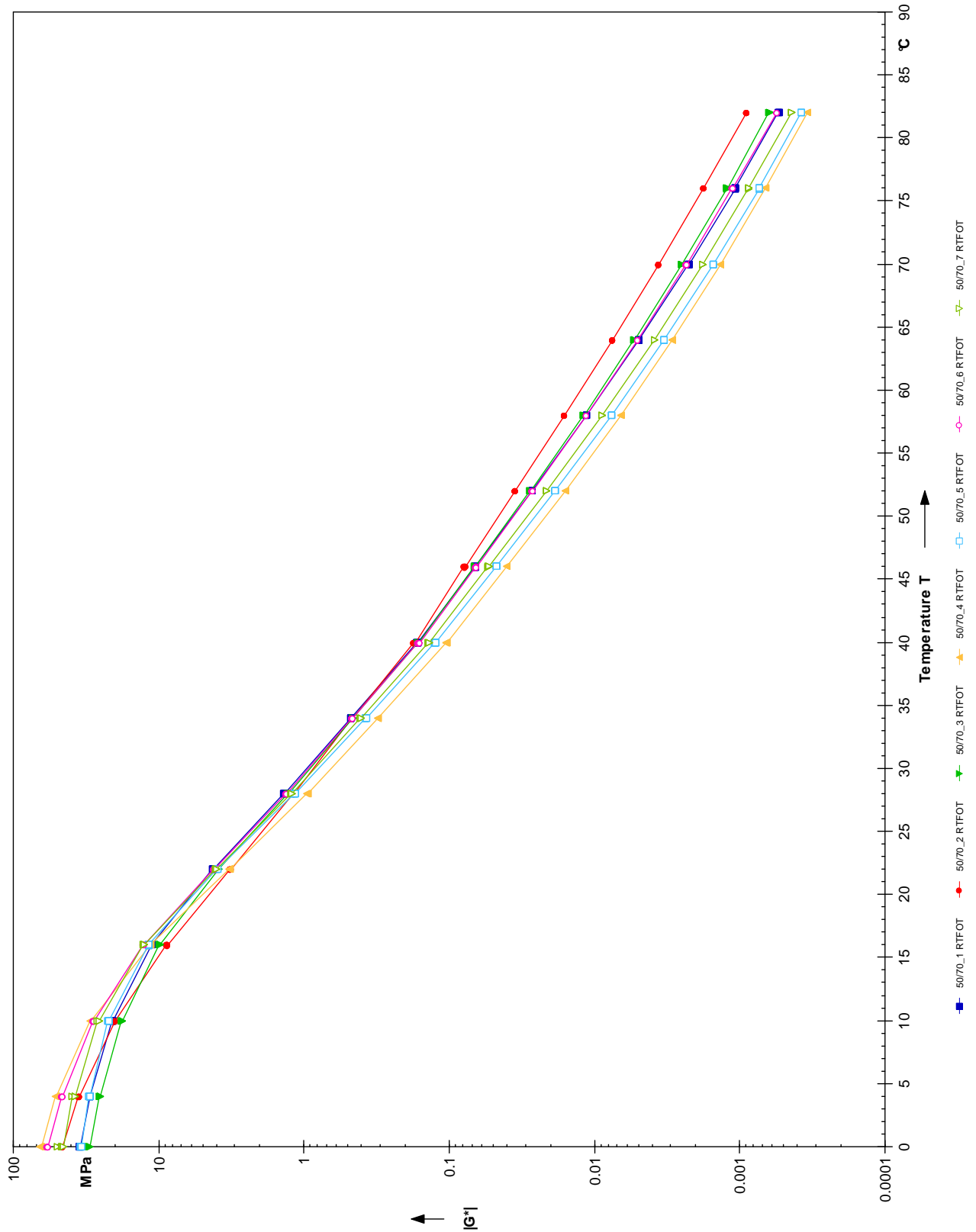
Rys. 9-5. Moduł zespolony w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 35/50 po starzeniu RTFOT



Rys. 9-6. Moduł zespolony w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 35/50 po starzeniu RTFOT+PAV

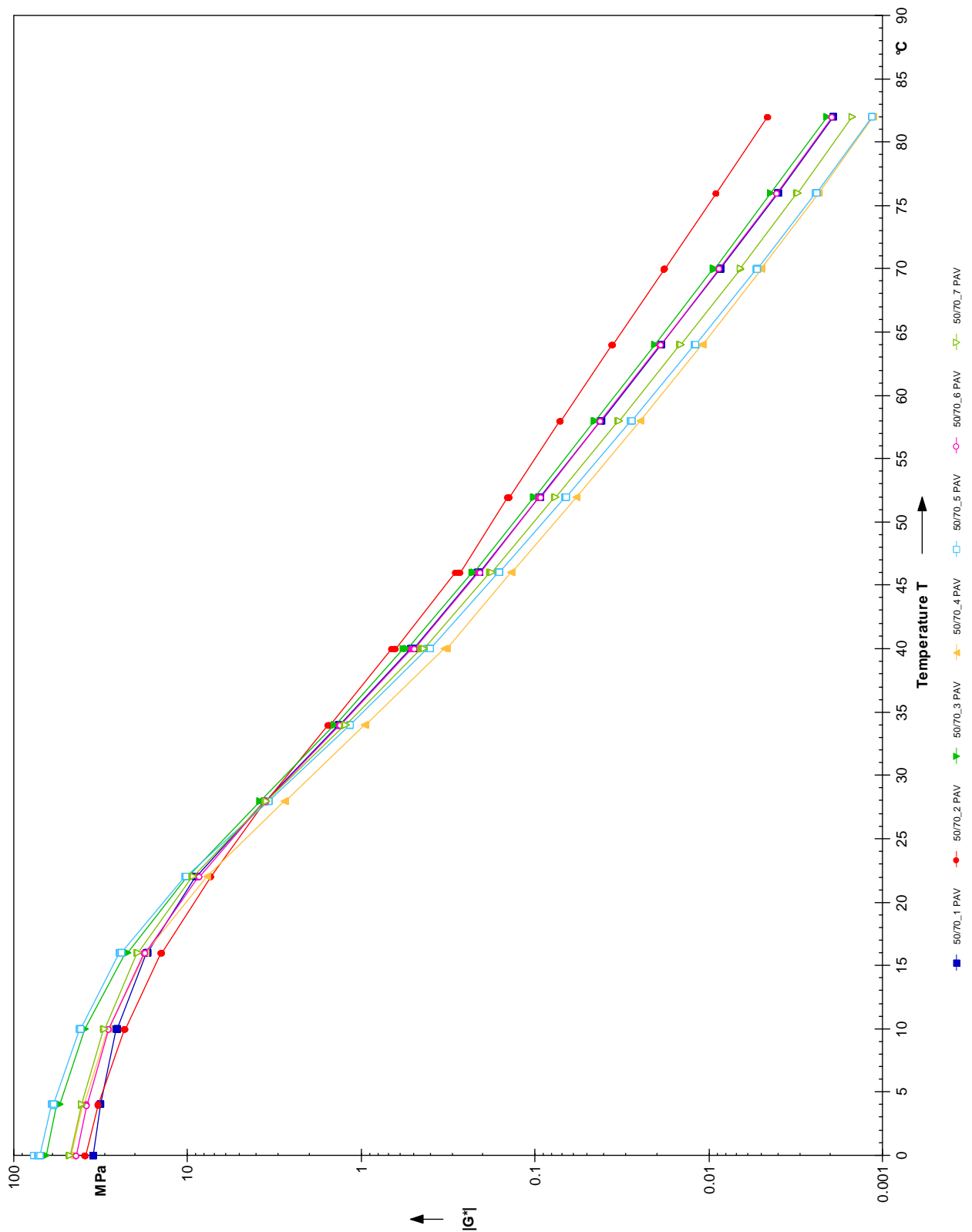


Rys. 9-7. Moduł zespolony w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 50/70

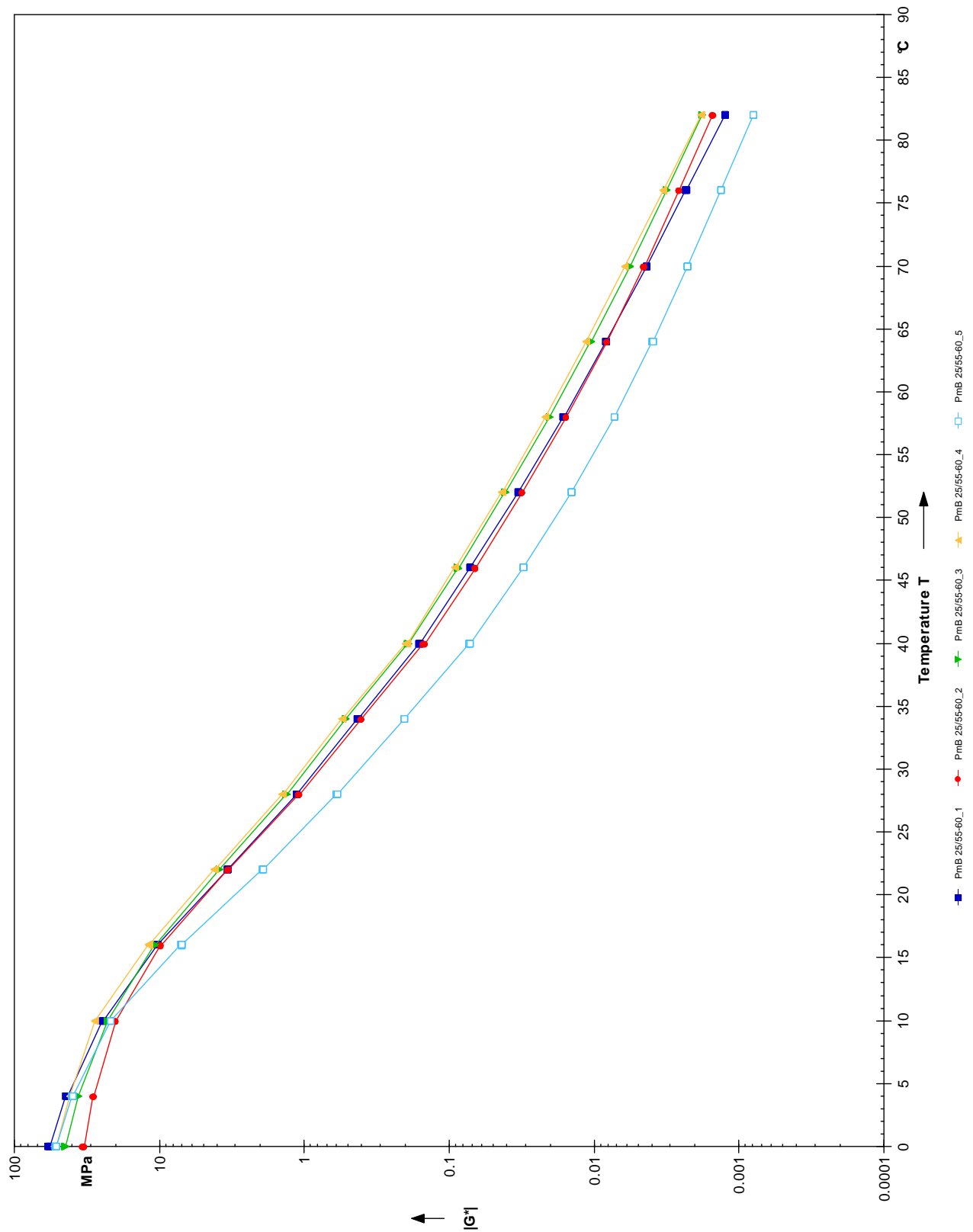


Rys. 9-8. Moduł zespolony w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 50/70 po starzeniu RTFOT

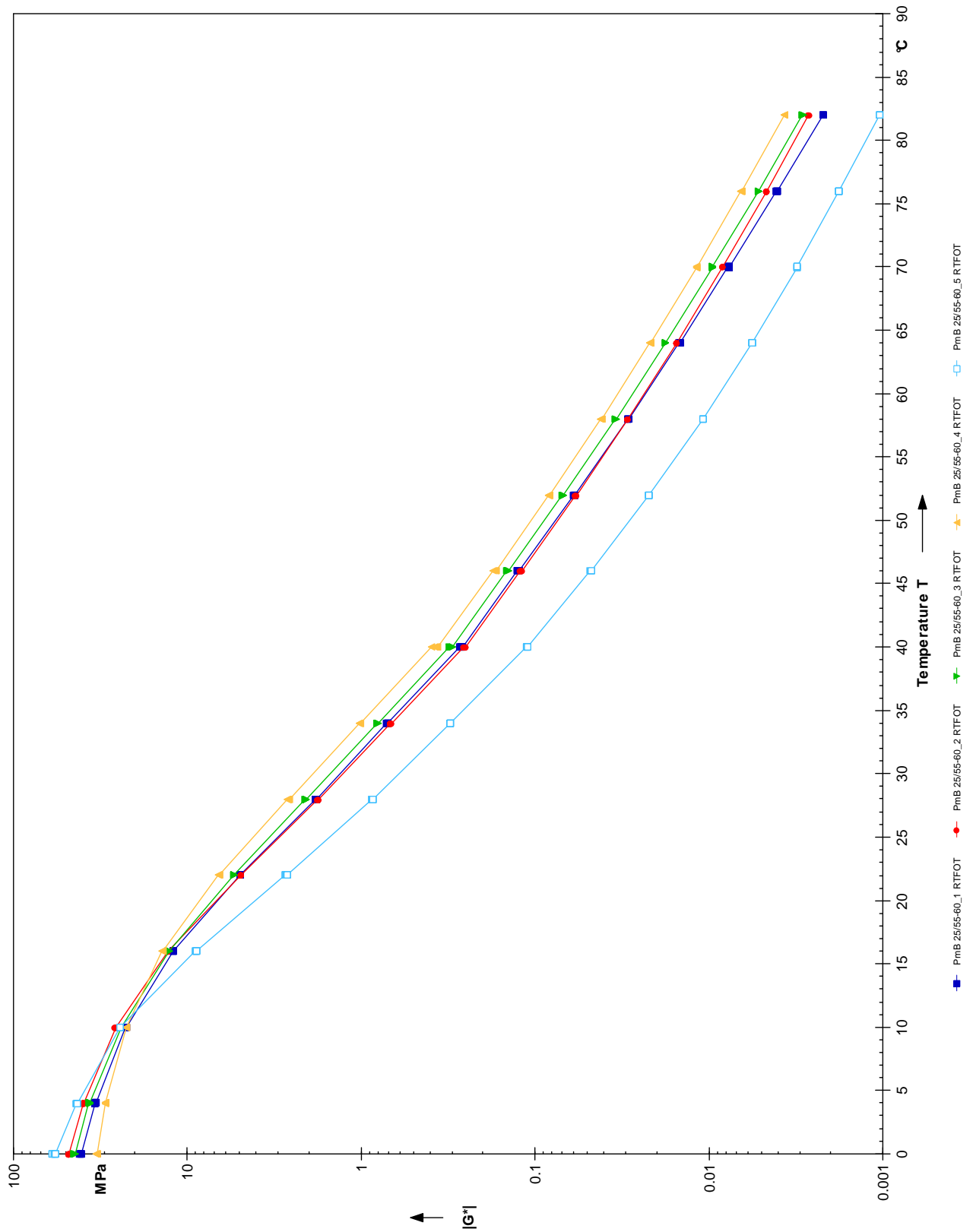




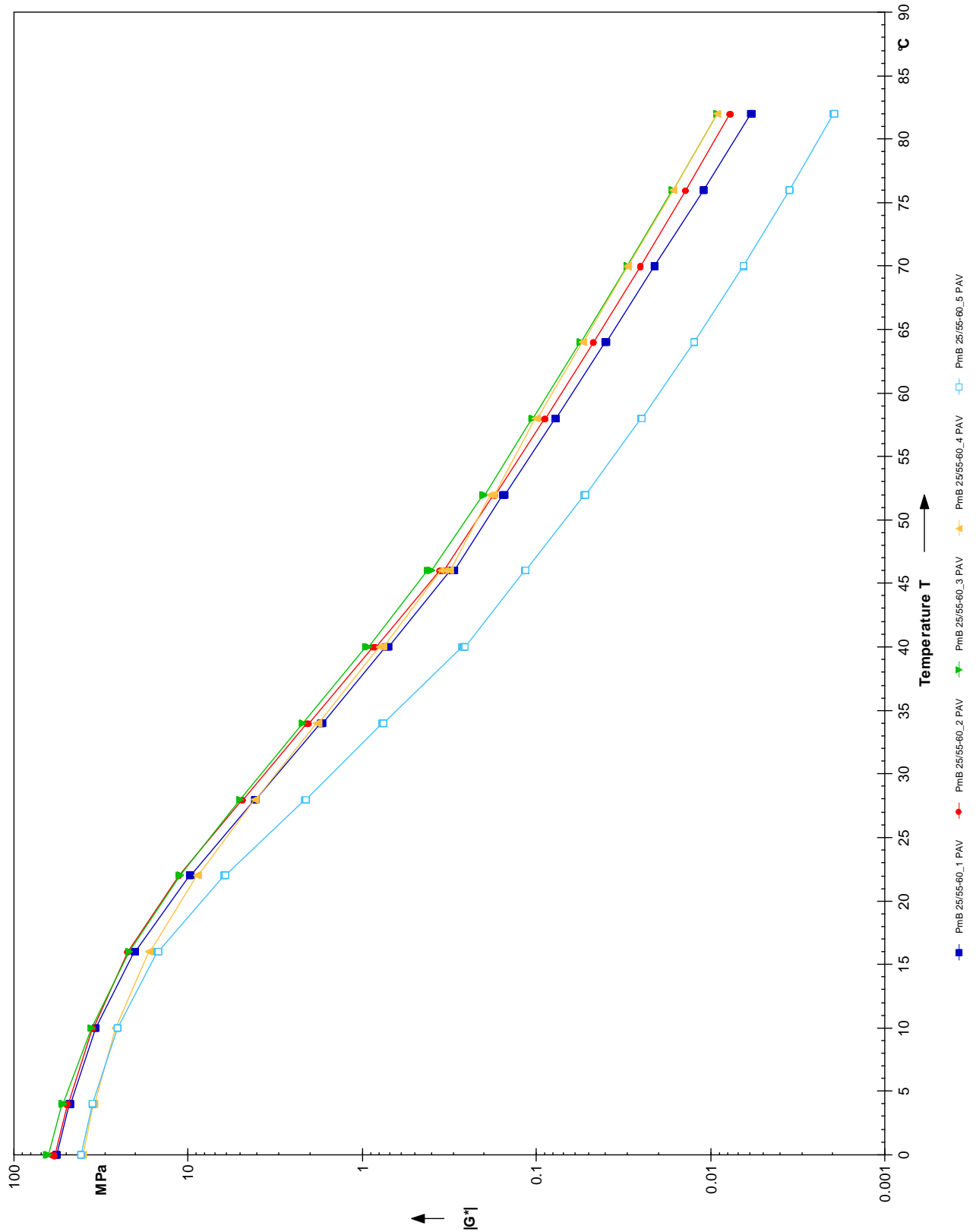
Rys. 9-9. Moduł zespolony w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 50/70 po starzeniu RTFOT+PAV



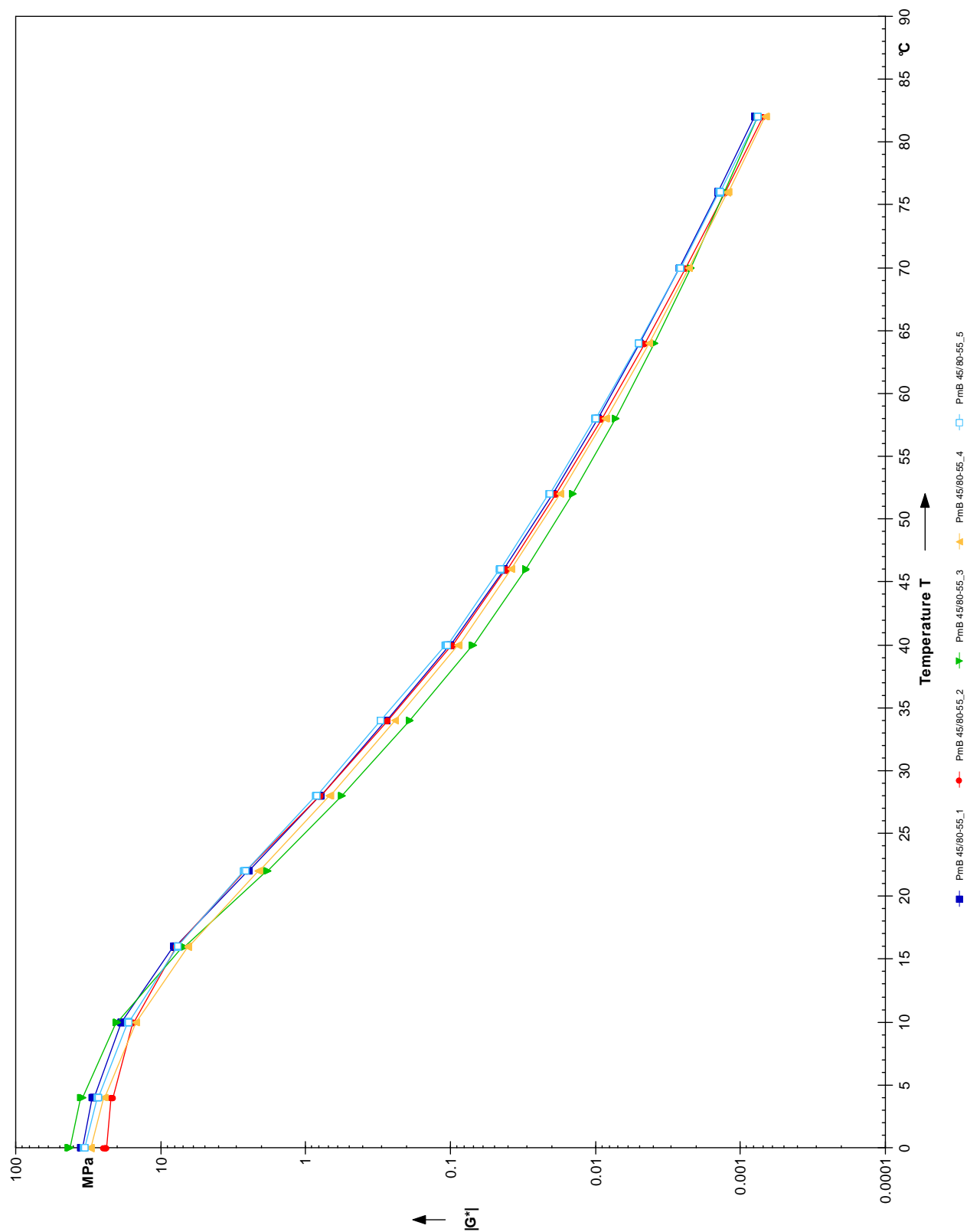
Rys. 9-10. Moduł zespolony w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 25/55-60



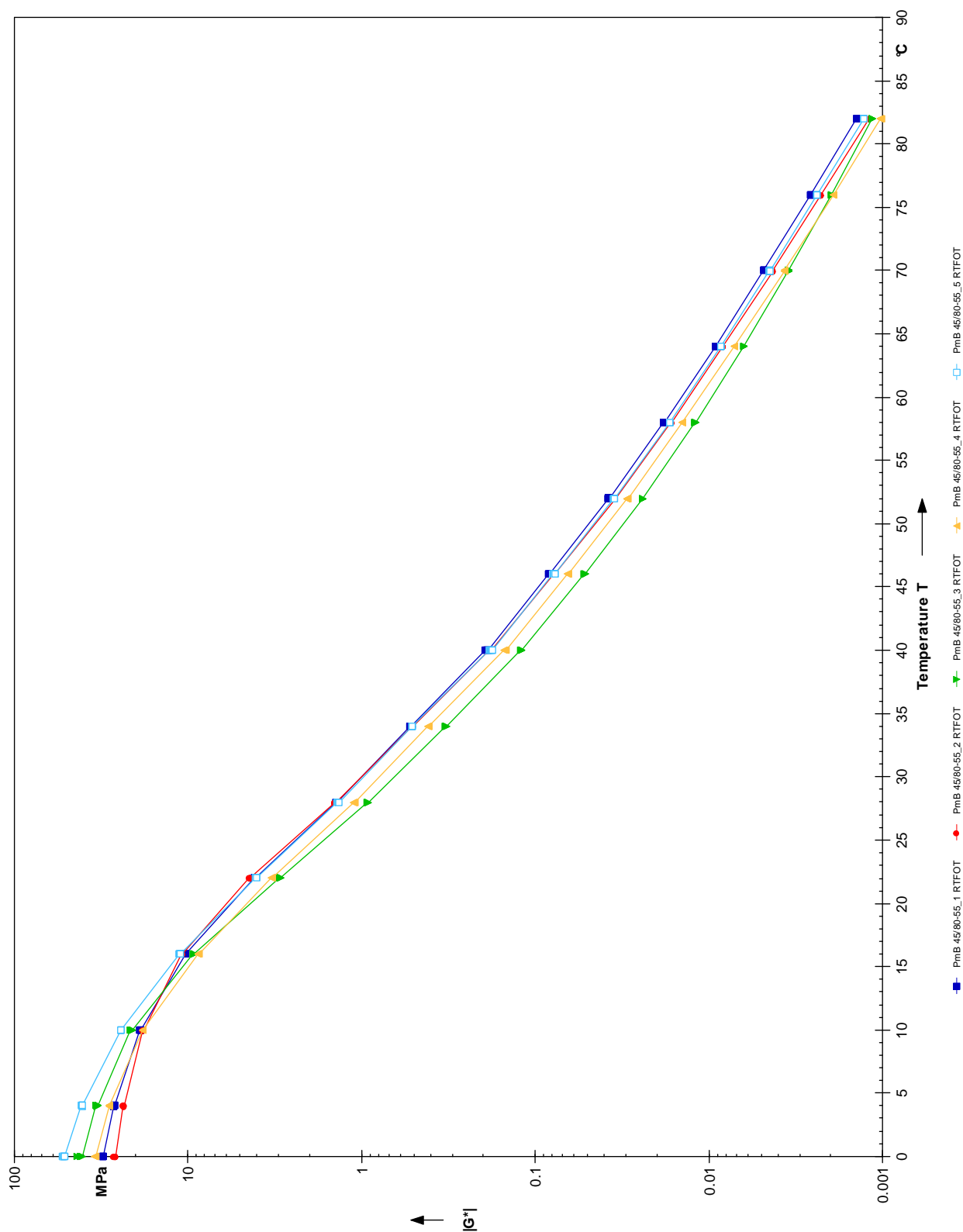
Rys. 9-11. Moduł zespolony w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 25/55-60 po starzeniu RTFOT



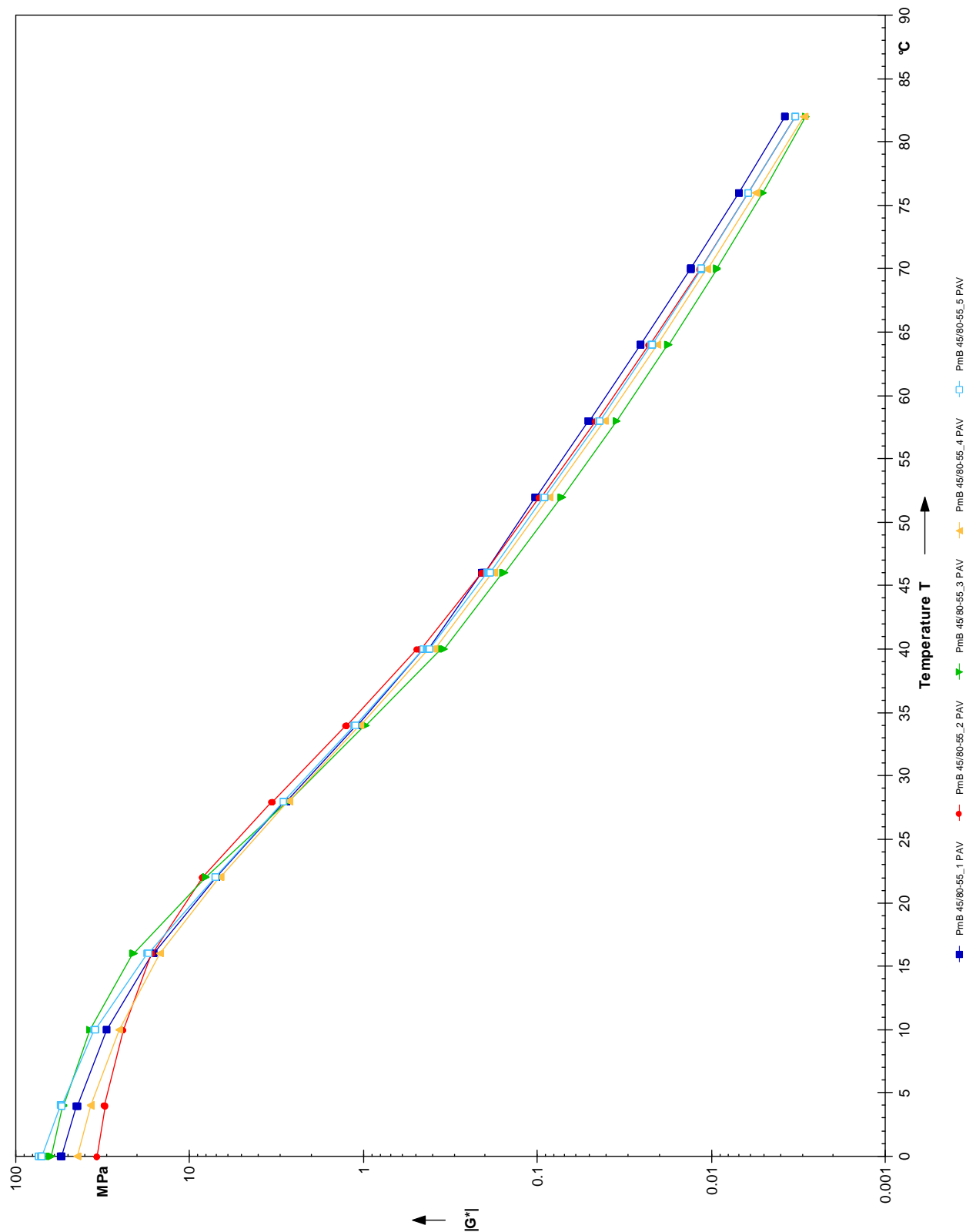
Rys. 9-12. Moduł zespolony w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 25/55-60 po starzeniu RTFOT+PAV



Rys. 9-13. Moduł zespolony w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 45/80-55



Rys. 9-14. Moduł zespolony w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 45/80-55 po starzeniu RTFOT



Rys. 9-15. Moduł zespolony w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 45/80-55 po starzeniu RTFOT+PAV

Wyniki badania kąta przesunięcia fazowego  $\delta$  lepkości asfaltowych w funkcji temperatury, określonego w aparacie DSR przy częstotliwości 10 Hz przedstawiono w tablicach 9-4, 9-5 i 9-6 a w formie graficznej w grupach twardości asfaltów na rysunkach 9-16 do 9-30.

**Tablica 9-4. Wartości kąta przesunięcia fazowego  $\delta$  lepkości asfaltowych przed starzeniem**

Rodzaj lepisczka	Kąt przesunięcia fazowego $\delta$				
	Temperatura [°C]				
	0	22	40	58	82
20/30_1	3.75	25.46	60.12	70.82	82.50
20/30_2	3.32	28.46	60.60	71.20	82.60
20/30_3	2.39	24.28	57.76	71.06	83.98
20/30_4	2.45	25.52	60.64	73.32	85.00
35/50_1	4.07	39.10	67.82	79.18	87.10
35/50_2	3.15	38.10	69.32	79.98	87.20
35/50_3	4.26	35.86	65.88	77.20	86.20
35/50_4	3.33	36.90	66.08	77.02	86.00
35/50_5	3.14	38.46	69.16	79.80	87.20
35/50_6	2.83	38.02	69.74	79.94	87.10
35/50_7	3.89	37.38	66.84	76.88	84.80
35/50_8	4.31	39.42	67.98	79.24	87.10
50/70_1	4.53	47.62	73.44	83.10	88.40
50/70_2	5.59	44.98	67.32	77.20	85.20
50/70_3	4.94	47.52	72.98	83.00	88.40
50/70_4	3.96	52.94	77.28	84.82	88.56
50/70_5	3.85	48.68	76.76	84.80	88.70
50/70_6	4.01	46.78	72.92	82.70	88.00
50/70_7	3.39	47.82	75.34	83.90	88.50
PmB 25/55-60_1	3.66	37.66	62.24	66.76	76.08
PmB 25/55-60_2	4.40	38.22	62.22	63.90	68.60
PmB 25/55-60_3	3.43	34.44	59.66	63.80	70.10
PmB 25/55-60_4	3.33	34.00	60.46	63.14	74.72
PmB 25/55-60_5	4.45	47.76	66.52	66.50	68.54
PmB 45/80-55_1	5.01	43.48	65.20	67.60	77.76
PmB 45/80-55_2	5.22	43.58	66.28	69.00	80.18
PmB 45/80-55_3	4.73	49.96	67.08	67.00	70.90
PmB 45/80-55_4	4.56	45.18	65.18	70.32	79.82
PmB 45/80-55_5	4.07	41.64	64.64	69.26	81.14



**Tablica 9-5. Wartości kąta przesunięcia fazowego  $\delta$  lepiszczy asfaltowych po starzeniu RTFOT**

Rodzaj lepiszcza	Kąt przesunięcia fazowego $\delta$				
	Temperatura [°C]				
	0	22	40	58	82
20/30_1	2.22	17.58	51.50	65.20	78.60
20/30_2	3.10	20.00	52.32	65.16	78.30
20/30_3	2.53	18.18	50.54	65.64	80.50
20/30_4	1.99	17.82	51.72	67.08	81.62
35/50_1	3.77	29.78	61.70	73.74	84.90
35/50_2	2.73	28.28	62.98	74.30	84.70
35/50_3	3.63	26.84	60.14	71.66	83.50
35/50_4	2.80	27.30	60.04	71.36	83.30
35/50_5	2.44	28.58	63.16	74.60	85.10
35/50_6	2.28	28.12	63.88	75.00	85.00
35/50_7	3.96	28.16	60.90	70.92	81.58
35/50_8	2.97	31.50	62.86	74.60	85.30
50/70_1	3.12	35.28	67.12	78.80	87.10
50/70_2	4.22	35.64	61.68	72.02	82.90
50/70_3	4.16	35.90	66.52	77.88	85.86
50/70_4	3.24	42.44	71.96	81.80	87.72
50/70_5	3.40	38.72	71.50	81.80	88.00
50/70_6	3.15	35.96	66.90	78.30	86.90
50/70_7	4.04	37.70	69.84	80.40	87.40
PmB 25/55-60_1	3.13	30.30	58.08	63.96	72.48
PmB 25/55-60_2	3.06	30.74	58.22	61.80	66.40
PmB 25/55-60_3	2.95	28.40	56.36	61.40	68.20
PmB 25/55-60_4	2.73	24.88	55.50	60.28	68.70
PmB 25/55-60_5	4.09	41.68	64.26	66.40	70.44
PmB 45/80-55_1	2.83	33.64	62.06	65.90	75.82
PmB 45/80-55_2	3.95	34.12	63.34	67.20	79.06
PmB 45/80-55_3	4.41	41.32	64.36	65.70	70.40
PmB 45/80-55_4	3.61	37.04	62.54	67.76	80.84
PmB 45/80-55_5	3.39	33.92	61.88	65.64	77.40

**Tablica 9-6. Wartości kąta przesunięcia fazowego  $\delta$  lepiszczy asfaltowych po starzeniu RTFOT i PAV**

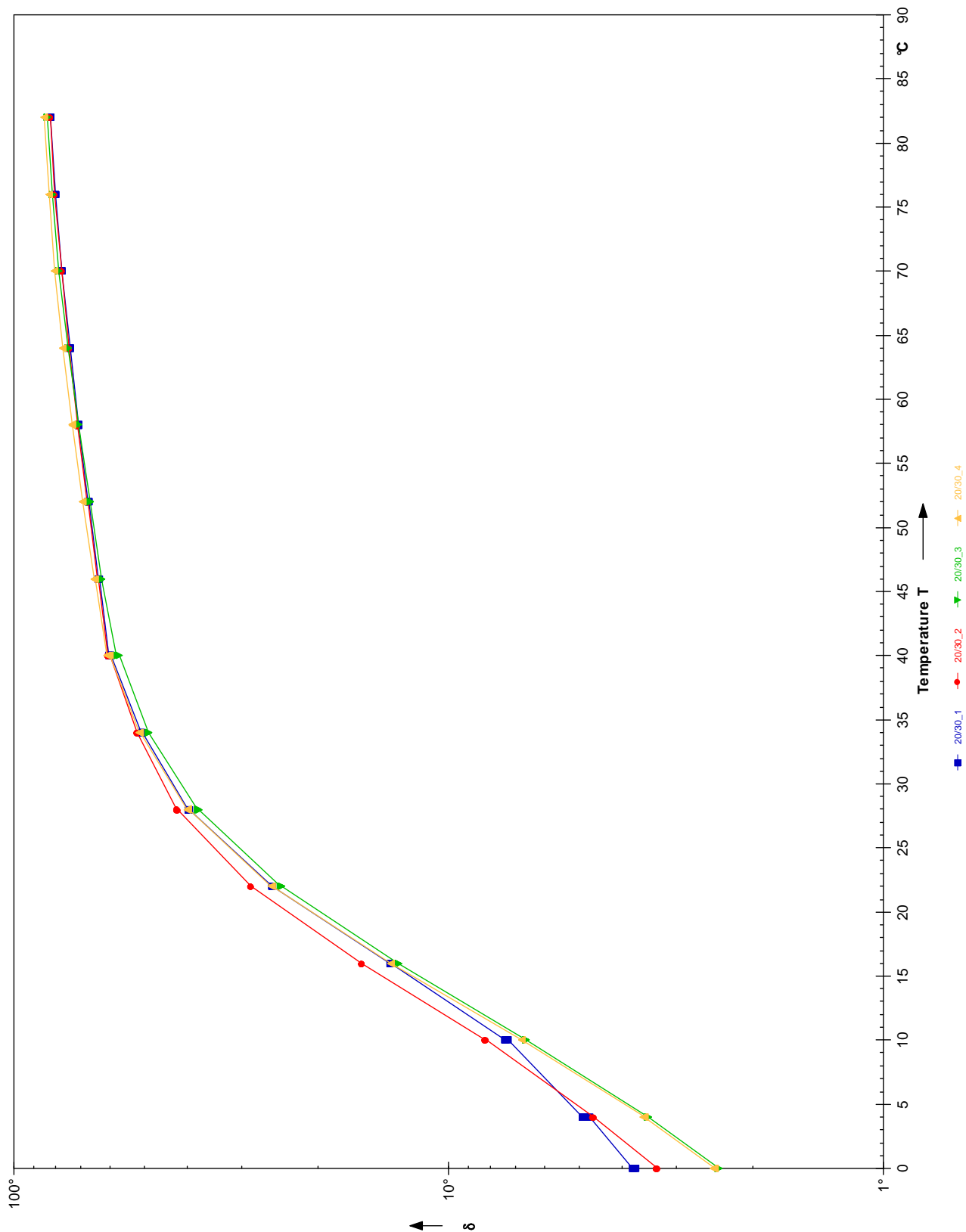
Rodzaj lepiszcza	Kąt przesunięcia fazowego $\delta$				
	Temperatura [°C]				
	0	22	40	58	82
20/30_1	1.44	10.20	36.66	56.34	69.44
20/30_2	1.55	10.70	36.74	55.24	68.04
20/30_3	1.54	10.10	36.14	56.30	72.00
20/30_4	1.46	10.16	37.14	57.54	73.40
35/50_1	2.13	17.10	48.86	64.10	79.00
35/50_2	1.75	15.60	49.56	65.54	79.80
35/50_3	1.73	15.50	46.70	62.48	77.20
35/50_4	1.99	15.70	46.28	61.82	76.30
35/50_5	1.91	16.10	48.86	64.30	78.60
35/50_6	1.61	16.00	51.36	67.04	80.60
35/50_7	1.96	17.20	48.62	62.76	76.74
35/50_8	2.61	19.30	51.72	65.94	80.50
50/70_1	2.44	21.00	55.42	69.44	82.90
50/70_2	3.07	20.86	49.10	61.86	75.40
50/70_3	2.54	20.86	54.48	68.80	82.52
50/70_4	2.39	25.78	62.52	74.40	85.00
50/70_5	2.02	22.60	61.20	74.60	85.30
50/70_6	2.31	21.52	55.98	69.54	82.76
50/70_7	2.04	22.58	59.60	72.68	84.40
PmB 25/55-60_1	2.22	18.90	48.20	58.52	67.80
PmB 25/55-60_2	1.99	17.10	46.78	57.20	63.20
PmB 25/55-60_3	2.25	16.70	44.66	55.34	62.32
PmB 25/55-60_4	2.11	17.68	45.22	55.78	63.00
PmB 25/55-60_5	2.69	27.66	59.56	64.56	71.00
PmB 45/80-55_1	2.51	23.32	53.32	62.36	70.20
PmB 45/80-55_2	2.40	21.54	54.64	63.40	71.88
PmB 45/80-55_3	2.07	25.66	58.20	62.90	68.90
PmB 45/80-55_4	2.75	24.32	55.30	62.90	74.64
PmB 45/80-55_5	2.59	23.28	54.14	62.40	70.68

Kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  między naprężeniem i odkształceniem w badaniu modułu kompleksowego pod obciążeniem cyklicznym jest dobrym miernikiem do oceny właściwości lepko-sprężystych w funkcji temperatury. Wartość kąta przesunięcia fazowego  $\delta$  zbliżona do 0°C wskazuje na całkowite usztywnienie lepiszcza, które prowadzi do kruchego spękania. W wysokich temperaturach eksploatacyjnych ze względu na możliwość upłynniania się lepiszcza kąt przesunięcia fazowego nie powinien osiągać wartości 90°C.

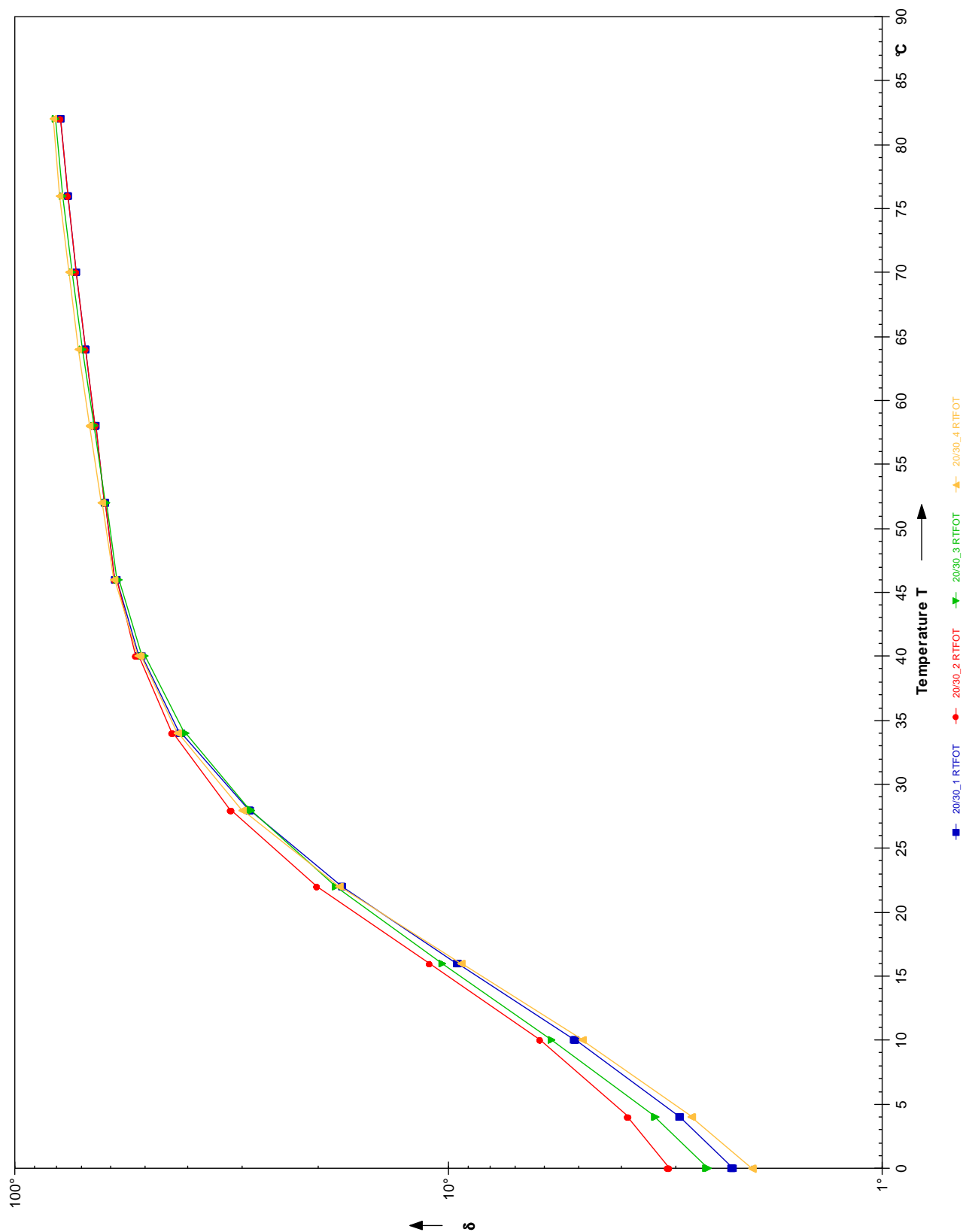
Analizując wyniki badania kąta przesunięcia fazowego  $\delta$  dla lepiszczy przed starzeniem, po RTFOT i po RTFOT+PAV należy stwierdzić, że lepiszcza modyfikowane wykazują w zakresie niskich i wysokich temperatur najkorzystniejsze właściwości. Asfalty drogowe w temperaturze 82°C

charakteryzują się zanikiem właściwości sprężystych i ich zachowanie jest bliskie cieczy newtonowskiej. Większym udziałem części sprężystych w tej wysokiej temperaturze charakteryzują się asfalty modyfikowane.

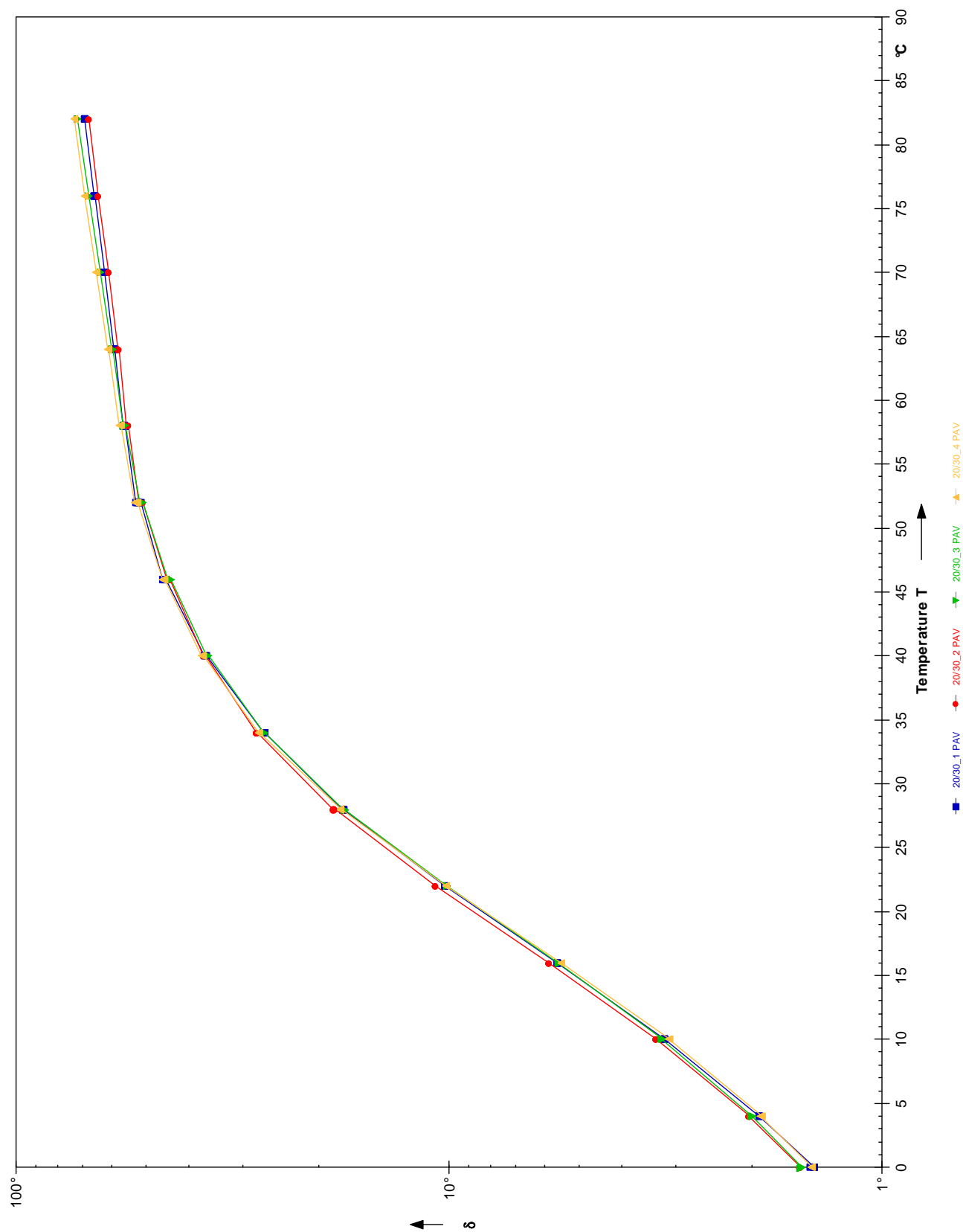
W grupach twardości asfalty drogowe wykazują zróżnicowanie wyników kąta przesunięcia fazowego w temperaturze 0°C. Oceniając wyniki badania kąta przesunięcia fazowego  $\delta$  w grupie asfaltów twardych 20/30 należy stwierdzić, że istnieje zróżnicowanie odporności asfaltów na starzenie technologiczne (badanie w 0°C), natomiast odporność na starzenie eksploatacyjne dla wszystkich asfaltów w tej grupie twardości jest jednakowe (rysunek 9-18). W grupie asfaltów 35/50 występuje duże zróżnicowanie wyników kąta przesunięcia fazowego  $\delta$  dla asfaltów przed starzeniem i po starzeniu technologicznym i eksploatacyjnym w zakresie niskich temperatur badania (9-19, 9-20 i 9-21). Największe usztywnienie asfaltów tej grupy dotyczy wybranych asfaltów producenta 2 (najniższa wartość kąta przesunięcia fazowego  $\delta$  po starzeniu RTFOT+PAV). Zróżnicowanie wyników badania kąta przesunięcia fazowego w grupie asfaltów 50/70 ma miejsce zarówno w wysokich i niskich temperaturach badania dla asfaltów oryginalnych i asfaltów po badaniu starzenia. Asfalty tej grupy wykazują najszybszy przyrost cech lepkich i w temperaturze 82°C mają płynięcie zbliżone do cieczy newtonowskiej. W temperaturze 0°C asfalty z tej grupy charakteryzują się najwyższą wartością kąta przesunięcia fazowego wśród trzech grup badanych asfaltów. Asfalty modyfikowane charakteryzują się wśród badanych lepischer najwyższymi korzystnymi wartościami kąta przesunięcia fazowego  $\delta$  w temperaturze badania 0°C. W wysokiej temperaturze badania 82°C lepischer modyfikowane wykazują również korzystne niższe od asfaltów drogowych wartości kąta przesunięcia fazowego niewskazujące na upłynianie się tych lepischer.



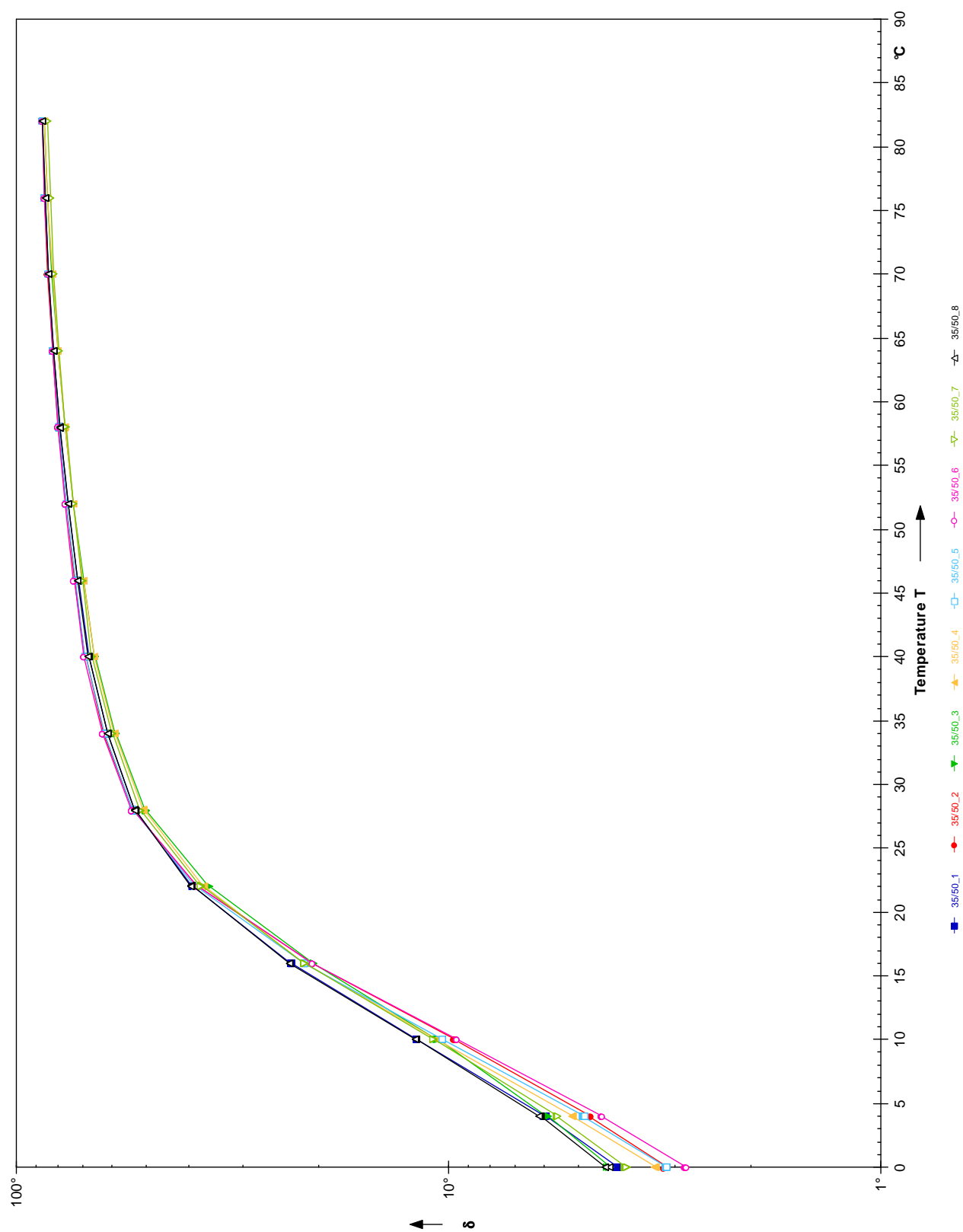
Rys. 9-16. Kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 20/30



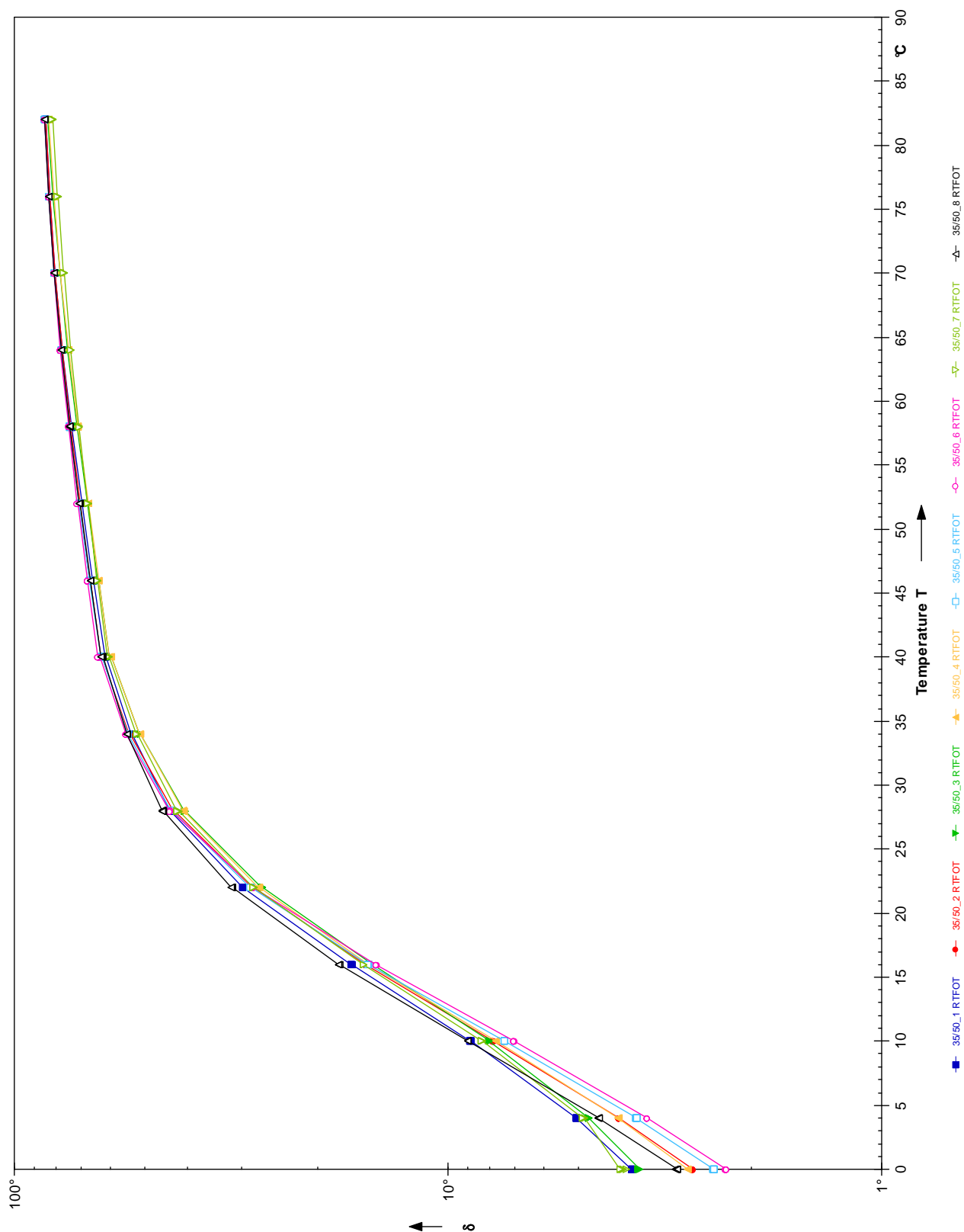
Rys. 9-17. Kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 20/30 po starzeniu RTFOT



Rys. 9-18. Kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 20/30 po starzeniu RTFOT+PAV

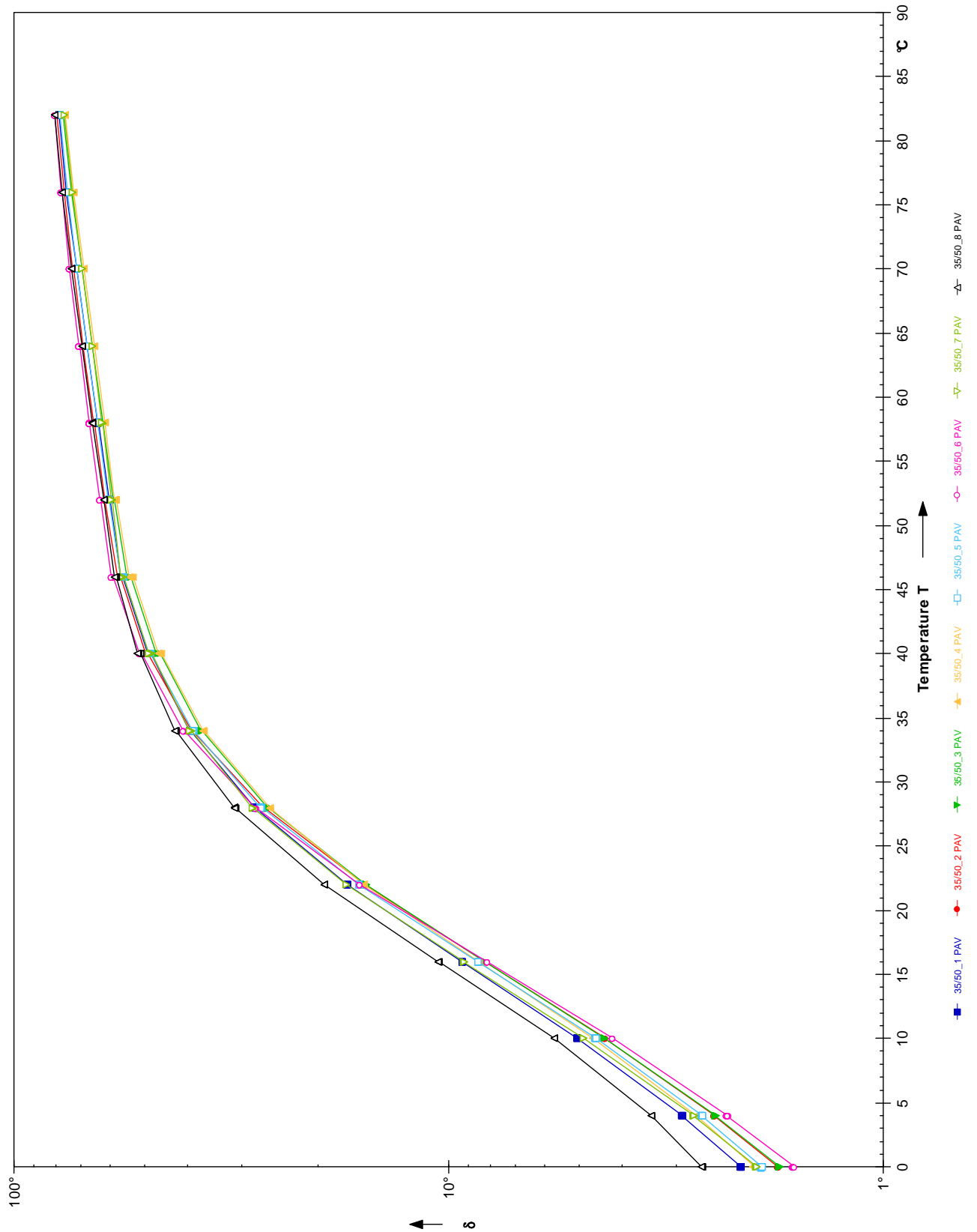


Rys. 9-19. Kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 35/50

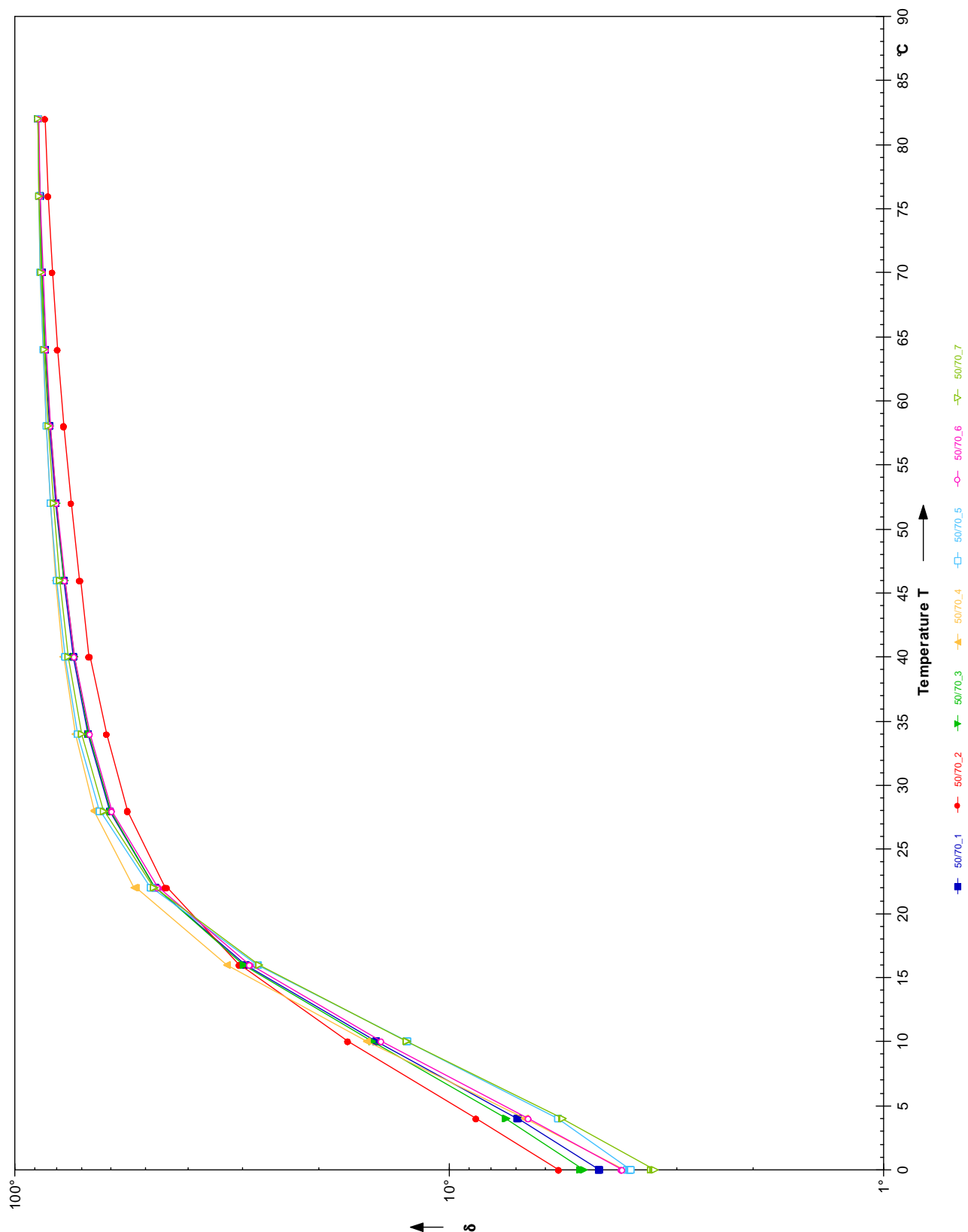


Rys. 9-20. Kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 35/50 po starzeniu RTFOT

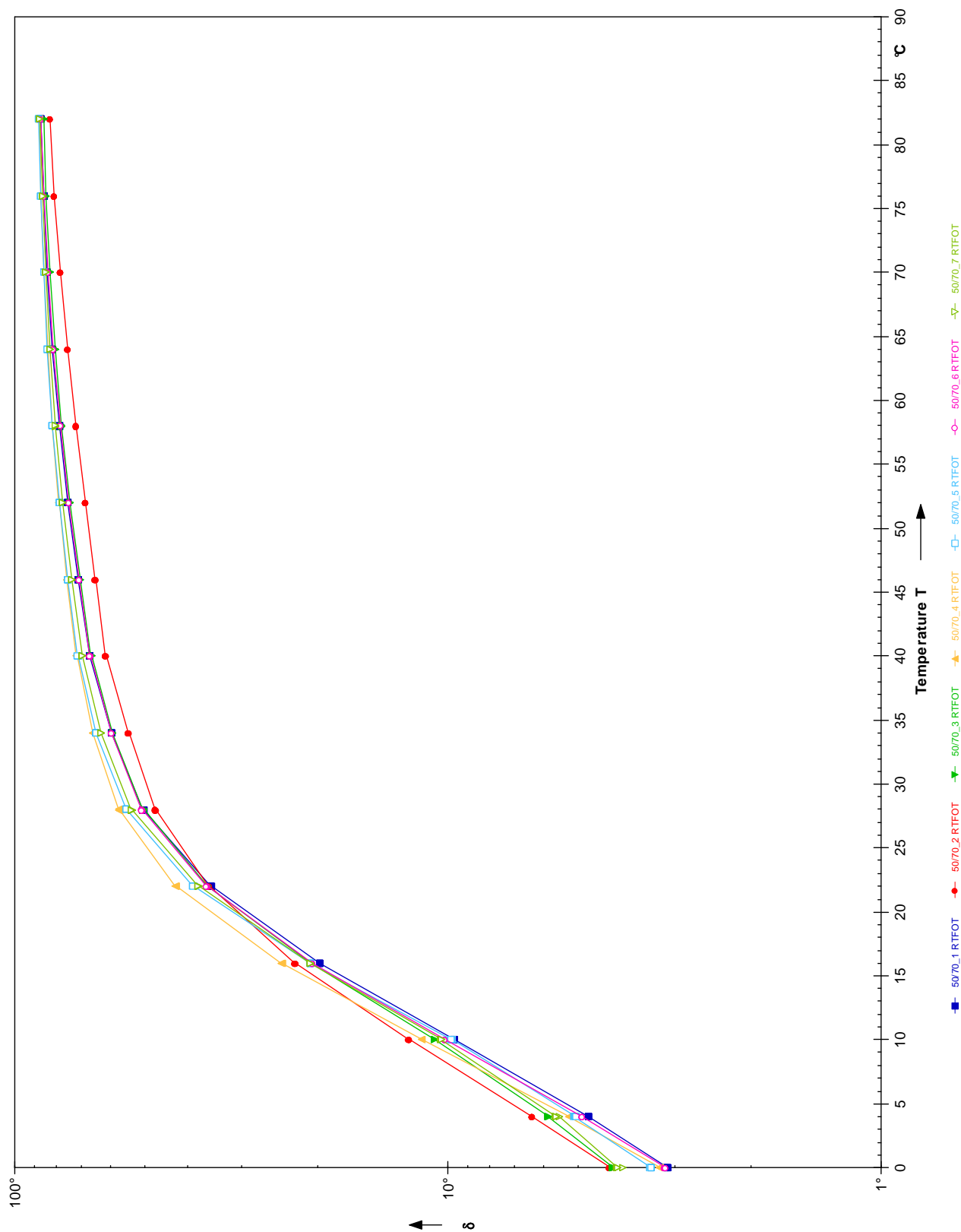




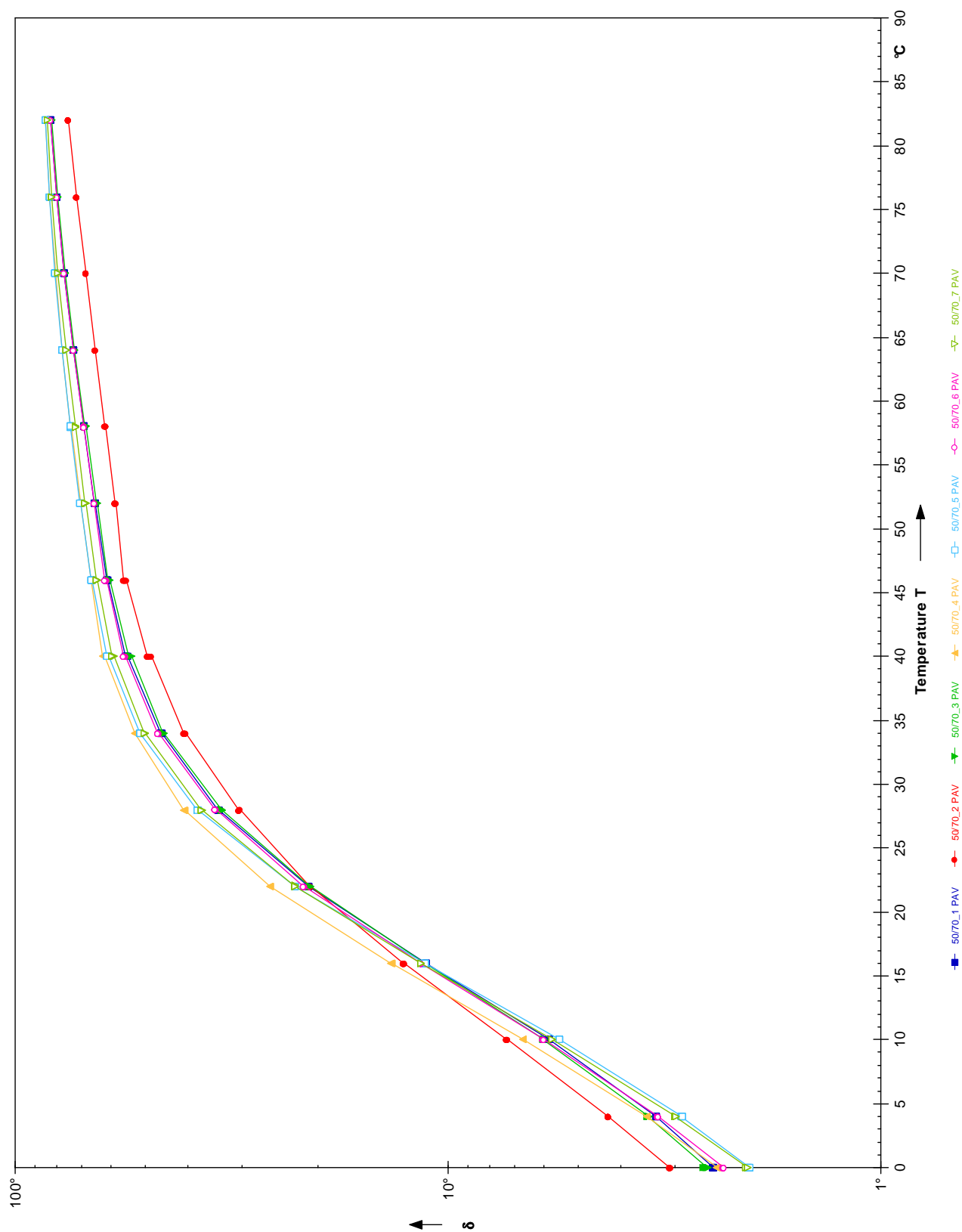
Rys. 9-21. Kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 35/50 po starzeniu RTFOT+PAV



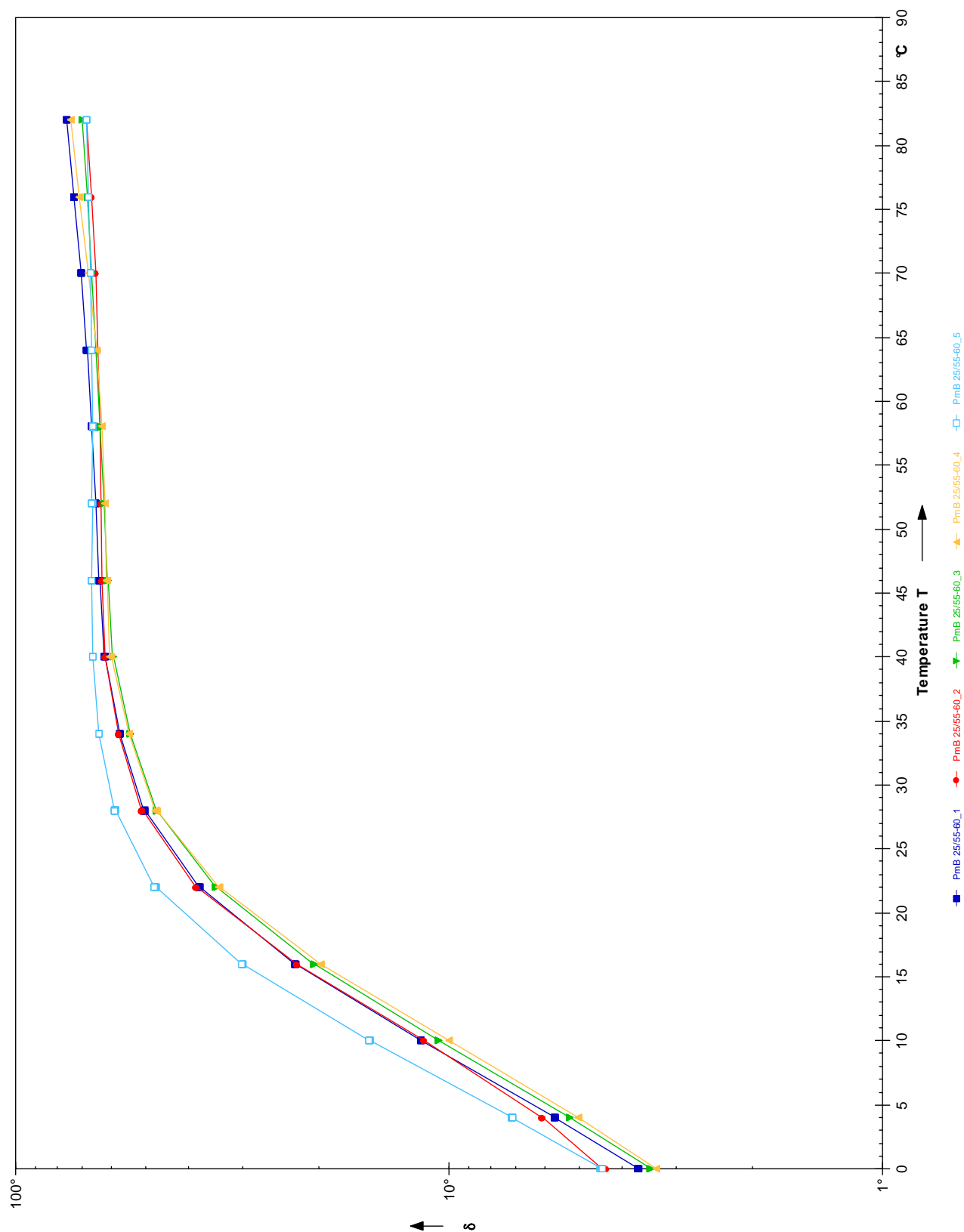
Rys. 9-22. Kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 50/70



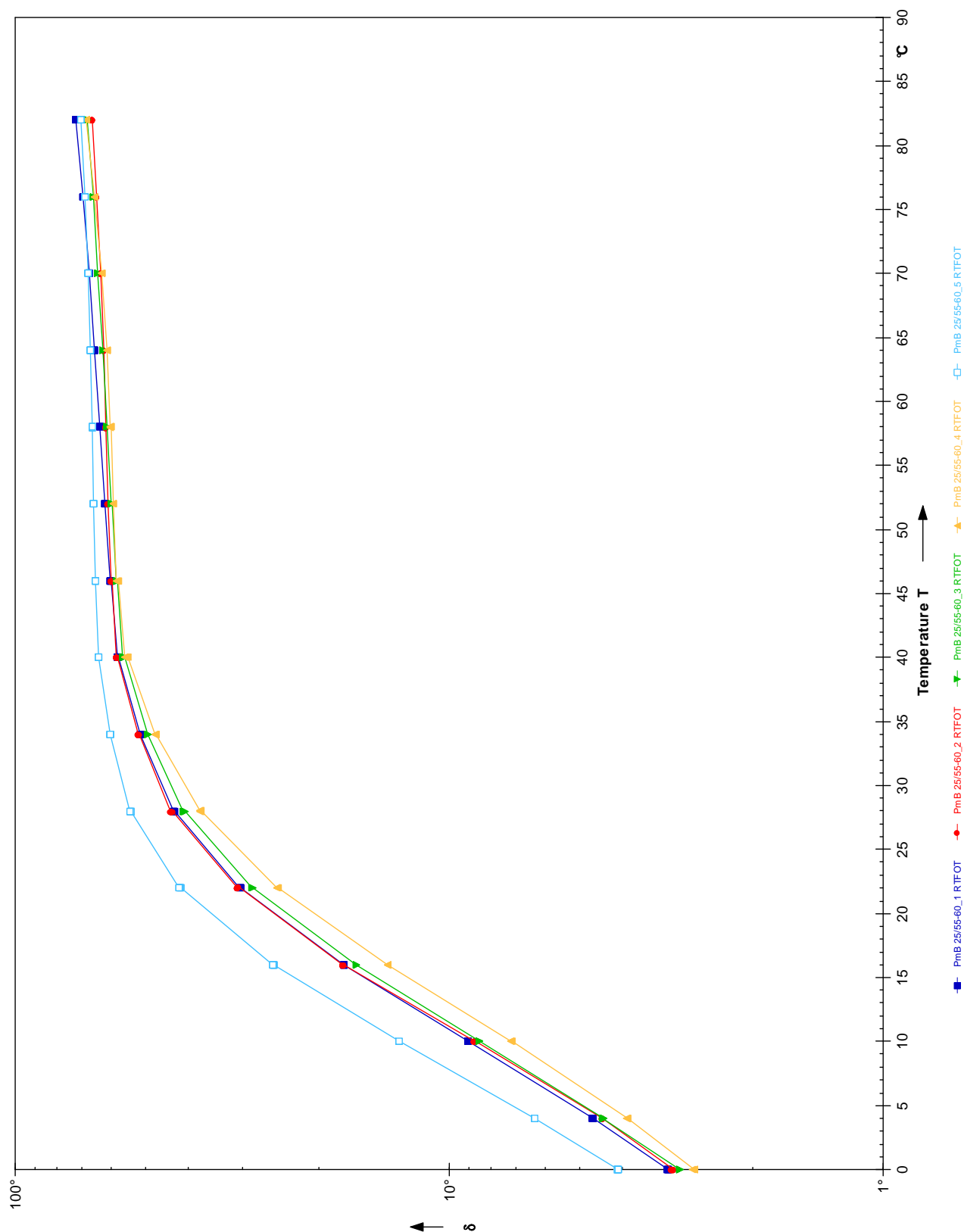
Rys. 9-23. Kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 50/70 po starzeniu RTFOT



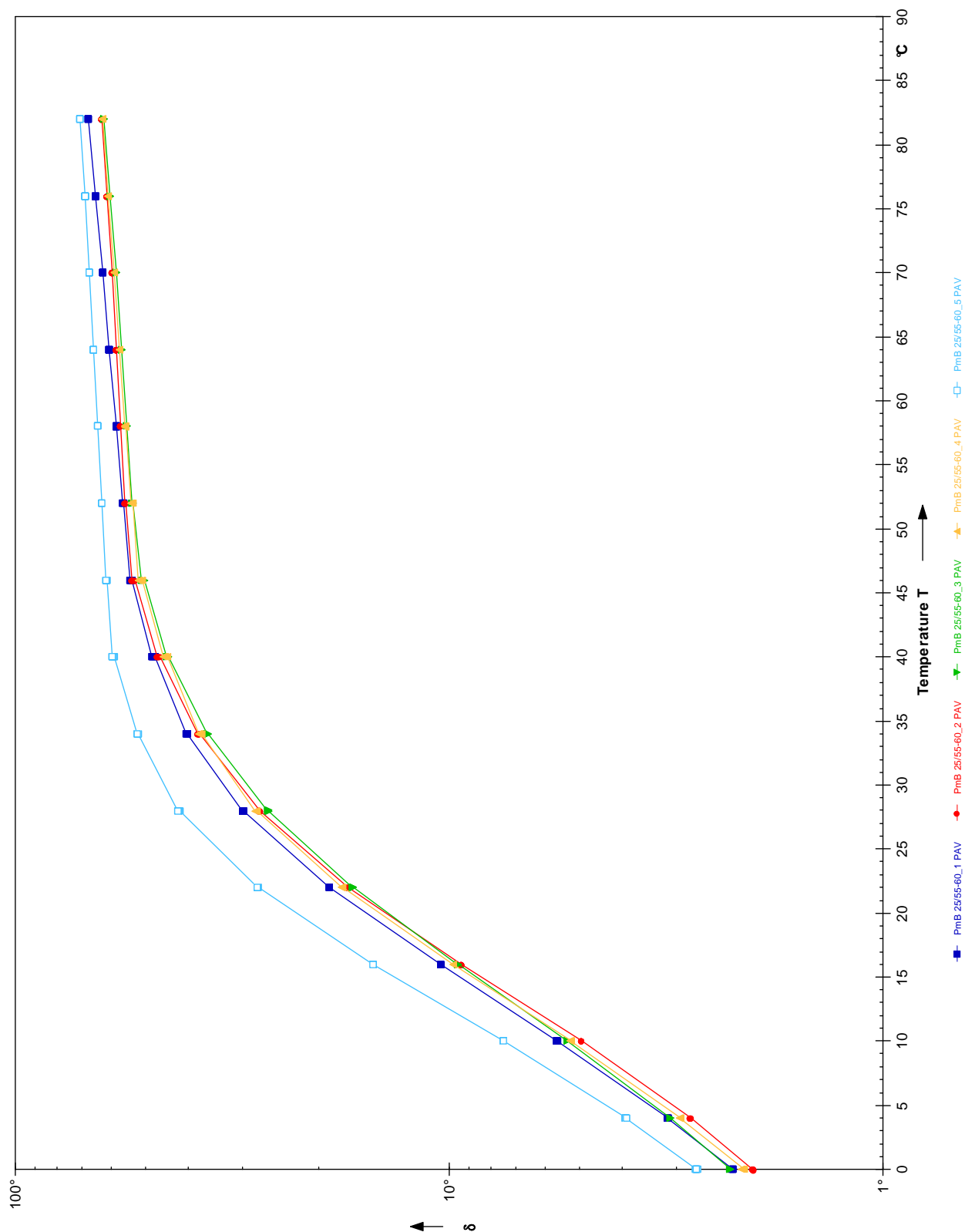
Rys. 9-24. Kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 50/70 po starzeniu RTFOT+PAV



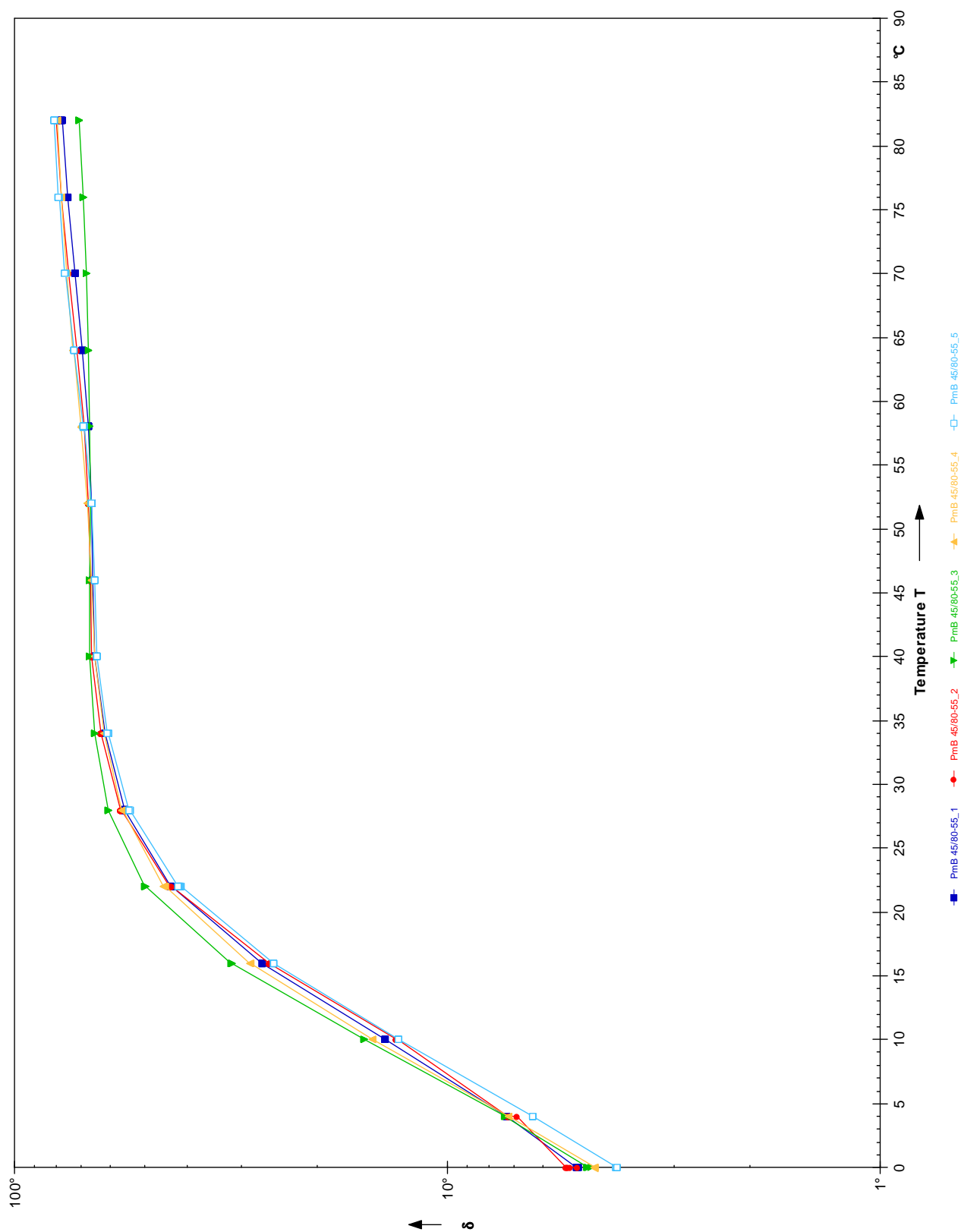
Rys. 9-25. Kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 25/55-60



Rys. 9-26. Kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 25/55-60 po starzeniu RTFOT

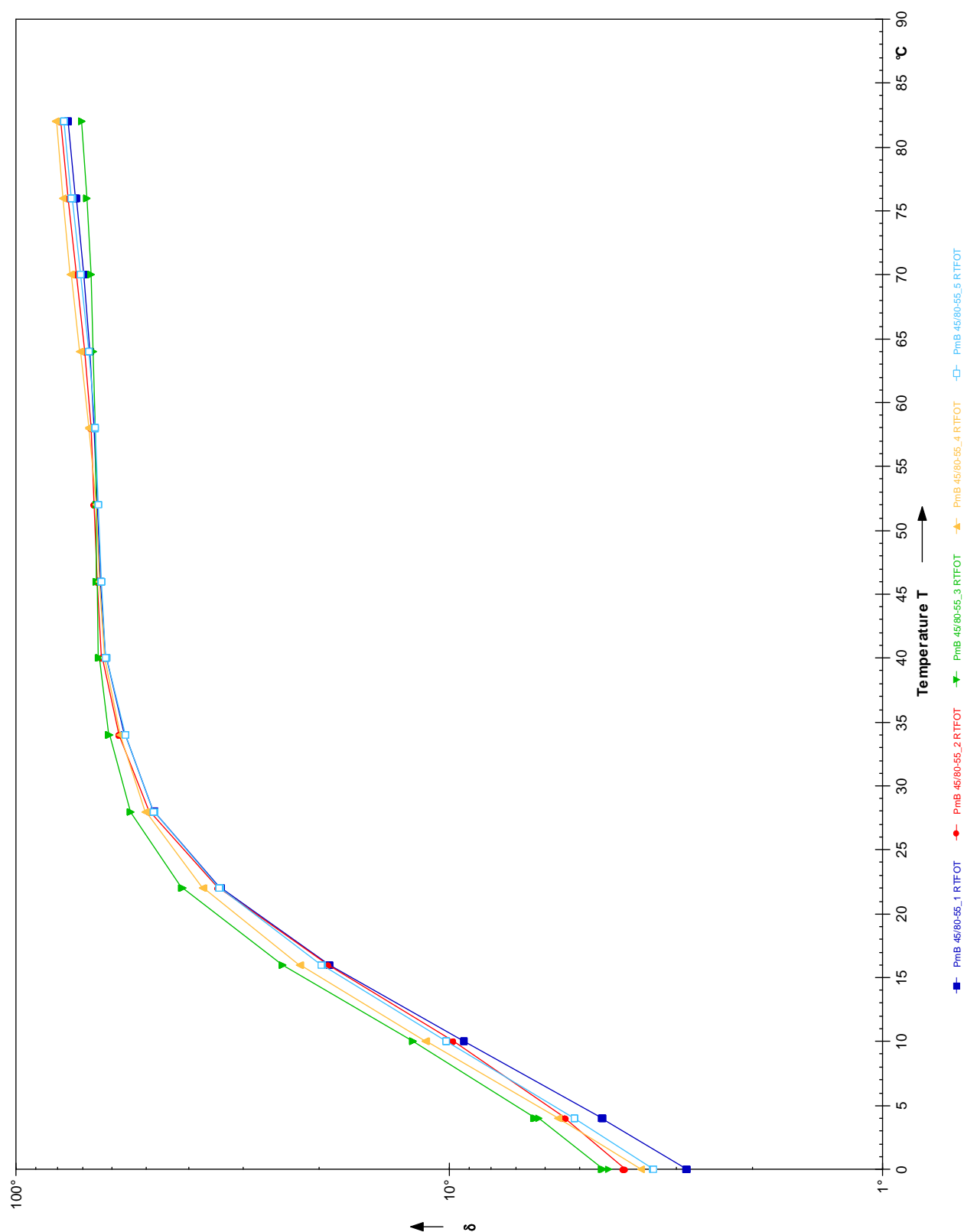


Rys. 9-27. Kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 25/55-60 po starzeniu RTFOT+PAV

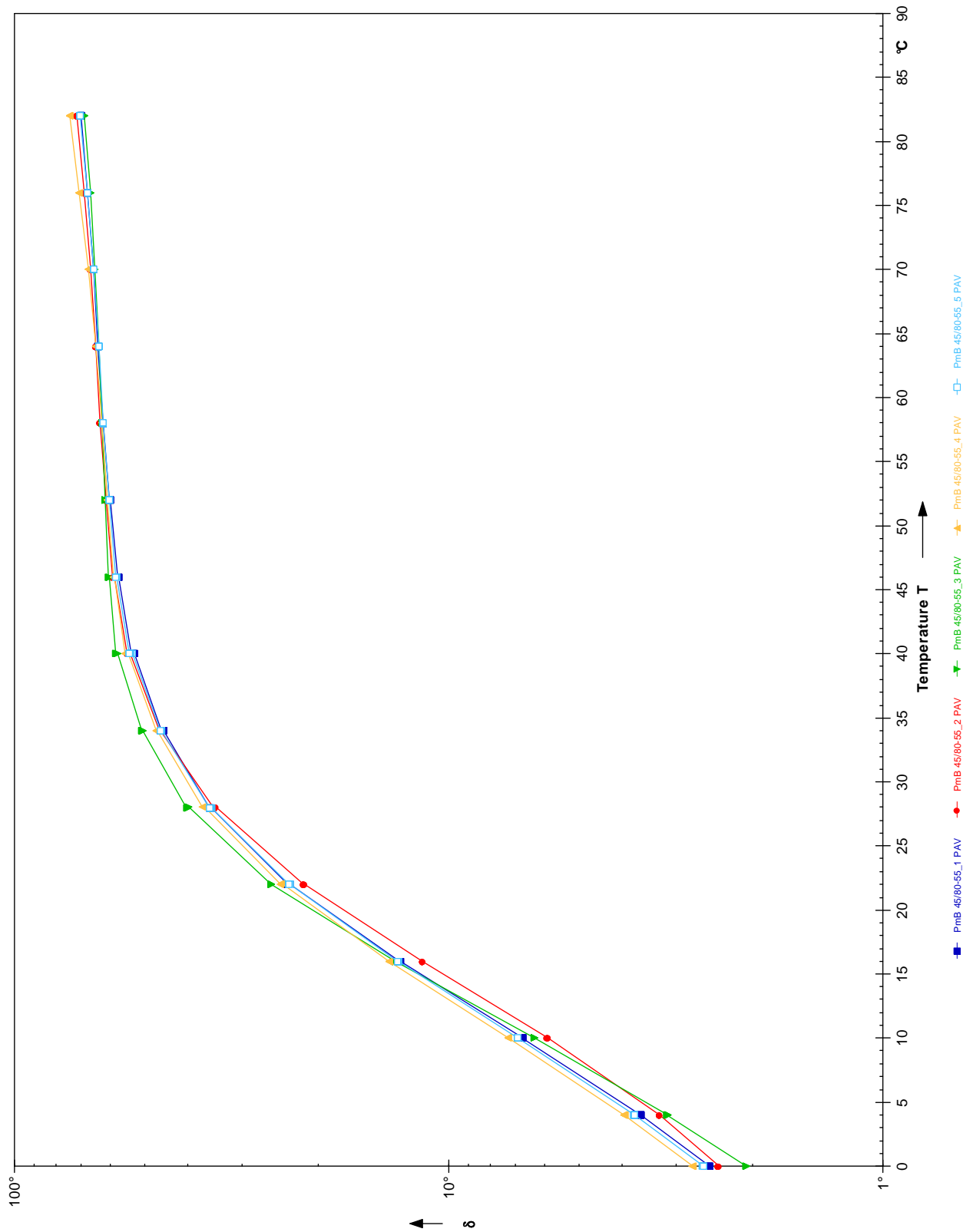


Rys. 9-28. Kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 45/80-55





Rys. 9-29. Kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 45/80-55 po starzeniu RTFOT



Rys. 9-30. Kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 45/80-55 po starzeniu RTFOT+PAV

Wyniki określenia parametru sztywności  $G^*/\sin\delta$  zgodnie z metodyką SHRP (dla lepiszcza oryginalnego i po starzeniu RTFOT) w funkcji temperatury przedstawiono w tabelicy 9-7, a w formie graficznej w grupach twardości asfaltów na rysunkach 9-31 do 9-35.

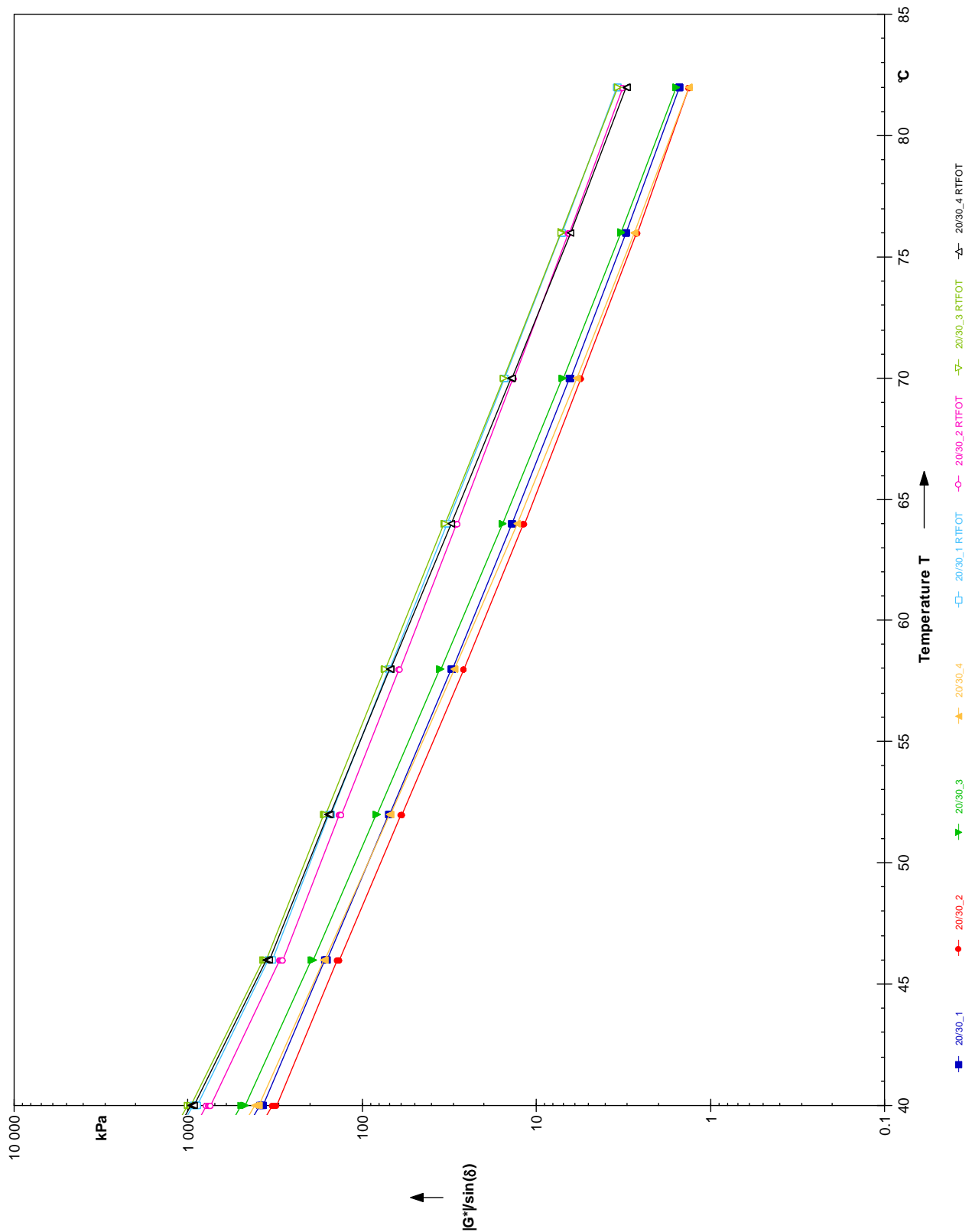
**Tablica 9-7. Wartości  $G^*/\sin\delta$  lepiszczy asfaltowych przed i po starzeniu RTFOT**

Rodzaj lepiszcza	Wartość $G^*/\sin\delta$ , [kPa]					
	przed starzeniem, [°C]			po starzeniu RTFOT, [°C]		
	40	58	82	40	58	82
20/30_1	377.60	30.64	1.50	906.80	70.24	3.43
20/30_2	317.80	25.98	1.32	756.80	61.34	3.17
20/30_3	480.40	35.64	1.57	976.00	73.92	3.42
20/30_4	401.40	29.42	1.33	944.60	68.74	3.03
35/50_1	149.40	9.90	0.50	285.80	21.16	1.00
35/50_2	149.80	9.59	0.48	340.60	25.94	1.27
35/50_3	176.00	12.10	0.60	351.80	27.74	1.32
35/50_4	165.00	11.70	0.59	334.00	26.64	1.28
35/50_5	148.60	9.55	0.48	304.80	21.94	1.00
35/50_6	146.20	9.22	0.46	305.80	21.42	0.98
35/50_7	154.20	10.64	0.56	299.60	24.32	1.24
35/50_8	120.80	7.95	0.40	237.60	17.28	0.80
50/70_1	75.86	4.67	0.26	180.40	11.50	0.54
50/70_2	94.86	7.22	0.43	197.40	16.84	0.90
50/70_3	75.98	4.53	0.25	178.20	12.12	0.62
50/70_4	54.14	3.23	0.19	110.20	6.66	0.34
50/70_5	68.20	3.79	0.21	132.20	7.74	0.38
50/70_6	83.30	5.03	0.27	176.20	11.64	0.56
50/70_7	74.66	4.32	0.23	147.20	9.00	0.44
PmB 25/55-60_1	181.20	17.70	1.29	313.60	32.42	2.30
PmB 25/55-60_2	168.20	17.26	1.62	297.40	33.08	2.90
PmB 25/55-60_3	223.20	22.56	1.90	365.20	39.14	3.11
PmB 25/55-60_4	227.40	24.30	1.89	456.40	47.96	3.92
PmB 25/55-60_5	78.96	7.94	0.86	123.20	11.82	1.11
PmB 45/80-55_1	110.80	10.36	0.81	215.20	19.88	1.45
PmB 45/80-55_2	106.00	9.62	0.71	202.20	17.92	1.22
PmB 45/80-55_3	76.34	7.90	0.81	133.60	13.16	1.22
PmB 45/80-55_4	97.68	9.03	0.68	168.20	15.38	1.04
PmB 45/80-55_5	118.40	10.74	0.77	204.20	18.44	1.31

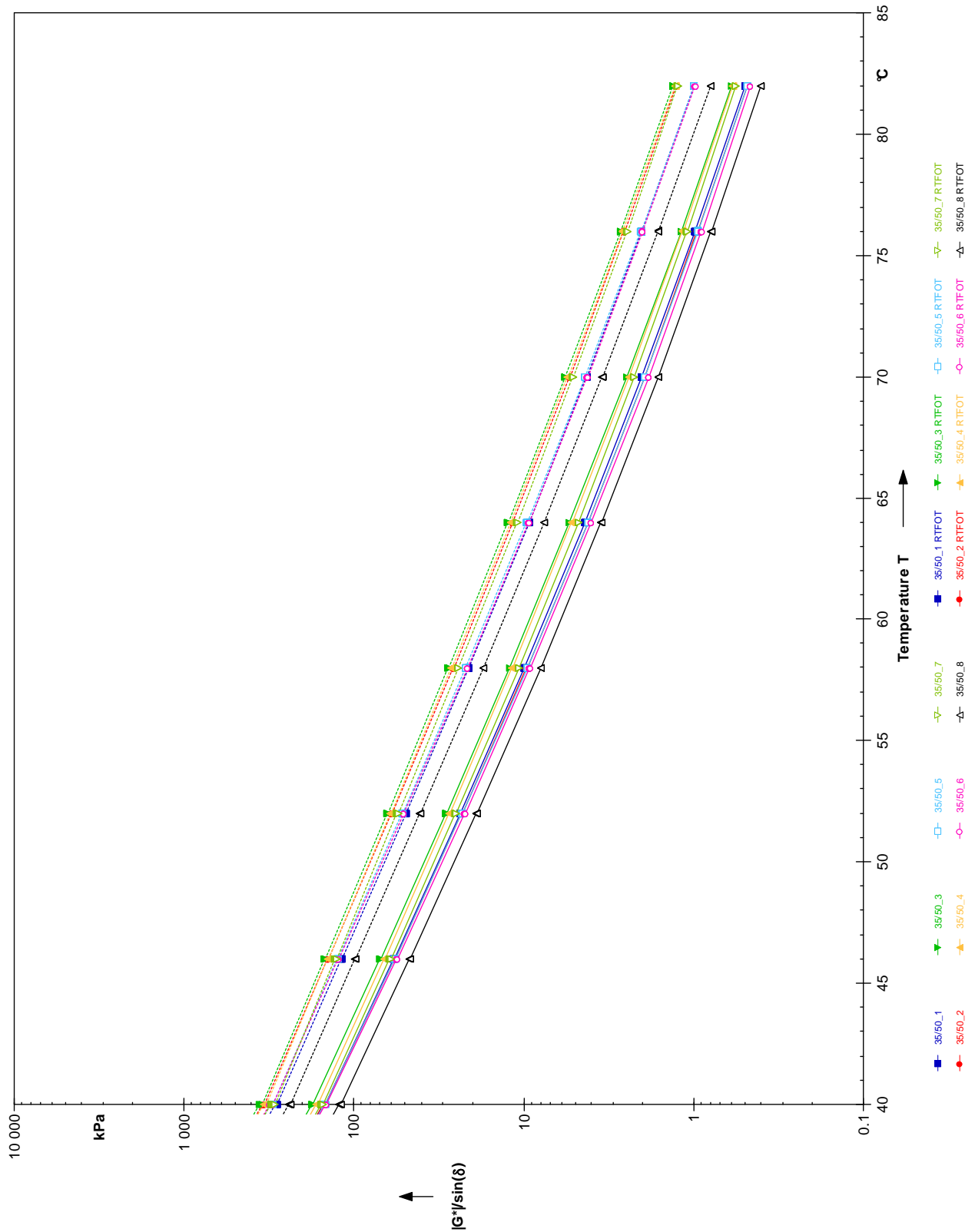
Parametr  $G^*/\sin\delta$  zgodnie z wymaganiami SHRP powinien wynosić w badaniu oryginalnego lepiszcza:  $G^*/\sin\delta \geq 1.00$  kPa, w badaniu lepiszcza po RTFOT:  $G^*/\sin\delta \geq 2.20$  kPa. Spełnienie tych warunków pozwala na określenie odporność lepiszcza na wysoką temperaturę, odkształcenia trwałe. Analizując wyniki badań zestawione w tabelicy 9-7 można stwierdzić, że wszystkie lepiszcza asfaltowe przed starzeniem spełniają w temperaturze 58°C warunek  $G^*/\sin\delta \geq 1.00$  kPa. W temperaturze 82°C

warunek ten spełniają tylko asfalty rodzaju 20/30 oraz polimeroasfalty PmB 25/55-60. Wyniki badania lepszczu po starzeniu RTFOT wskazują, że warunek  $G^*/\sin\delta \geq 2.20$  kPa spełniają wszystkie badane lepszczu w temperaturze 58°C. W temperaturze 82°C warunek ten, podobnie jak lepszczu przed starzeniem, spełniają tylko asfalty rodzaju 20/30 oraz polimeroasfalty PmB 25/55-60.

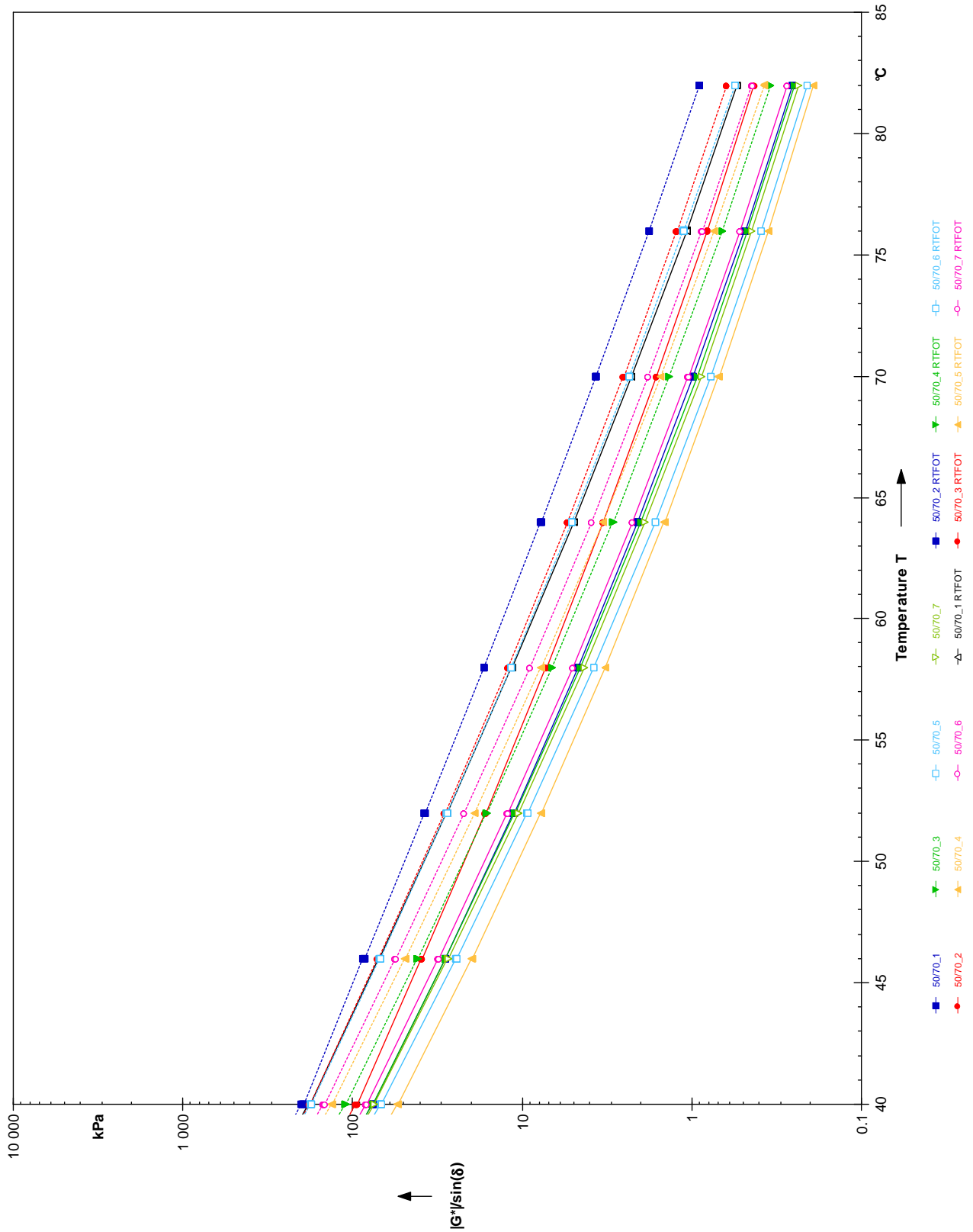
Badane asfalty obydwu producentów wykazują duże zróżnicowanie wyników badań zarówno przed jak i po starzeniu.



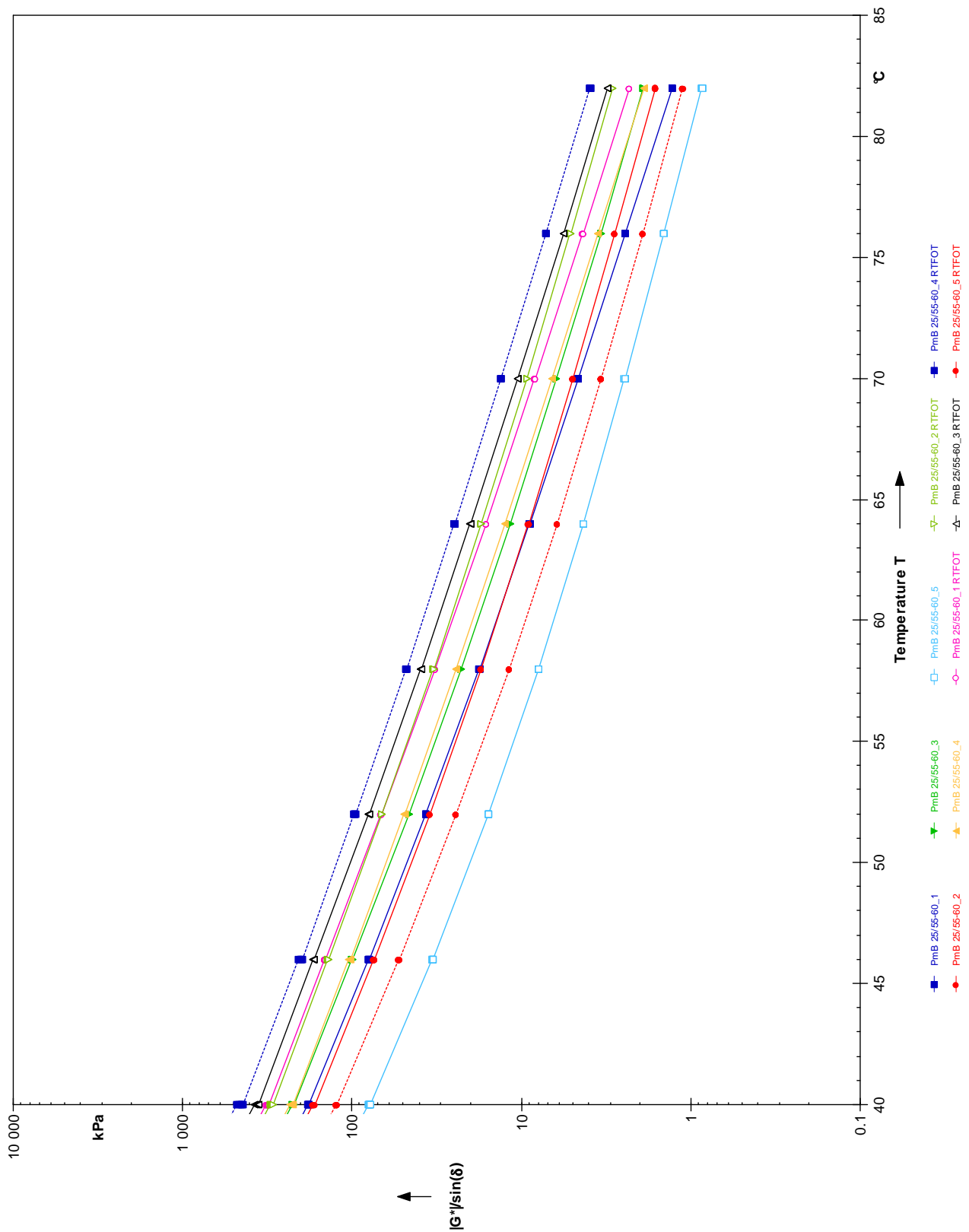
Rys. 9-31. Parametr sztywności  $G^*/\sin \delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 20/30 przed i po starzeniu RTFOT



Rys. 9-32. Parametr sztywności  $G^*/\sin \delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 35/50 przed i po starzeniu RTFOT

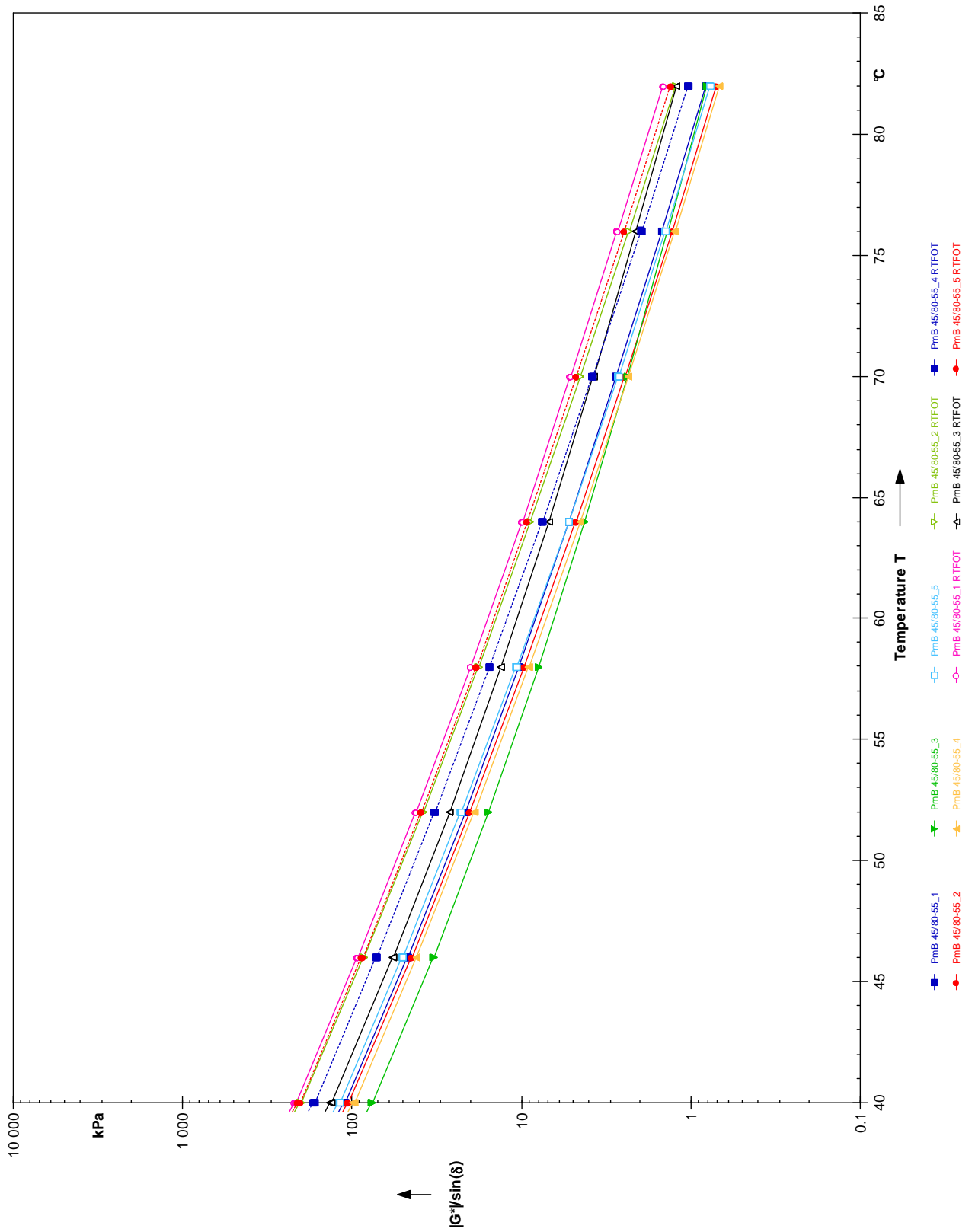


Rys. 9-33. Parametr sztywności  $G^*/\sin \delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 50/70 przed i po starzeniu RTFOT



Rys. 9-34. Parametr sztywności  $G^*/\sin \delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 25/55-60 przed i po starzeniu RTFOT





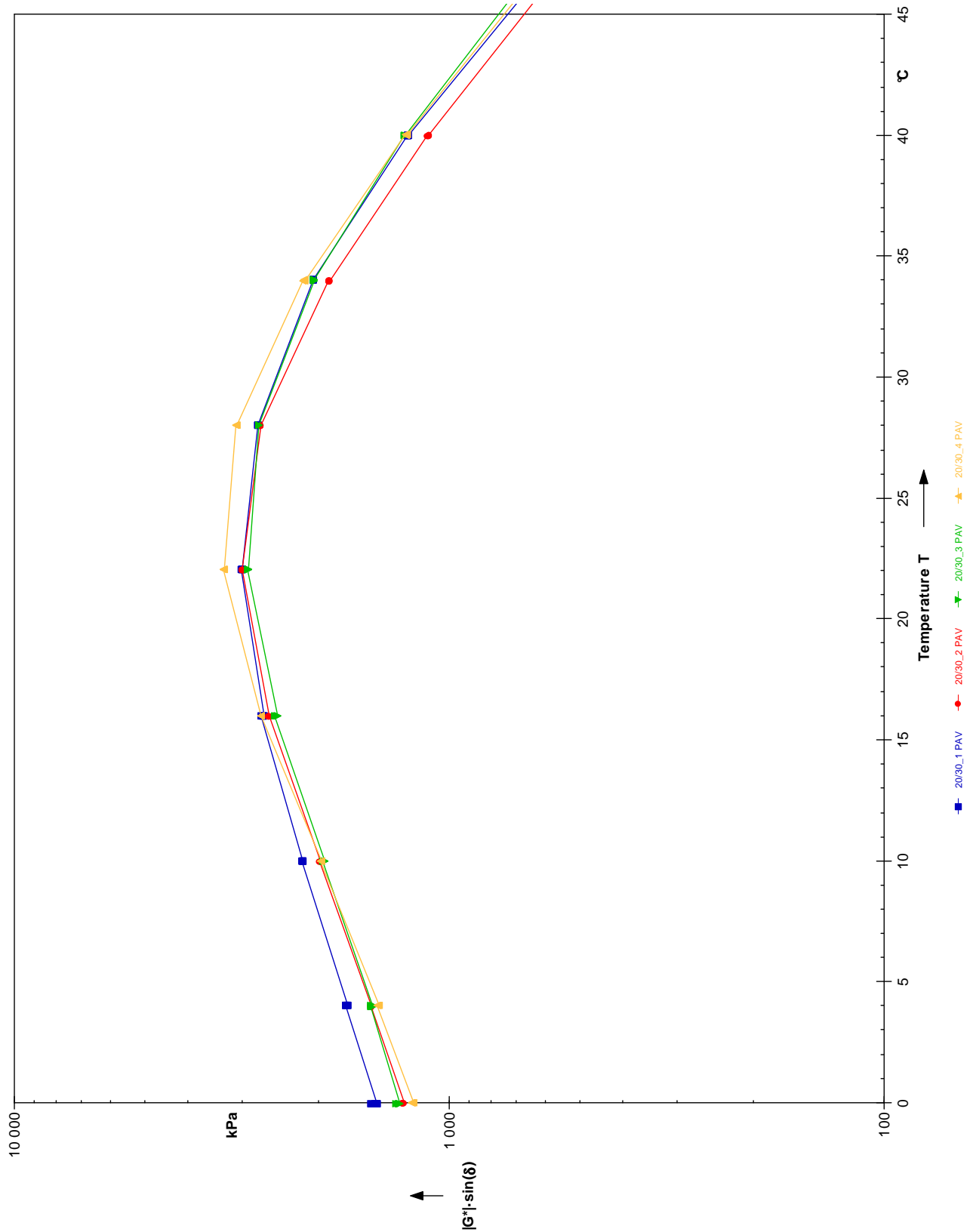
Rys. 9-35. Parametr sztywności  $G^*/\sin \delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 45/80-55 przed i po starzeniu RTFOT

Wyniki określenia odporności na zmęczenie  $G^* \cdot \sin \delta$  lepkości asfaltowych, zgodnie z procedurą SHRP, po starzeniu RTFOT i PAV w funkcji temperatury przedstawiono w tabelicy 9-8, a w formie graficznej w grupach twardości asfaltów na rysunkach 9-36 do 9-40.

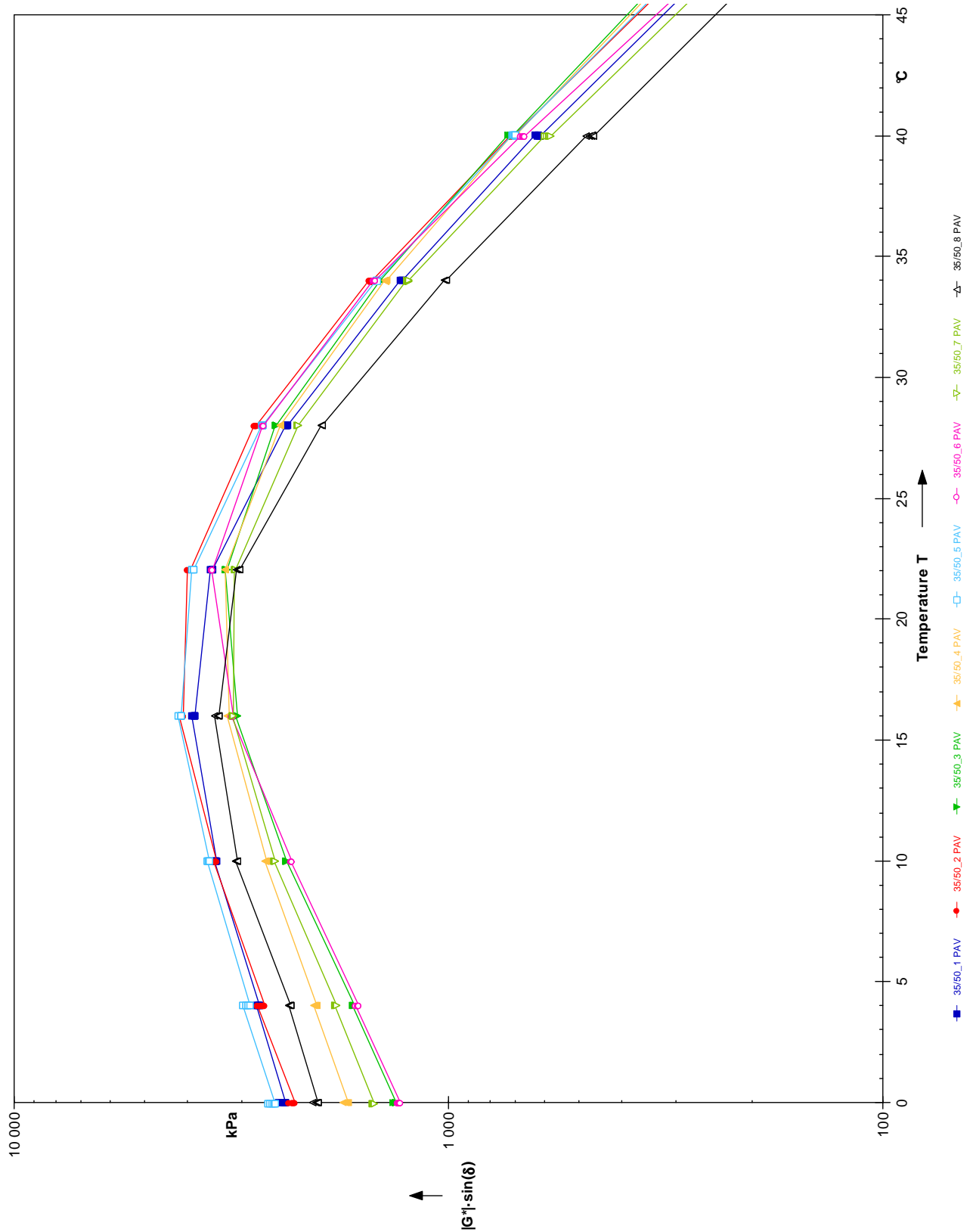
**Tabela 9-8. Wartości  $G^* \cdot \sin \delta$  lepkości asfaltowych po starzeniu RTFOT i PAV**

Rodzaj lepiscza	Wartość $G^* \cdot \sin \delta$ , [kPa]		
	Temperatura [°C]		
	0	22	40
20/30_1	1 476	2 998	1 248
20/30_2	1 276	2 992	1 114
20/30_3	1 308	2 896	1 266
20/30_4	1 216	3 298	1 254
35/50_1	2 404	3 498	622
35/50_2	2 286	3 950	713
35/50_3	1 324	3 246	720
35/50_4	1 722	3 266	704
35/50_5	2 550	3 870	706
35/50_6	1 300	3 496	672
35/50_7	1 488	3 098	591
35/50_8	2 016	3 040	470
50/70_1	1 482	3 206	421
50/70_2	2 068	2 608	490
50/70_3	2 914	3 540	450
50/70_4	1 980	3 358	289
50/70_5	2 566	3 918	356
50/70_6	1 762	3 154	416
50/70_7	1 684	3 574	382
PmB 25/55-60_1	2 202	3 158	535
PmB 25/55-60_2	2 042	3 300	615
PmB 25/55-60_3	2 514	3 200	658
PmB 25/55-60_4	1 476	2 680	549
PmB 25/55-60_5	1 938	2 864	225
PmB 45/80-55_1	2 400	2 770	351
PmB 45/80-55_2	1 422	3 088	389
PmB 45/80-55_3	2 268	3 478	298
PmB 45/80-55_4	2 118	2 752	330
PmB 45/80-55_5	3 228	2 810	350

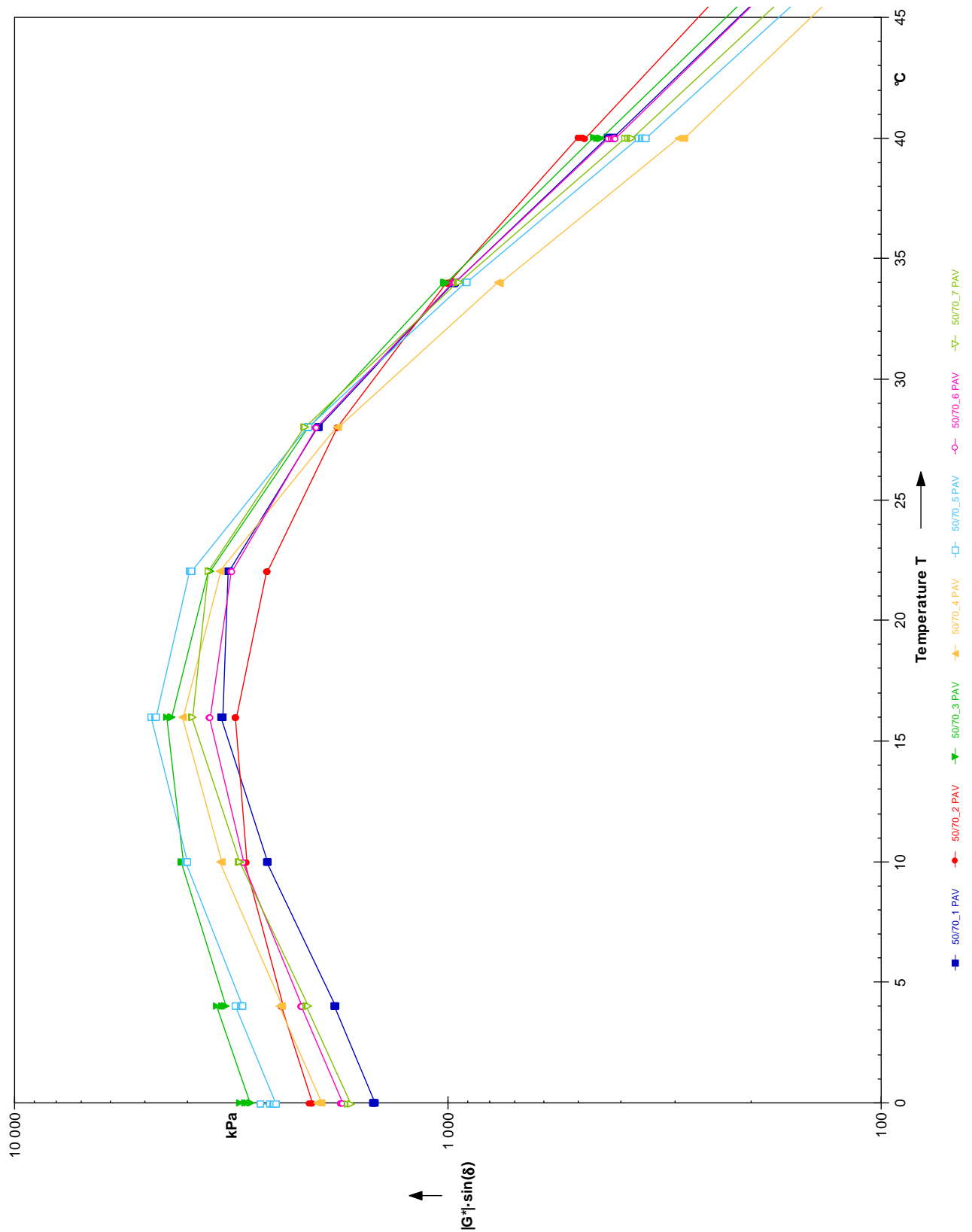
Zgodnie z wymaganiami SHRP parametr  $G^* \cdot \sin \delta$  powinien wynosić:  $G^* \cdot \sin \delta \leq 5000$  kPa. Parametr ten określany w średniej temperaturze eksploatacyjnej wskazuje na odporność lepiscza na zmęczenie. Można stwierdzić, że wyniki badań przedstawione w tabelicy 9-8 klasyfikują lepiscza asfaltowe jako wszystkie odporne na zmęczenie w zakresie temperatury od 0°C do 40°C. Brak zróżnicowania w odporności na zmęczenie pomiędzy poszczególnymi grupami twardości asfaltów oraz pomiędzy asfaltami i polimeroasfaltami, otrzymanymi według tej metodologii, nasuwa wątpliwość co do prawidłowości przyjętych kryteriów oceny wyników badań.



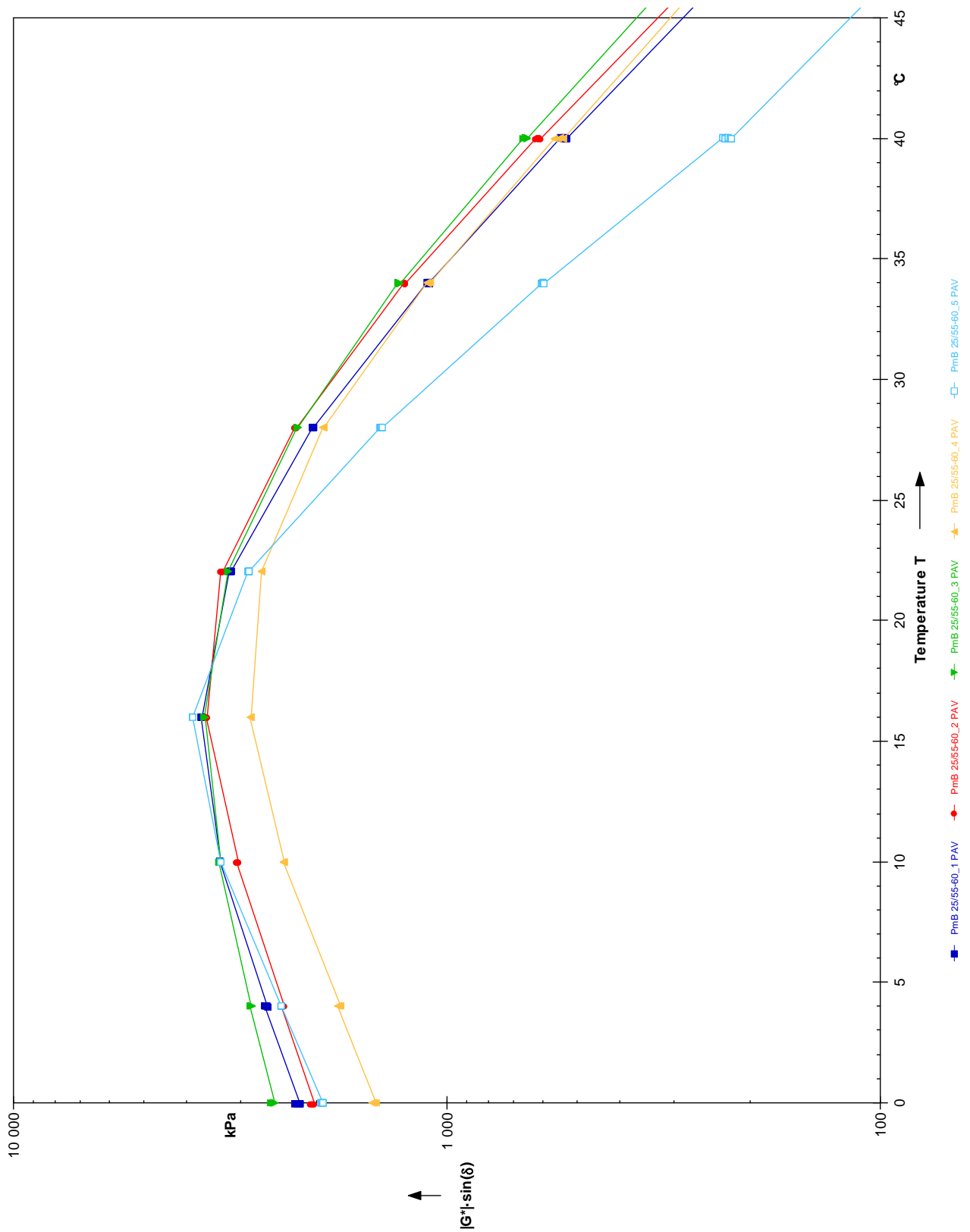
Rys. 9-36. Parametr  $G^* \cdot \sin \delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 20/30 po starzeniu RTFOT+PAV



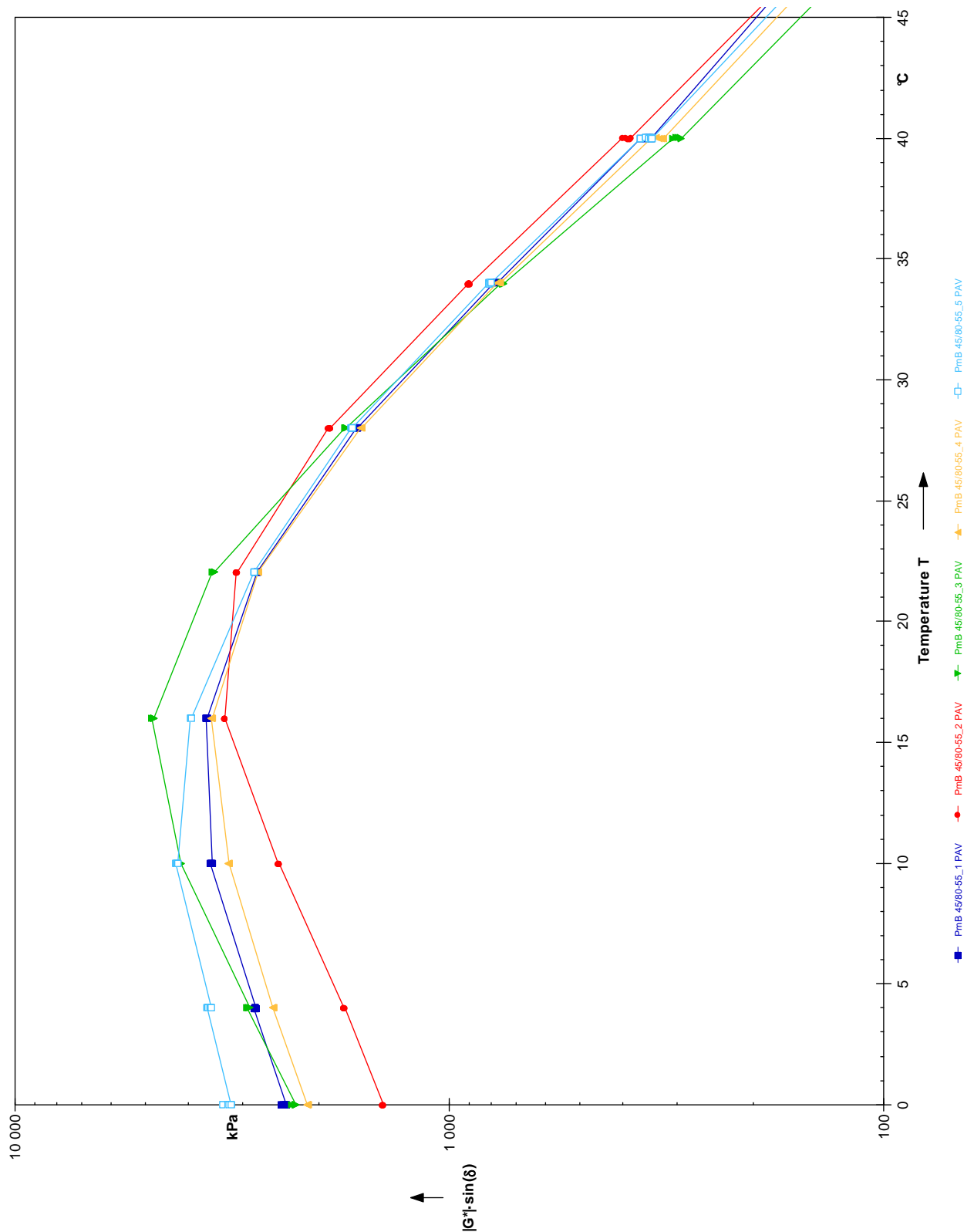
Rys. 9-37. Parametr  $G^* \cdot \sin \delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 35/50 po starzeniu RTFOT+PAV



Rys. 9-38. Parametr  $G^* \cdot \sin \delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 50/70 po starzeniu RTFOT+PAV



Rys. 9-39. Parametr  $G^* \cdot \sin \delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 25/55-60 po starzeniu RTFOT+PAV



Rys. 9-40. Parametr  $G^* \cdot \sin \delta$  w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 45/80-55 po starzeniu RTFOT+PAV

## 9.2 Badanie sztywności pełzania BBR

Wyniki badania modułu sztywności  $S$  w funkcji temperatury lepkości asfaltowych po starzeniu RTFOT i PAV w reometrze zginanej belki BBR przedstawiono w tabelicy 9-9, a w formie graficznej w grupach twardości lepkości na rysunkach 9-41 do 9-45.

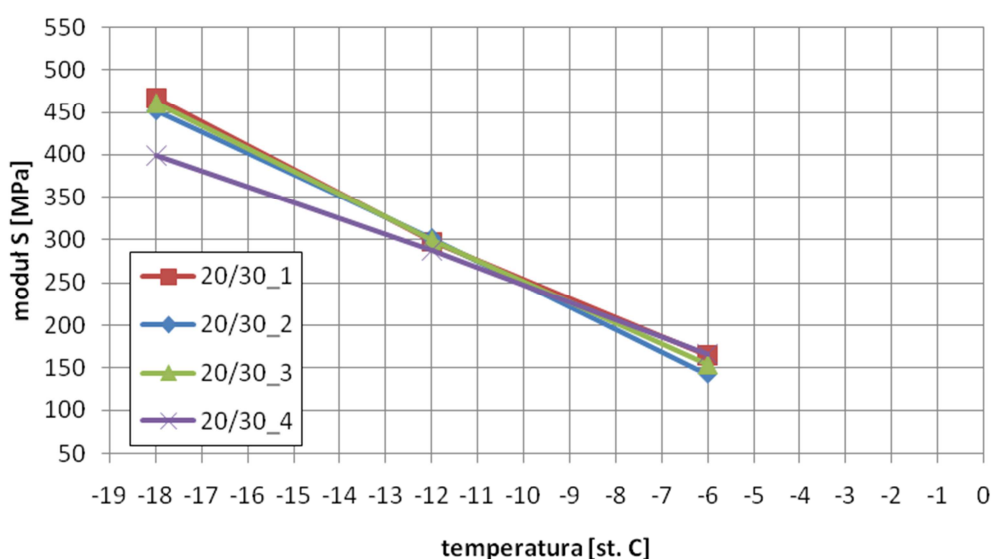
Tablica 9-9. Wartości modułu sztywności  $S$  lepkości asfaltowych po starzeniu RTFOT i PAV

lepiszczce	Moduł sztywności $S$ , [MPa]		
	Temperatura [°C]		
	-6	-12	-18
20/30_1	165.0	298.0	467.0
20/30_2	143.0	302.0	452.0
20/30_3	154.0	300.0	461.0
20/30_4	166.0	288.0	399.0
35/50_1	114.0	238.0	407.0
35/50_2	121.0	275.0	471.0
35/50_3	118.0	227.0	439.0
35/50_4	114.0	225.0	363.0
35/50_5	125.0	256.0	487.0
35/50_6	138.0	289.0	502.0
35/50_7	102.0	211.0	398.0
35/50_8	91.3	204.0	393.0
50/70_1	93.1	198.0	390.0
50/70_2	63.1	135.0	279.0
50/70_3	95.9	194.0	372.0
50/70_4	92.1	131.0	426.0
50/70_5	109.0	247.0	468.0
50/70_6	84.3	188.0	359.0
50/70_7	101.0	224.0	435.0
PmB 25/55-60_1	99.2	214.0	379.0
PmB 25/55-60_2	98.5	206.0	389.0
PmB 25/55-60_3	95.2	191.0	365.0
PmB 25/55-60_4	112.0	232.0	402.0
PmB 25/55-60_5	85.5	183.0	344.0
PmB 45/80-55_1	86.3	202.0	376.0
PmB 45/80-55_2	101.0	220.0	411.0
PmB 45/80-55_3	84.1	195.0	403.0
PmB 45/80-55_4	86.2	164.0	338.0
PmB 45/80-55_5	70.0	178.0	350.0

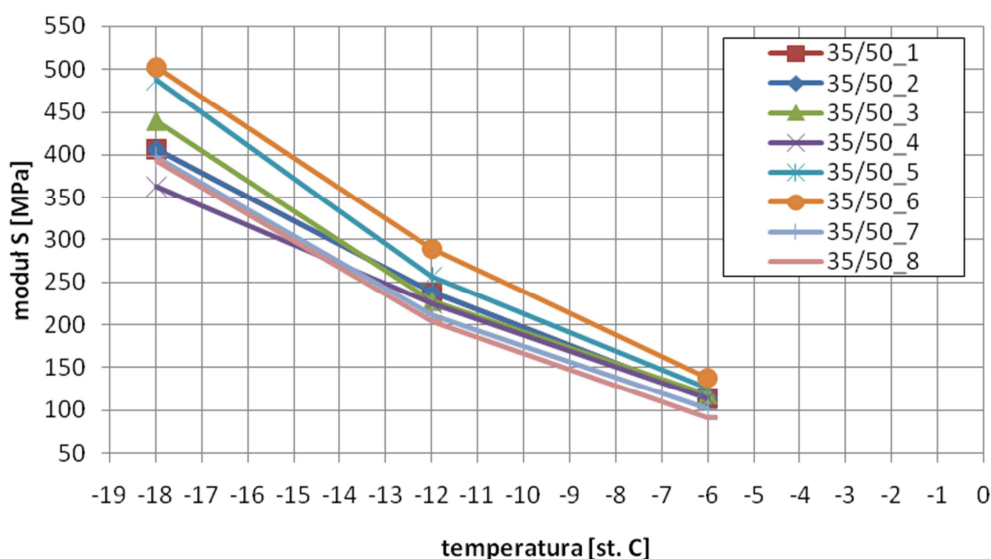
Zgodnie z wymaganiami SHRP moduł sztywności  $S$  lepkości asfaltowych po starzeniu technologicznym RTFOT i eksploatacyjnym PAV powinien wynosić:  $S \leq 300$  MPa. Wszystkie badane lepiszcza w temperaturze  $-12^{\circ}\text{C}$  spełniają wymagania modułu sztywności, który jest parametrem



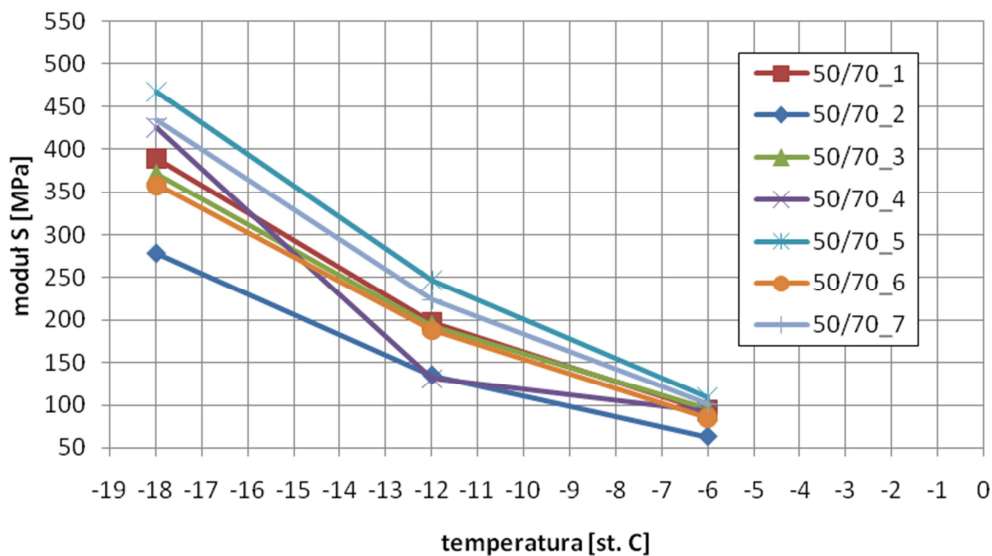
odporności na niskie temperatury (pękanie kruche). Należy jednak zaznaczyć, że asfalty rodzaju 20/30 mają wartości modułu S na poziomie wartości dopuszczalnych. W tej temperaturze polimeroasfalty mają wartości modułu sztywności porównywalne do asfaltów 50/70. W temperaturze  $-18^{\circ}\text{C}$  wszystkie asfalty wykazują znaczne usztywnienie przekraczające wartość 300 MPa. Odnosząc się do kryteriów ustalonych w programie SHRP można wnioskować, że wszystkie badane asfalty w temperaturze  $-18^{\circ}\text{C}$  będą ulegać kruchemu pękaniu. Można mieć wątpliwości, że wszystkie lepiszcza w tej temperaturze stają się ciałami kruchymi. Oceniając właściwości niskotemperaturowe lepiszczy asfaltowych, należy mieć na uwadze, że temperatura łamliwości wg Frassa jest od 10 do  $15^{\circ}\text{C}$  wyższa od rzeczywistej temperatury kruchości lepiszcza. Uzyskane wyniki badania temperatury łamliwości i temperatury sztywności pełzania określone w aparacie BBR wskazują, że nie istnieje taka zależność między tymi temperaturami, uwzględniając wymienioną zależność.



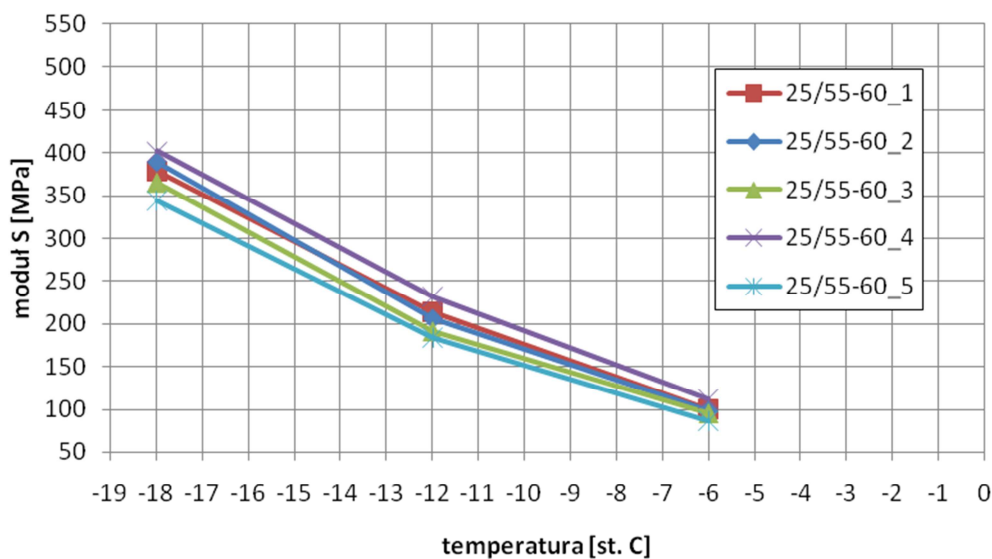
Rys. 9-41. Moduł sztywności w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 20/30



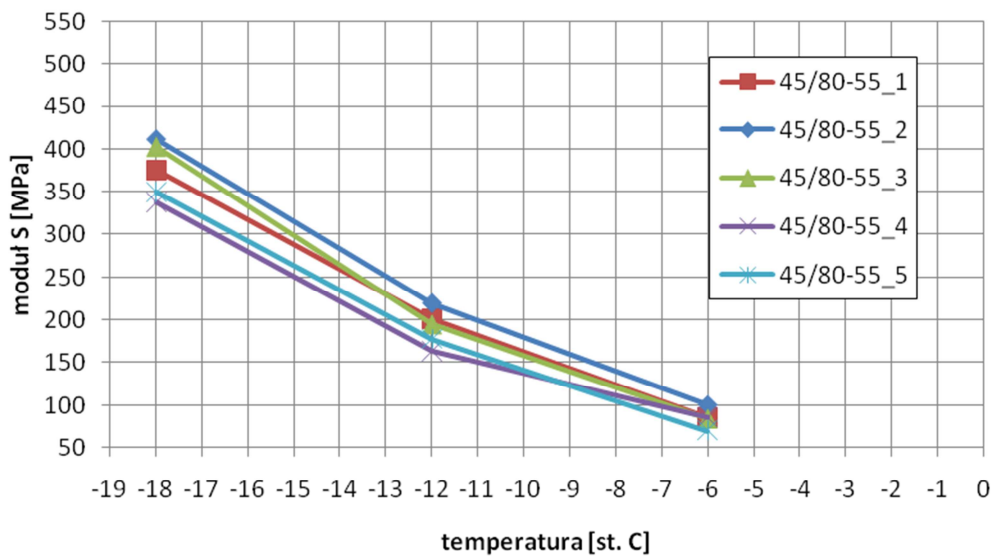
Rys. 9-42. Moduł sztywności w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 35/50



Rys. 9-43. Moduł sztywności w funkcji temperatury asfaltów rodzaju 50/70



Rys. 9-44. Moduł sztywności w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 25/55-60



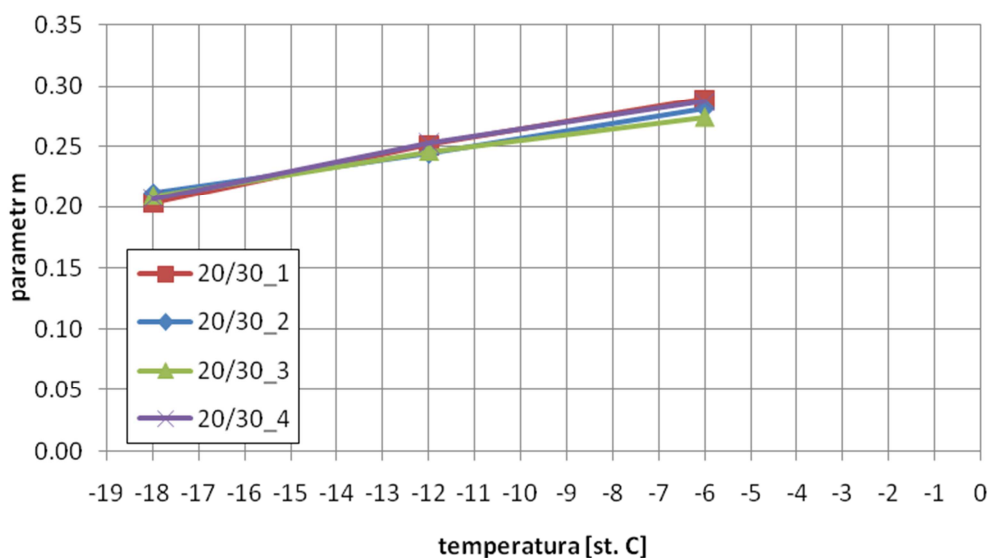
Rys. 9-45. Moduł sztywności w funkcji temperatury asfaltów rodzaju PmB 45/80-55

Wyniki określenia zmiany sztywności „m” lepkości asfaltowych po starzeniu RTFOT i PAV w reometrze zginanej belki BBR przedstawiono w tablicy 9-10, a w formie graficznej w grupach twardości asfaltów na rysunkach 9-46 do 9-50.

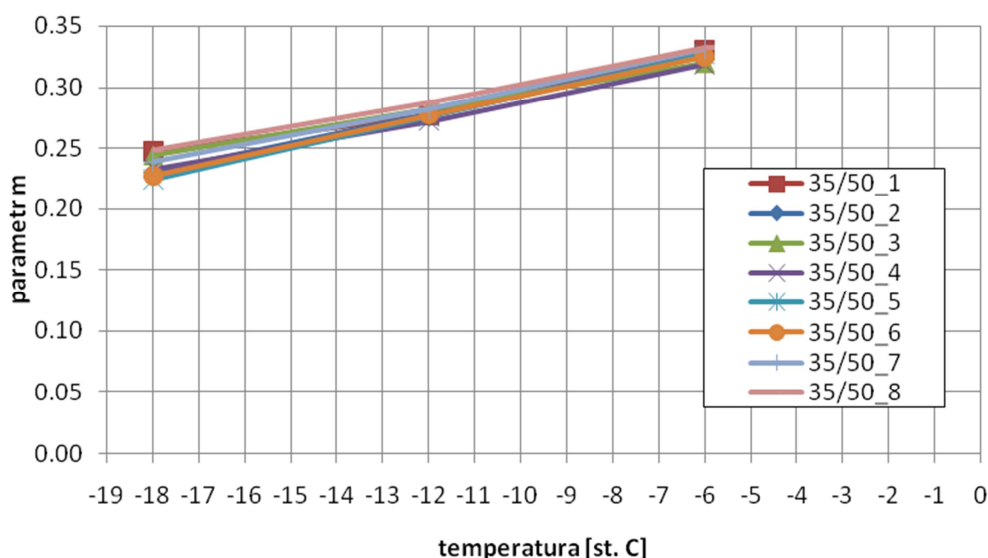
**Tablica 9-10. Wartości zmiany sztywności pelzania „m” lepszycy asfaltowych po starzeniu RTFOT i PAV**

Rodzaj lepszycza	Parametr zmiany sztywności pelzania m		
	Temperatura [°C]		
	-6	-12	-18
20/30_1	0.289	0.251	0.203
20/30_2	0.281	0.244	0.212
20/30_3	0.274	0.246	0.209
20/30_4	0.287	0.253	0.207
35/50_1	0.330	0.276	0.247
35/50_2	0.326	0.278	0.230
35/50_3	0.320	0.282	0.244
35/50_4	0.319	0.272	0.233
35/50_5	0.327	0.275	0.224
35/50_6	0.325	0.277	0.227
35/50_7	0.331	0.282	0.239
35/50_8	0.332	0.287	0.248
50/70_1	0.361	0.296	0.251
50/70_2	0.342	0.303	0.264
50/70_3	0.351	0.299	0.257
50/70_4	0.386	0.291	0.243
50/70_5	0.363	0.299	0.237
50/70_6	0.360	0.297	0.247
50/70_7	0.362	0.309	0.253
PmB 25/55-60_1	0.312	0.264	0.228
PmB 25/55-60_2	0.336	0.278	0.240
PmB 25/55-60_3	0.310	0.274	0.236
PmB 25/55-60_4	0.324	0.267	0.231
PmB 25/55-60_5	0.336	0.282	0.243
PmB 45/80-55_1	0.350	0.285	0.248
PmB 45/80-55_2	0.347	0.294	0.244
PmB 45/80-55_3	0.370	0.310	0.267
PmB 45/80-55_4	0.339	0.292	0.247
PmB 45/80-55_5	0.365	0.313	0.259

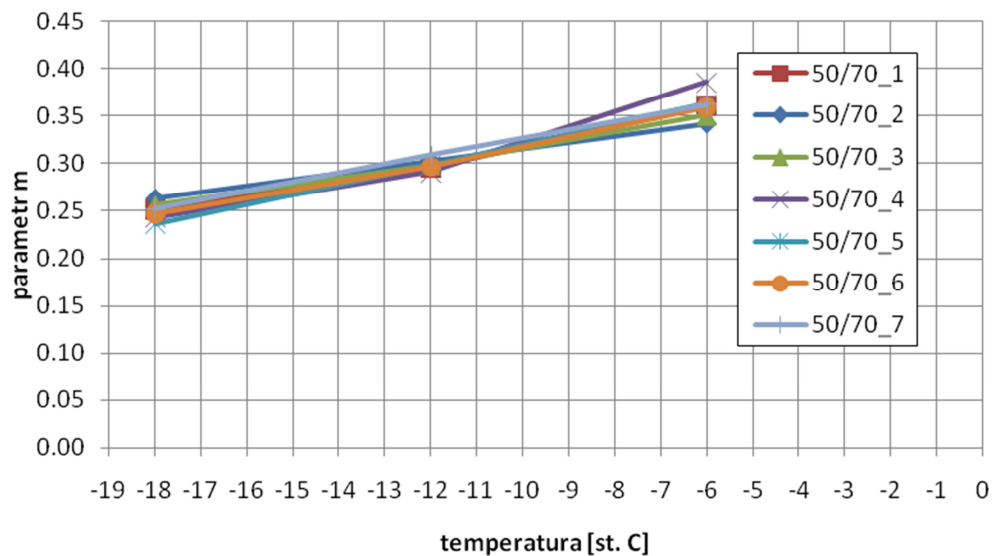
Zgodnie z wymaganiami SHRP określony parametr  $m$ , będący miarą zmiany sztywności pełzania, powinien dla lepizczy asfaltowych po starzeniu RTFOT+PAV wynosić;  $m \geq 0.3$ . Analizując wyniki badań zawarte w tablicy 9-10 i ich zgodność z kryteriami SHRP należy stwierdzić, że asfalty drogowe i polimeroasfalty spełniają to kryterium tylko w temperaturze  $-6^{\circ}\text{C}$ . Asfalty rodzaju 20/30 nie spełniają wymagań nawet w temperaturze  $-6^{\circ}\text{C}$ . W temperaturze  $-12^{\circ}\text{C}$  tylko asfalty rodzaju 50/70 mają wartości parametru  $m$  zbliżone do  $m=0.3$ . Polimeroasfalty PmB 45/80-55 wykazuje w temperaturze  $-12^{\circ}\text{C}$  wartości  $m$  zbliżone lub nieco wyższe od wymaganej wartości 0.3. Klasyfikując lepizcza na podstawie wyników badania modułu  $S$  i parametru  $m$  można stwierdzić, że dają one sprzeczne informacje dotyczące właściwości w ujemnych temperaturach.



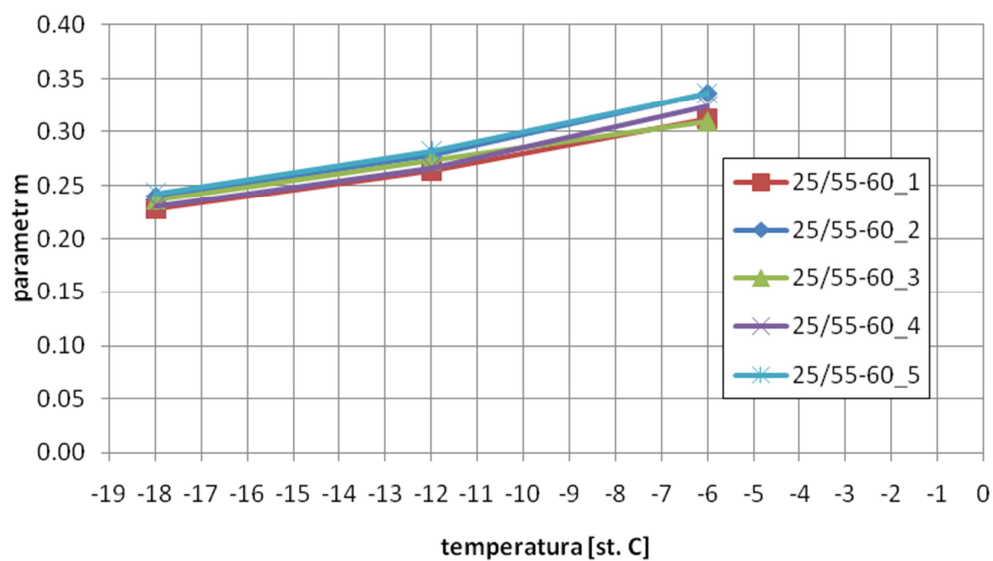
Rys. 9-46. Zmiana sztywności pełzania asfaltów rodzaju 20/30



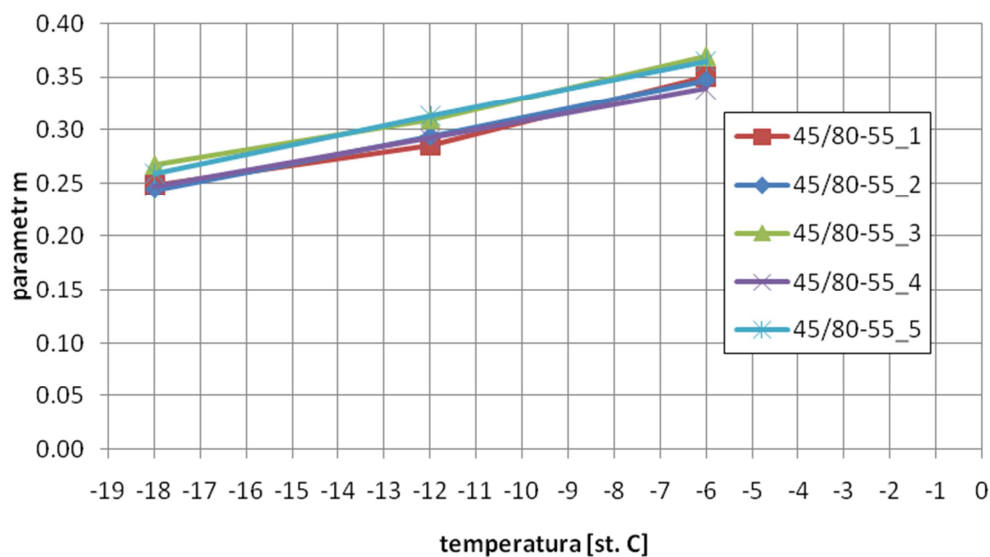
Rys. 9-47. Zmiana sztywności pełzania asfaltów rodzaju 35/50



Rys. 9-48. Zmiana sztywności pelzania asfaltów rodzaju 50/70



Rys. 9-49. Zmiana sztywności pelzania asfaltów rodzaju PmB 25/55-60



Rys. 9-50. Zmiana sztywności pelzania asfaltów rodzaju PmB 45/80-55

### 9.3 Temperaturowy zakres lepkosprężystości lepiszczy asfaltowych

Na podstawie pomiarów temperatury mięknięcia wg PiK oraz temperatury łamliwości wg Frassa można wyznaczyć temperaturowy zakres plastyczności. Zakres plastyczności nie daje pełnej informacji dotyczącej udziału części lepkiej i sprężystej w lepiszczu w zakresie temperatur eksploatacyjnych. Z tego względu właściwszą oceną jest stosowanie zamiast temperaturowego zakresu plastyczności określenie temperaturowego zakresu lepkosprężystości określonego na podstawie zmiany wartości tangensa kąta przesunięcia fazowego w funkcji temperatury. Do określenia tego zakresu stosuje się metody badań pozwalające na określenie stanu szklanego (kruchego) lepiszcza w ujemnych temperaturach a w temperaturach dodatnich określenie temperatury, w której lepiszcze przechodzi w stan cieczy newtonowskiej. W ten sposób wyznaczony temperaturowy zakres lepkosprężystości jest większy od 10 do 200°C od temperaturowego zakresu plastyczności.

Do określenia zakresu lepkosprężystości wykorzystano wyniki badania temperatury pęknięcia kruchego określonej na podstawie pomiarów BBR (dolny zakres). Do określenia górnego zakresu lepkosprężystości wykorzystano temperaturę płynięcia lepkiego określoną w reometrze DSR. Wyniki określenia temperaturowego zakresu lepko sprężystości lepiszczy asfaltowych oraz rodzaj funkcjonalny PG podano w tablicy 9-11.

**Weryfikacja wymagań i metod oceny właściwości lepkosprężystych krajowych asfaltów i asfaltów modyfikowanych**

**Tablica 9-11. Temperaturowy zakres lepkosprężystości**

Rodzaj lepiszcza	Temp. łamliwości wg Frassa	Temp. pękania kruchego wg BBR	Temp. mięknięcia wg PİK	Temp. płynięcia lepkiego wg DSR	Zakres plastyczności	Zakres lepkosprężystości	Rodzaj funkcjonalny PG
20/30_1	-11	-14	62.1	82	73.1	96	PG 82 - 10
20/30_2	-11	-12	61.6	82	72.6	94	PG 82 - 10
20/30_3	-6	-14	63.0	82	69.0	96	PG 82 - 10
20/30_4	-6	-14	61.8	82	67.8	96	PG 82 - 10
35/50_1	-21	-19	54.2	70	75.2	89	PG 70 - 16
35/50_2	-18	-18	54.1	70	72.1	88	PG 70 - 16
35/50_3	-16	-18	56.4	70	72.4	88	PG 76 - 16
35/50_4	-11	-18	55.2	76	66.2	94	PG 76 - 16
35/50_5	-12	-18	54.0	70	66.0	88	PG 70 - 16
35/50_6	-11	-18	54.2	70	65.2	88	PG 70 - 16
35/50_7	-9	-19	56.4	76	65.4	95	PG 76 - 16
35/50_8	-10	-20	53.6	70	63.6	90	PG 70 - 16
50/70_1	-12	-21	50.0	64	62.0	85	PG 64 - 16
50/70_2	-14	-22	53.2	70	67.2	92	PG 70 - 22
50/70_3	-23	-21	50.0	64	73.0	85	PG 64 - 16
50/70_4	-17	-21	47.5	64	64.5	85	PG 64 - 16
50/70_5	-14	-21	48.5	64	62.5	85	PG 64 - 16
50/70_6	-16	-21	49.7	76	65.7	97	PG 70 - 16
50/70_7	-11	-22	49.3	64	60.3	86	PG 64 - 22
PmB 25/55-60_1	-11	-17	64.8	82	75.8	99	PG 82 - 16
PmB 25/55-60_2	-16	-19	66.3	82	82.3	101	PG 82 - 16
PmB 25/55-60_3	-17	-17	69.6	82	86.6	99	PG 82 - 16
PmB 25/55-60_4	-10	-18	59.4	82	69.4	100	PG 82 - 16
PmB 25/55-60_5	-22	-19	60.7	76	82.7	95	PG 76 - 16
PmB 45/80-55_1	-14	-20	57.9	76	71.9	96	PG 76 - 16
PmB 45/80-55_2	-11	-21	56.1	76	67.1	97	PG 76 - 16
PmB 45/80-55_3	-18	-23	62.1	76	80.1	99	PG 76 - 22
PmB 45/80-55_4	-11	-20	56.4	70	67.4	90	PG 70 - 16
PmB 45/80-55_5	-15	-23	61.9	70	76.9	93	PG 70 - 22

Analizując wyniki temperatury pękania kruchego określone na podstawie badań w aparacie BBR (dolny zakres rodzaju PG) należy stwierdzić, że badane lepiszcza wykazują niekorzystne wartości, zbyt wysokie w stosunku do minimalnych temperatur wymaganych do stosowania w warunkach klimatycznych Polski (do warstwy ścieralnej od - 28 do - 34°C). Wyznaczone na podstawie badania DSR temperatury płynięcia lepkiego wskazują na wysoką odporność lepiszczy na odkształcenia trwałe.



## 10 ANALIZA METOD POMIAROWYCH STOSOWANYCH DO OCENY FUNKcjONALNYCH WŁAŚCIWOŚCI LEPIszczy ASFALTOWYCH

Przeprowadzono analizę przydatności metod pomiarowych do oceny właściwości lepiszczy asfaltowych w niskich temperaturach eksploatacyjnych (odporność na spękania niskotemperaturowe), średnich temperaturach eksploatacyjnych (odporność na zmęczenie), w wysokich temperaturach eksploatacyjnych (odporność na odkształcenia stałe) i w temperaturach technologicznych (urabialność, wytwarzanie, transport i zagęszczanie mieszanki mineralno-asfaltowej). Ponadto oceniono również trwałość lepiszczy przez odporność lepiszczy na starzenie i adhezję lepiszczy do kruszywa. Oceniono również przydatność metody badania mikrostruktury polimeroasfaltów oraz składu grupowego asfaltów drogowych do oceny struktury lepiszczy.

### 10.1 Metody badań do oceny właściwości lepiszczy w niskich temperaturach

Do oceny niskotemperaturowych właściwości asfaltu zastosowano metodę Frassa zalecaną przez wymagania krajowe do normy PN-EN 12591 oraz metodę zginanej belki BBR zalecaną przez SHRP.

Temperatura łamliwości lepiszcza asfaltowego określona metodą Frassa nie odpowiada temperaturze, przy której lepiszcze traci całkowicie właściwości termoplastyczne i tę temperaturę należy uznać za umowną. Praktycznie w tej temperaturze lepiszcze ma penetrację 1.25x0.1 mm. Asfalt w temperaturze około 10°C poniżej temperatury łamliwości staje się wrażliwy na uderzeni (pęka) a dopiero w temperaturze około 20°C niższej od temperatury łamliwości może pękać samoistnie pod wpływem skurczów termicznych. Według prof. Mączyńskiego takie zachowanie się asfaltu nie daje poglądu na przejście asfaltu ze stanu termoplastycznego w stan ciała sprężystego. Stanem, w którym asfalt przechodzi w stan ciała sprężystego jest tzw. stan „szklistości”, w którym asfalt staje się twardy a uderzony kruszy się i pęka dając przełom muszlowy. Badanie temperatury łamliwości wg Frassa jest często krytykowane ze względu na złą powtarzalność i odtwarzalność wyników. Wyniki badań własnych wskazują, że określanie temperatury łamliwości może być ustalone na podstawie odczytu z Karty BTDC dla penetracji wynoszącej 1.25x0.1 mm.

W programie badań SHRP do oceny zachowania się asfaltu w niskich temperaturach stosuje się badanie sztywności pełzania w reometrze zginanej belki BBR. W punkcie 4.2.1 omówiono metodykę badań BBR oraz kryteria oceny asfaltów na podstawie tego badania. Należy stwierdzić, że obowiązujące w USA kryteria oceny wg Superpave próbuje się włączyć do wymagań norm europejskich dla asfaltów twardych (PN-EN 13924) i polimeroasfaltów (PN-EN 14023). Proponowane kryteria oceny wg norm europejskich dla asfaltów modyfikowanych są inne niż przyjęte w programie SHRP (określenie sztywności w temperaturze – 16°C w aparacie BBR). Według normy PN –EN 13924 dla twardych asfaltów przyjęto metodykę badań właściwości niskotemperaturowych zgodną z metodyką SHRP. W obu przypadkach potrzebne jest ustalenie kategorii wymagań.

Na podstawie wyników badań właściwości niskotemperaturowych asfaltów określonych w reometrze zginanej belki BBR i obliczonych wartości PG (rozdział 9) należy stwierdzić, że do otrzymanych wartości można mieć zastrzeżenia. Otrzymane temperatury dolnego przedziału funkcjonalnego są zbyt wysokie, w wielu przypadkach ich wartości są porównywalne z temperaturą łamliwości wg Frassa i nie pozwalają na określenie rzeczywistej odporności badanych lepiszczy na niskie temperatury.

Bardziej miarodajnym kryterium oceny odporności lepiszczy na niskie temperatury może być moduł zespolony i kąt przesunięcia fazowego między odkształceniem i naprężeniem w badaniu pod obciążeniem dynamicznym w ujemnych temperaturach. Stosowana aparatura zgodnie z metodyką SHRP nie pozwala na określenie rzeczywistej temperatury kruchości lepiszcza.

## 10.2 Metody badań do oceny właściwości lepiszczy w średnich temperaturach

Do oceny właściwości lepiszczy asfaltowych w średnich temperaturach można stosować następujące badania:

- penetracji w funkcji temperatury,
- modułu sztywności w funkcji temperatury,
- parametry dynamicznego ścinania DSR zgodnie z wymaganiami Superpave,
- nawrotu sprężystego.

Na podstawie otrzymanych wyników badań asfaltów i lepiszczy modyfikowanych można stwierdzić, że do kryteriów oceny odporności na zmęczenie wg Superpave można mieć zastrzeżenia, gdyż nie pozwalają na zróżnicowanie asfaltów w grupach twardości oraz nie odróżniają asfaltów i polimeroasfaltów. Dobrą ocenę w średnich temperaturach eksploatacyjnych można uzyskać na podstawie badania penetracji w funkcji temperatury. Wyniki badań penetracji pozwalają na obliczenie wrażliwości temperaturowej i indeksu penetracji. Te parametry istotnie różnicują asfalty i asfalty modyfikowane pod względem ich zachowania w średnich temperaturach eksploatacyjnych.

Podobną ocenę właściwości lepiszczy asfaltowych można otrzymać analizując wyniki badania modułu sztywności w funkcji temperatury.

Metodą, która różnicuje asfalty modyfikowane polimerami pod względem ich właściwości lepkosprężystych jest badanie nawrotu sprężystego w temperaturze 25°C. Jest to podstawowa metoda pozwalająca na odróżnienie polimeroasfaltów od asfaltów niemodyfikowanych i asfaltów modyfikowanych w niewłaściwy sposób (zła mikrostruktura).

Nawiązując do zaproponowanej metodyki badań w normie PN-EN asfaltów twardych (PN-EN 13924) wzorowanej na metodach Superpave należy stwierdzić, że istnieje potrzeba prowadzenia prac badawczych nad ustaleniem ostatecznych wymagań ( $G^*$  w temperaturze 15°C przy częstotliwości 10 Hz – metodyka badania DSR). Podobną metodykę badawczą należałoby wprowadzić dla asfaltów drogowych. Do oceny właściwości asfaltów modyfikowanych w średnich temperaturach eksploatacyjnych proponuje się zgodnie z normą PN-EN 14023 korzystne rozszerzenie zakresu temperatur badania energii odkształcenia (7°C, 13°C, 25°C).

## 10.3 Metody badań do oceny właściwości lepiszczy w wysokich temperaturach

Do oceny właściwości lepiszczy asfaltowych w wysokich temperaturach można stosować następujące badania:

- badanie konsystencji metodą pomiaru temperatury mięknięcia metodą PiK,
- badanie modułu zespolonego i kąta przesunięcia fazowego  $\delta$  w funkcji temperatury,
- badanie w aparacie DSR zgodnie z metodą Superpave.

Na podstawie otrzymanych wyników badań laboratoryjnych należy stwierdzić, że wszystkie wymienione metody badań pozwalają na ocenę właściwości odkształceniowych lepiszczy asfaltowych w wysokich temperaturach eksploatacyjnych. Należy korzystnie ocenić pomiar konsystencji asfaltów i lepiszczy modyfikowanych metodą PiK ze względu na dostępną aparaturę, doświadczenie personelu, powtarzalność i odtwarzalność wyników badań. Dla asfaltów drogowych (również asfaltów twardych)

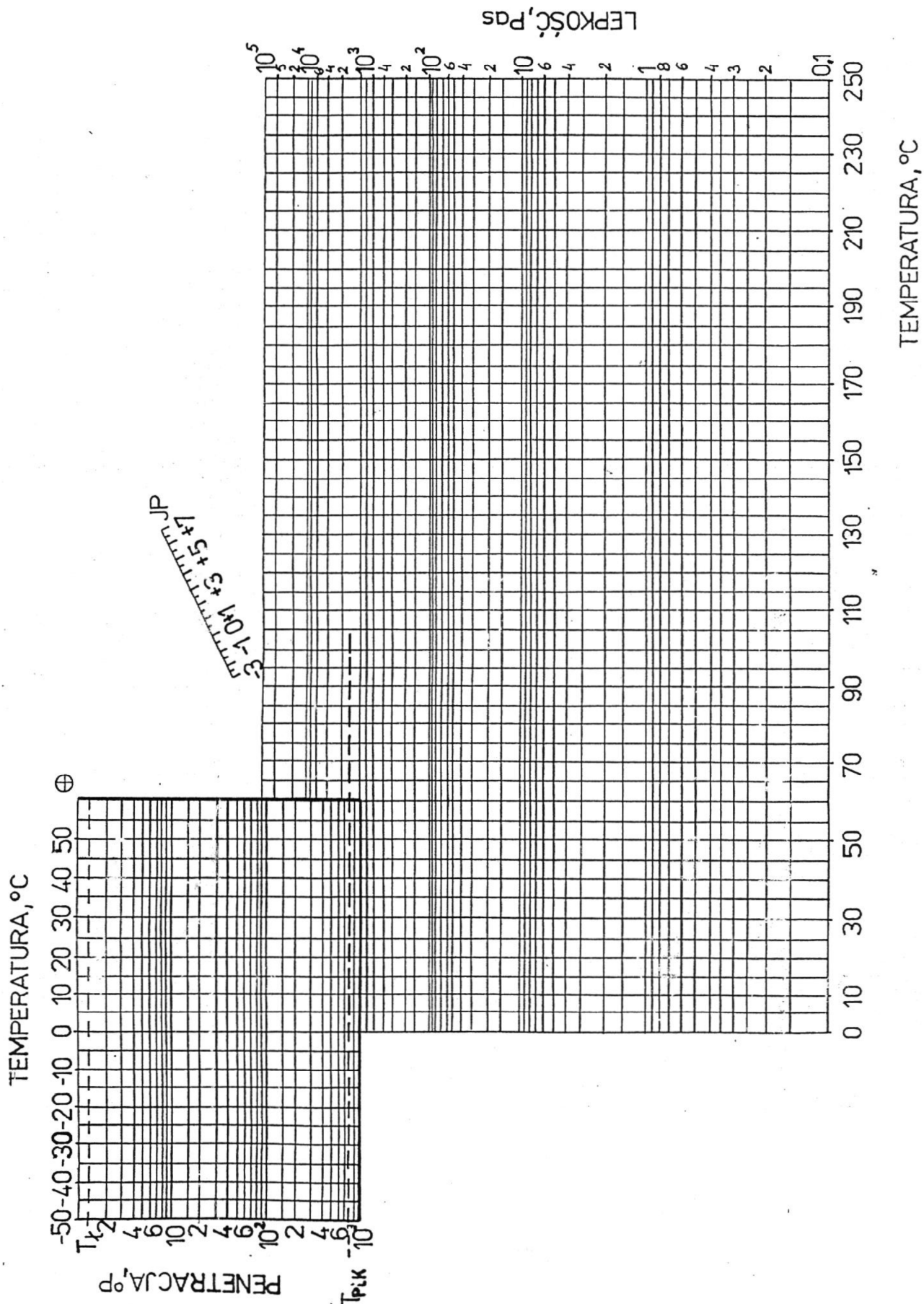
kryteria oceny przyjęte w programie SHRP (określenie  $G^*/\sin\delta$ ) należy uznać, że w istotny sposób różnicują asfalty ze względu na koleinowanie. Równie korzystnie można określić propozycję oceny asfaltów modyfikowanych przez pomiar modułu zespolonego i kąta przesunięcia fazowego w 60°C.

#### 10.4 Metody badań do oceny właściwości lepiszczy w temperaturach technologicznych

Do oceny właściwości lepiszczy asfaltowych w temperaturach technologicznych stosuje się badanie lepkości w funkcji temperatury. Nanosząc wyniki badania lepkości lepiszczy na wykres Karty Jakości BTDC (rysunek 10-1) możemy określić następujące temperatury technologiczne: temperaturę otaczania (wytwarzania mieszanki mineralno-asfaltowej), temperaturę pompowania lepiszcza (transportu) oraz końcową temperaturę zagęszczania mieszanki mineralno-asfaltowej. Ponadto na podstawie lepkości określonej w temperaturze 135°C można wnioskować o urabialności mieszanki mineralno-asfaltowej podczas zagęszczania.

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych można stwierdzić, że przyjęty przez Superpave wiskozymetr rotacyjny Brookfielda do pomiaru lepkości dynamicznej jest niezawodną aparaturą do oceny temperatur technologicznych na podstawie wykresu BTDC.

Ze względów bezpieczeństwa norma PN-EN przewiduje badanie temperatury zapłonu lepiszcza asfaltowego. Na podstawie wyników badania temperatury zapłonu w aparacie Clevelanda należy stwierdzić, że wyniki badanych lepiszczy znacznie przewyższają wymagania normowe. Badanie to powinno być wykonywane jedynie u producentów lepiszczy przy zmianie technologii produkcji.



Rys. 10-1. Karta Jakości Asfaltu BTDC

## 10.5 Metody badań do oceny trwałości lepkości asfaltowych oraz składu grupowego i mikrostruktury

### 10.5.1 Trwałość lepkości asfaltowych

Trwałość lepkości asfaltowych nawierzchni drogowej jest związana z odpornością lepkości na starzenie technologiczne i eksploatacyjne. Na podstawie wyników badań laboratoryjnych asfaltów i polimeroasfaltów można stwierdzić, że metody starzenia RTFOT i PAV pozwalają na ocenę odporności lepkości na starzenie, istotnie różnicując asfalty drogowe i polimeroasfalty pod tym względem. Szczególnie przydatne do oceny odporności na starzenie wg PN-EN jest określenie pozostałej penetracji i wzrostu temperatury mięknięcia po RTFOT. Badanie starzenia eksploatacyjnego PAV jest niezbędne przy ocenie właściwości lepkości asfaltowych w niskich temperaturach i ocenie trwałości zmęczeniowej na podstawie przyjętej metodyki w badaniach SHRP.

Metoda butelkowa oceny powinowactwa (adhezji) lepkości do kruszywa jest metodą, w której otoczone kruszywo poddawane jest niszczącym czynnikom, oprócz odmywania błonki lepkości przez wodę, intensywnemu mechanicznemu ścieraniu ziaren kruszywa między sobą, uderzeń o ścianki naczynia jak również ścieraniu podczas mechanicznego mieszania w obecności wody. Przyjęta metodologia w tym badaniu jest bardziej zbliżona do rzeczywistych warunków odmywania błonki lepkości z ziaren kruszywa przez wodę w porównaniu do metody gotowania. Należy stwierdzić, że brak jest w normie PN-EN kryteriów oceny powinowactwa lepkości do kruszywa.

### 10.5.2 Skład grupowy

Określenie składu grupowego pozwala na ocenę właściwości reologicznych lepkości asfaltowych. Oznaczenie to jest ważne dla asfaltów drogowych. W przypadku lepkości modyfikowanych nie zaleca się wykonywania takiego badania (rozdział 6.4).

### 10.5.3 Mikrostruktura

Badanie mikrostruktury jest jedynym badaniem, które pozwala na ocenę stopnia rozproszenia polimeru w asfalcie, decydującym o właściwościach reologicznych lepkości modyfikowanych. Badanie to jest bardzo ważne do oceny jakości polimeroasfaltów, szczególnie gdy obecnie brak jest wiedzy na temat rodzaju stosowanego dodatku polimeru oraz ilości modyfikatora.

## 11 PROPOZYCJA WYMAGAŃ ORAZ WYTYCZNYCH DO OCENY WŁAŚCIWOŚCI FUNKCJONALNYCH LEPKOŚCI STOSOWANYCH DO NAWIERZCHNI ASFALTOWYCH

Na podstawie uzyskanych wyników badań laboratoryjnych lepkości asfaltowych i analiz wybrano istotne właściwości pozwalające najpełniej charakteryzować właściwości użytkowe lepkości. Dla tych właściwości określono kryteria oceny, które przedstawiono w tabelicy 11-1.



**Tablica 11-1. Kryteria oceny właściwości asfaltów i polimeroasfaltów**

Lp.	Właściwości	Wymagania	Metoda badania
1	Konsystencja w średnich temperaturach eksploatacyjnych: - penetracja w 25 <sup>o</sup> C	- zgodnie z PN-EN 12591, PN-EN 14023	PN-EN 1426
2	Konsystencja w wysokich temperaturach eksploatacyjnych: - temperatura mięknięcia wg PiK  - lepkość dynamiczna w temperaturze 60 <sup>o</sup> C	- zgodnie z PN-EN 12591, PN-EN 14023 - powyżej 200 Pa.s	PN-EN 1427 PN-EN 13302
3	Właściwości niskotemperaturowe: - temperatura łamliwości wg Frassa	- zgodnie z PN-EN 12591, PN-EN 14023	Karta Jakości Asfaltu (BTDC)
4	Stołość konsystencji (odporność na starzenie RTFOT): - zmiana masy, - pozostała penetracja, - wzrost temperatury mięknięcia	- zgodnie z PN-EN 12591, PN-EN 14023	PN-EN 12607  PN-EN 1426 PN-EN 1427
5	Inne wymagania dla asfaltów i polimeroasfaltów: - lepkość dynamiczna w temperaturze 135 <sup>o</sup> C, - wykres BTDC – temperatury technologiczne  - tg kąta przesunięcia fazowego - temperaturowy zakres lepkością, - parametr G*/sinδ wg Superpave, lepiszczce po RTFOT (odporność na wysokie temperatury) - powinowactwo pomiędzy lepiszczcem asfaltowym i kruszywem	- ≤ 3 Pa  - 0.2 Pa.s, 2.0 Pa.s, 20.0 Pa.s – temperatura otaczania, pompowania, końcowego zagęszczania - 0 ≤ tgδ ≤ ∞ - ≥ 80 °C G*/sinδ ≥ 2.20 kPa  ≥ 50%	PN-EN 13302  PN-EN 13302  PN-EN 14770 PN-EN 14770 PN-EN 14771 PN-EN 14770 PN-EN 12607 PN-EN 12697
6	Inne wymagania dla asfaltów drogowych: - indeks penetracji, - zawartość asfaltenów	- 1.0 ÷ +1.0 - ≥ 18 %	PN-EN 12591 - skład grupowy wg dowolnej metody (Marcuson-Holde)
7	Inne wymagania dla polimeroasfaltów: - nawrót sprężysty (po RTFOT), - energia odkształcenia, - stabilność magazynowania (różnica w temperaturze mięknięcia) - mikrostruktura	- ≥ 60 % - zgodnie z PN-EN 14023 - ≤ 5 °C  - jednorodna fizyczna struktura ziarnista lub usieciowana	PN-EN 13398 PN-EN 13703 PN-EN 13399 PN-EN 13632

W wyniku obszernie zakrojonych prac nad oceną właściwości lepiszczcy stosowanych w budownictwie drogowym w Polsce należy stwierdzić bardzo duże zróżnicowanie właściwości lepiszczcy w grupach twardości, zróżnicowanie właściwości lepiszczcy w zależności od producenta.

Właściwości mieszanek mineralno-asfaltowych i nawierzchni asfaltowej są w dużym stopniu kształtowane przez właściwości lepiszczca. Lepiszczca drogowe stosowane do budowy nawierzchni w Polsce powinny spełniać określone wymagania w zakresie eksploatacji nawierzchni (zakres temperatur od -40<sup>o</sup>C do +70<sup>o</sup>C) oraz wymagania dotyczące technologii produkcji, transportu i zagęszczania

mieszanek mineralno-asfaltowych. W celu dokonania pełnej jakościowej oceny lepiscza należy poza badaniami normowymi poddać go rozszerzonym badaniam, szczególnie właściwości reologicznych.

Autorzy na podstawie wyników badań lepisczy asfaltowych dokonali wyboru metod badań i kryteriów oceny mając na uwadze istotność zastosowanej metody do określenia wymaganej cechy technicznej. Wybrane metody badań (Tablica 11-1) powinny w najlepszym stopniu określać cechy techniczne lepisczy w szerokim zakresie temperatur eksploatacyjnych i technologicznych.

Powszechnie stosowana praktyka określenia przydatności lepiscza do mieszanki mineralno-asfaltowej oparta na badaniu tylko penetracji lub temperatury mięknienia, ewentualnie nawrotu sprężystego dla asfaltów modyfikowanych (badanie typu, ocena zgodności), jest niewystarczająca. W ramach projektu wytypowano metody dodatkowych badań niezbędnych właściwości, które w dostatecznym zakresie pozwalają ocenić jakość lepiscza. W tablicy 11-2 przedstawiono propozycje wybranych metod badań oraz kryteria ich oceny.

**Tablica 11-2. Wybrane metody badań do oceny jakości lepisczy asfaltowych**

Lp.	Właściwości	Wymagania	Metoda badania
1	Konsystencja w średnich temperaturach eksploatacyjnych: - penetracja w 25 °C po RTFOT	- zgodnie z PN-EN 12591, PN-EN 14023	PN-EN 1426
2	Konsystencja w wysokich temperaturach eksploatacyjnych: - temperatura mięknienia wg PiK po RTFOT	- zgodnie z PN-EN 12591, PN-EN 14023	PN-EN 1427
3	Właściwości niskotemperaturowe: - temperatura łamliwości wg Frassa (określona na wykresie BTDC)	- zgodnie z PN-EN 12591, PN-EN 14023	Karta Jakości Asfaltu (BTDC)
4	Inne wymagania dla asfaltów i polimeroasfaltów: - lepkość dynamiczna w temperaturze 90°C, 110°C, 135°C, - wykres BTDC – temperatury technologiczne	- 0.2 Pa.s, 2.0 Pa.s, 20.0 Pa.s – temperatura otaczania, pompowania, końcowego zagęszczania	PN-EN 13302 PN-EN 13302
5	Inne wymagania dla polimeroasfaltów: - nawrót sprężysty (po RTFOT), - ocena mikrostruktury	- ≥ 60 % - jednorodna fizyczna struktura ziarnista lub usieciowana	- PN-EN 13398 - PN-EN 13632

Analiza wyników badań lepisczy asfaltowych otrzymanych w ramach realizowanego projektu wykazała, że lepiscza drogowe stosowane do budowy dróg w Polsce, z tej samej grupy twardości znacznie różnią się między sobą. Dotyczy to zarówno lepisczy produkowanych przez tego samego producenta, jak również lepisczy produkowanych przez różnych producentów. W zrealizowanym projekcie nie badano próbek lepisczy asfaltowych pochodzących z różnych okresów rocznej produkcji. Według Autorów niezbędne jest prowadzenie dalszych badań w zakresie okresowej oceny zmian właściwości lepisczy asfaltowych pochodzących z różnych rafinerii.

## 12 WNIOSKI

W ramach zrealizowanego projektu badawczego przeprowadzono obszerne i kompleksowe badania właściwości lepiszczy asfaltowych pochodzących od dwóch producentów. Na podstawie przeprowadzonych analiz właściwości lepkosprężystych lepiszczy oraz metod oceny tych właściwości sformułowano następujące wnioski:

- pełną ocenę właściwości drogowych lepiszczy asfaltowych można uzyskać na podstawie wyników badań konsystencji w średnich i wysokich temperaturach eksploatacyjnych, właściwości niskotemperaturowych oraz właściwości w temperaturach technologicznych uwzględniając starzenie technologiczne i eksploatacyjne;
- normy PN-EN oraz metodyka wg SHRP przewidują stosowanie dużej liczby metod badawczych do oceny właściwości lepiszczy asfaltowych. Wśród tych metod można wyróżnić metody, które we właściwy sposób pozwalają na ocenę jakości lepiszczy i metody, na podstawie których nie można istotnie zróżnicować właściwości lepiszczy różnych rodzajów;
- w wyniku realizacji pracy i uzyskanych wyników, dokonano wyboru metod badań, które najlepiej charakteryzują właściwości lepiszczy asfaltowych. Do metod tych zaliczamy:
  - ocenę konsystencji w średnich i wysokich temperaturach eksploatacyjnych na podstawie penetracji w 25°C, temperatury mięknięcia wg PiK, lepkości dynamicznej w 60°C (przed i po starzeniu RTFOT),
  - ocenę właściwości niskotemperaturowych na podstawie temperatury łamliwości wg Frassa określonej z Karty Jakości asfaltu (BTDC),
  - ocenę temperatur technologicznych na podstawie lepkości dynamicznej wg Brookfielda w funkcji temperatury zestawionych w Karcie Jakości Asfaltu (BTDC),
  - określenie zakresu lepkosprężystości na podstawie pomiaru modułu kompleksowego i kąta przesunięcia fazowego (tangens kąta przesunięcia fazowego  $\delta$ ) określonych na podstawie badania w aparacie DSR,
  - ocenę sztywności lepiszczy wg Superpave na podstawie parametru  $G^*/\sin \delta$  po badaniu RTFOT,
  - ocenę adhezji (badanie powinowactwa) metodą butelkową.

Dodatkowo dla asfaltów drogowych powinno się określać parametr wrażliwości temperaturowej – indeks penetracji oraz analizę składu grupowego, w tym głównie zawartość asfaltenów. Dla polimeroasfaltów należy wykonać badanie nawrotu sprężystego po RTFOT, energii odkształcenia, stabilności magazynowania oraz badanie mikrostruktury w mikroskopie fluoroscencyjnym.

- Do badania typu i oceny zgodności proponuje się rozszerzenie zakresu badań właściwości lepiszczy. Proponuje się wykonywanie następujących badań: penetracji w 25°C po starzeniu RTFOT, temperatury mięknięcia po RTFOT, lepkości dynamicznej wg Brookfielda w temperaturze 90°C, 110°C, 135°C do oceny temperatur technologicznych i temperatury łamliwości wg Frassa na podstawie Karty Jakości Asfaltu (BTDC). Dodatkowo dla lepiszczy modyfikowanych należy wykonać badanie nawrotu sprężystego po starzeniu RTFOT oraz badanie mikrostruktury w mikroskopie fluoroscencyjnym.
- Wykazano, że lepiszcza asfaltowe należące do określonej grupy twardości wykazują duże zróżnicowanie właściwości niezależnie od producenta lepiszcza. Podobne zróżnicowanie właściwości występuje, gdy porównujemy lepiszcza różnych producentów.
- Ze względu na zróżnicowanie właściwości asfaltów drogowych i polimeroasfaltów istnieje potrzeba kontynuacji badań lepiszczy w zakresie okresowej oceny jakości lepiszczy.



## 13 LITERATURA

Przy realizacji projektu badawczego opierano się na następującej literaturze:

1. Airey G.D. Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens. *Fuel* 82 (2003) 1709–1719
2. Airey G.D. Styrene butadiene styrene polymer modification of road bitumens. *Journal of Materials Science* 39 (2004) 951–959
3. Bahia H.U., Hanson D.I., Zeng M., Zhai H., Khatri M.A., Anderson R.M.. Characterization Of Modified Asphalt Binders In Superpave Mix Design. NCHRP Report 459
4. Bennert T., Martin J.V.: Polyphosphoric acid in combination with styrene-butadiene-styrene copolymer: mix fatigue resistance and permanent deformation evaluation. 4th Eurasphalt & Eurobitume Congress: Asphalt-Roads for Life, Copenhagen, Denmark 20-23 May 2008
5. Bhasin A., Little D.N., Vasconcelos K.L., Masad E.: Use of Surface Free Energy to Identify Moisture Sensitivity of Materials for Asphalt Mixes. Transportation Research Board, 86th Annual Meeting, Washington, D.C., January 21-25, 2007
6. Binder Characterization and Evaluation T.1 Physical characterization. SHRP-A-367 Report, pp. 9-25. Washington 1999.
7. Bonemazzi F., Giavarini C. Shifting the bitumen structure from sol to gel. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 22 1999 17–24
8. Brown S.: *The Shell Bitumen Handbook*. Shell Bitumen. Nottingham, United Kingdom 1990
9. Cortizo M.S., Larsen D.O., Bianchetto H., Alessandrini J.L. Effect of the thermal degradation of SBS copolymers during the ageing of modified asphalts, *Polymer Degradation and Stability*, Volume 86 (2004) pp. 275-282.
10. García-Morales M., Partal P., Navarro F.J., Martínez-Boza F., Gallegos C., González N., González N., Muñoz M.E. Viscous properties and microstructure of recycled eva modified bitumen. *Fuel* 83 (2004) 31–38
11. García-Morales M., Partal P., Navarro F.J., Martínez-Boza F.J., Gallegos C. Processing, Rheology, and Storage Stability of Recycled EVA/LDPE Modified Bitumen. *Polymer Engineering And Science* Vol. 47: 181–191 (2007)
12. Gareth M., Davis A. Fluorometric Characterization of Asphalts. SHRP Report A-649.
13. Gawęł I., Kalabińska M., Piłat J.: *Asfalty drogowe*. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2001
14. Gawęł I., Piłat J., Radziszewski P., Kowalski K.J., Król J.B.: Rubber modified bitumen. Polymer modified bitumen. Properties and characterisation. Edited by Tony McNally. Woodhead Publishing Limited, 2011
15. Giavarini C., Mastrofini D., Scarsella M. Macrostructure and Rheological Properties of Chemically Modified Residues and Bitumens. *Energy & Fuels* 2000, 14, 495-502
16. González O., Muñoz M.E., Santamaría A, García-Morales M., Navarro F.J. Partal P. Rheology and stability of bitumen/EVA blends. *European Polymer Journal* 40 (2004) 2365–2372
17. González O., Peña J.J., Muñoz M.E., Santamaría A., Pérez-Lepe A., Martínez-Boza F., Gallegos C. Rheological Techniques as a Tool To Analyze Polymer-Bitumen Interactions: Bitumen Modified with Polyethylene and Polyethylene-Based Blends. *Energy & Fuels* 2002, 16, 1256-1263
18. Gore R.: Effect of Antistripping Additives on PG Grades of Asphalt. *Asphalt Spring* 2005, 38-40
19. Heukelom W. A bitumen test data chart for showing the effect of temperature on the mechanical behaviour of asphaltic bitumens. *Journal of the Institute of Petroleum Technologists*, vol. 55, pp 404-417, 1969.
20. Isacson U., Lu X. Characterization of bitumens modified with SEBS, EVA and EBA polymers. *Journal Of Materials Science* 34 (1999) 3737 – 3745

21. Kalabińska M., Piłat J.: Reologia asfaltów i mas mineralno-asfaltowych. WKŁ, Warszawa 1982
22. Kalabińska M., Piłat J.: Właściwości reologiczne asfaltów i kompozytów mineralno-asfaltowych. Oficyna Wydawnicza PW. Prace Naukowe. Budownictwo, Zeszyt Nr 121, Warszawa 1993
23. Kolbanowskaja A.S., Michajlov V.V.: Doroznye bitumy. Transport, Moskwa 1973
24. Król J., Piłat J.: Ocena wpływu rozproszenia cząstek polimeru w asfalcie modyfikowanym na właściwości lepkosprężyste. IV Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Nowoczesne Technologie w Budownictwie Drogowym. Wydawnictwo Fundacji na rzecz Rozwoju Politechniki Poznańskiej, Poznań 2009, 328-335
25. Król J., Sarnowski M.: Poprawa właściwości lepkosprężystych asfaltów modyfikowanych polimerami. 13 Polsko-Ukraińska Konferencja Theoretical Foundations of Civil Engineering, Dniepropietrowsk-Warszawa 2005, 473-480
26. Król J.: Badania mikrostrukturalne asfaltów modyfikowanych, Autostrady 12/2008, 53-58
27. Król J.: Ocena właściwości lepkosprężystych polimeroasfaltów w wysokich temperaturach eksploatacyjnych z wykorzystaniem analizy obrazu. 54 Konferencja Naukowa Problemy Naukowo-Badawcze Budownictwa. Krynica 2008, Tom V, Wydawnictwa Politechniki Białostockiej, Białystok 2008, 73-80
28. Loeber L., Muller G., Morel J., Sutton O. Bitumen in colloid science: a chemical, structural and rheological approach. Fuel Vol. 77. No. 13. pp. 1443-1450, 1998
29. Lu X., Isacson U. Chemical and rheological evaluation of ageing properties of SBS polymer modified bitumen. Fuel Vol. 77. No. 9/10. pp. 961-972, 1998
30. Lu X., Isacson U. Influence of styrene-butadiene-styrene polymer modification on bitumen viscosity. Fuel Vol. 76. No. 14/15. pp. 1353-1359, 1997
31. Lu X., Isacson U. Modification of road bitumens with thermoplastic polymers. Polymer Testing 20 (2001) 77-86
32. Lu X., Isacson U. Rheological characterisation of styrene-butadiene-styrene copolymer modified bitumen. Construction and Building Materials Vol. 11 No. 1, pp. 23-32, 1997
33. Lu X., Isacson U., Ekblad J. Phase separation of SBS polymer modified bitumens. Journal of Materials in Civil Engineering 02 (1999), 51-57
34. Martínez-Boza F., Partal P., Navarro F.J., Gallegos C. Rheology and microstructure of asphalt binders. Rheology Acta (2001) 40: 135-141
35. Masson J-F., Collins P., Robertson G., Woods J.R., Margeson J. Thermodynamics, Phase Diagrams, and Stability of Bitumen-Polymer Blends. Energy & Fuels 2003, 17, 714-724
36. Masson J-F., Polomark G., Collins P. Glass transitions and amorphous phases in SBS-bitumen blends. Thermochimica Acta 436 (2005) 96-100
37. Mastrofini D., Scarsella M. The application of rheology to the evaluation of bitumen ageing. Fuel 79 (2000) 1005-1015
38. Mięczyński M.: Nowe tendencje w badaniach bitumów. Materiały IBDiM, Zeszyt nr 15, Warszawa 1980
39. Miknis F.P., Pauli A.T., Michon L.C. Netzel D.A. NMR imaging studies of asphaltene precipitation in asphalts. Fuel 77 (1998) 399-405.
40. Navarro F.J., Partal P., Martínez-Boza F., Gallegos C. Effect of composition and processing on the linear viscoelasticity of synthetic binders. European Polymer Journal 41 (2005) 1429-1438
41. Navarro F.J., Partal P., Martínez-Boza F., Gallegos C. Thermo-rheological behaviour and storage stability of ground tire rubber-modified bitumens. Fuel 83 (2004) 2041-2049
42. Nellensteyn F.J. The constitution of asphalt. Journal Institute Petroleum Technologist. 1924, 10 pp. 311.
43. Ouyang Ch., Wang S., Zhang Y., Zhang Y. Improving the aging resistance of styrene-butadiene-styrene tri-block copolymer modified asphalt by addition of antioxidants. Polymer Degradation and Stability 91 (2006) 795-804

44. Ouyang Ch., Wang S., Zhang Y., Zhang Y. Preparation and properties of styrene-butadiene-styrene copolymer/kaolinite clay compound and asphalt modified with the compound. *Polymer Degradation and Stability* 87 (2005) 309-317
45. Partal P., Martínez-Boza F., Conde B., Gallegos C. Rheological characterisation of synthetic binders and unmodified bitumens. *Fuel* 78 (1999) 1–10
46. Pérez-Lepe A., Martínez-Boza F.J., Gallegos C. Influence of Polymer Concentration on the Microstructure and Rheological Properties of High-Density Polyethylene (HDPE)-Modified Bitumen. *Energy & Fuels* 2005, 19, 1148-1152
47. Pérez-Lepea A., Martínez-Bozaa F.J., Gallegosa C., Gonzálezb O., Muñozb M.E., Santamaría A. Influence of the processing conditions on the rheological behaviour of polymer-modified bitumen. *Fuel* 82 (2003) 1339–1348
48. Pietraru G-M., Cramb D.T. Changes in Asphaltene Microenvironments Evidenced by Fluorescence Solvatochromism. *Langmuir* 2003, 19, 1026-1035
49. Piłat J., Gawęł I., Radziszewski P., Niczke Ł., Król J., Sarnowski M.: Badania asfaltów modyfikowanych estrami metylowymi olejów roślinnych. 52 Konferencja Naukowa Problemy Naukowo-Badawcze Budownictwa. Krynica 2006, Nr 60, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2006, 223-230
50. Piłat J., Król J. „Wizualna ocena zdyspergowania polimeru w asfaltach modyfikowanych”. *Drogoznictwo*, Nr 9/2005
51. Piłat J., Król J. „Wpływ procesów starzenia na zmianę struktury polimeroasfaltów drogowych na podstawie analizy obrazu”. Konferencja IPPT-PAN: Badania Mechanicznych Właściwości Materiałów i Konstrukcji, Zakopane 2005
52. Piłat J., Król J. „Zmiany struktury asfaltów modyfikowanych w wyniku starzenia na podstawie analizy obrazu”. III Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna: Nowoczesne technologie w budownictwie drogowym, Poznań 2005.
53. Piłat J., Król J. Sarnowski M. „Badania mikrostruktury asfaltów modyfikowanych w mikroskopie fluorescencyjnym” 52 Konferencja KILiW PAN. Krynica 2006.
54. Piłat J., Król J., Sarnowski M.: Ocena właściwości reologicznych asfaltów i asfaltów modyfikowanych stosowanych w budownictwie drogowym. Konferencja "Reologia - teoria, praktyka i zastosowanie", Jachranka 24-26 października 2007, 108 - 117
55. Piłat J., Król J.: Zmiany struktury asfaltów modyfikowanych w wyniku starzenia na podstawie analizy obrazu. III Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna. Nowoczesne Technologie w Budownictwie Drogowym. Wydawnictwo Fundacji na rzecz Rozwoju Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005, 369-378
56. Piłat J., Radziszewski P.: Nawierzchnie asfaltowe, WKŁ, Warszawa 2010
57. Polacco G., Berlincioni S., Biondi D., Stastna J., Zanzotto L. Asphalt modification with different polyethylene-based polymers. *European Polymer Journal* 41 (2005) 2831–2844
58. Polacco G., Muscente A., Biondi D., Santini S. Effect of composition on the properties of SEBS modified asphalts. *European Polymer Journal* 42 (2006) 1113–1121
59. Qamar I., Siddiqi H.M., Husain S.W. Image Analysis of Polymer-Dispersed Liquid Crystals. *Materials Characterization* 44:285–289 (2000)
60. Radziszewski P., Kalabińska M., Piłat J.: Materiały drogowe i nawierzchnie asfaltowe. Wydawnictwo: Politechnika Warszawska i Białostocka. Białystok, Warszawa 1995
61. Radziszewski P., Piłat J.: Ocena starzenia lepkości asfaltowych na podstawie zmian właściwości lepko-sprężystych. 52 Konferencja Naukowa Problemy Naukowo-Badawcze Budownictwa. Krynica 2006, Nr 60, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2006, 247-258
62. Radziszewski P.: Modelowanie trwałości zmęczeniowej modyfikowanych kompozytów mineralno-asfaltowych. Politechnika Białostocka. Rozprawy naukowe nr 45, Białystok 1997

63. Radziszewski P.: Wpływ modyfikacji elastomerem SBS na właściwości reologiczne lepiszczy asfaltowych. *Polimery* 2008, 53, nr 7-8, 559-563
64. Radziszewski P.: Wpływ starzenia na właściwości lepkosprężyste mieszanek mineralno-asfaltowych. 54 Konferencja Naukowa Problemy Naukowo-Badawcze Budownictwa. Krynica 2008, Tom V, Wydawnictwa Politechniki Białostockiej, 2008, 113-122
65. Radziszewski P.: Wpływ udziału lepiszczy modyfikowanych elastomerem SBS na mrozoodporność starzonych mieszanek mineralno-asfaltowych. *Polimery* 2008, 53 nr 10, 749-753
66. Skalmowski W.: *Asfalty drogowe i nawierzchnie asfaltowe*. Wydawnictwa Komunikacyjne, Warszawa 1953
67. Stastna J., Zanzotto L., Vacin O.J. Viscosity function in polymer-modified asphalts. *Journal of Colloid and Interface Science* 259 (2003) 200–207
68. Sęfańczyk B.: Wpływ składu grupowego na tiksotropię asfaltów. *Kwartalnik Warstwy* Nr 2(3) 1996, 10-13
69. Sybilski D.: Modyfikatory i dodatki do asfaltów drogowych. Część 1. Modyfikatory lepiszcza. *Drogownictwo* 2/2000, 35-41
70. Sybilski D.: Modyfikatory i dodatki do asfaltów drogowych. Część 2. Modyfikatory i dodatki do mieszanek. *Drogownictwo* 3/2000, 67-71
71. Van der Poel C.: A general system describing the visco-elastic properties of bitumens and its relation to routine test data. *Journal of Applied Chemistry*, 5 (chap.4), 1954, 221-236
72. Wegan V. Effect of Design Parameters on Polymer Modified Bituminous Mixtures. Danish Road Institute, Report 108, 2001
73. Wegan V., Brûlé B. The Structure of Polymer Modified Binders and Corresponding Asphalt Mixtures. Danish Road Institute, Report 92, 1999
74. Wegan V., Brûlé B., Comparaison entre la microstructure des bitumes polymères tels quels et dans les enrobés spéciaux, *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, Nr 219/1999
75. Wegan V., Nielsen B. C. Microstructure of polymer modified binders in bituminous mixtures. Danish Road Institute, Report 109, 2001
76. Wegan V., Nielsen B. C. Microstructure of polymer modified binders in bituminous mixtures. 2nd Euroasphalt & Eurobitume Congress. Barcelona 2000 – Proceedings Paper No. 105
77. Wen G., Zhang Y., Zhang Y., Sun K., Fan Y. Rheological characterization of storage-stable SBS-modified asphalts. *Polymer Testing* 21 (2002) 295–302
78. Wilson A., Fuchs G., Scramoncin C., Martin D., Planche J.P. Localization of the Polymer Phase in Bitumen\_Polymer Blends by Field Emission Cryo-Scanning Electron Microscopy. *Energy & Fuels* 2000, 14, 575-584
79. Yousefi A. A. Polyethylene Dispersions in Bitumen: The Effects of the Polymer Structural Parameters *Journal of Applied Polymer Science*, Vol. 90, 3183–3190 (2003)
80. Yousefi A.A., Ait-Kadi A., Roy C. Effect of used-tire-derived pyrolytic oil residue on the properties of polymer-modified asphalts *Fuel* 79 (2000), 975-986
81. Zolotarev V.A., Kudryavtseva S.V., Yefremov S.V.: Influence of polymers and adhesive agents on bitumen properties. 4th Euroasphalt & Eurobitume Congress: Asphalt-Roads for Life, Copenhagen, Denmark 20-23 May 2008

## 14 NORMY I DOKUMENTY TECHNICZNE

BN-64/0538-02 Oznaczenie składu grupowego asfaltów

PN-B-06714-22:1984 Kruszywa mineralne. Badania. Oznaczenie przyczepności bitumów

PN-B-11112:1996 Kruszywa mineralne. Kruszywa łamane do nawierzchni drogowych

PN-EN ISO 2592:2008 Oznaczenie temperatury zapłonu i palenia. Metoda otwartego tygla Clevelanda

PN-EN ISO 3838:2008 Ropa naftowa i ciekłe lub stałe przetwory naftowe. Oznaczenie gęstości lub gęstości względnej. Metody z użyciem piknometru z korkiem kapilarnym i piknometru dwukapilarnego z podziałką

PN-EN ISO 6878:2006 Jakość wody. Oznaczenie fosforu. Metoda spektrometryczna z molibdenianem amonu

PN-EN 933-1:2000 Badania geometrycznych właściwości kruszyw. Oznaczenie składu ziarnowego. Metoda przesiewania

PN-EN 1097-6:2002 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 6: Oznaczenie gęstości ziarn i nasiąkliwości

PN-EN 1426:2009 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczenie penetracji igłą

PN-EN 1427:2009 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczenie temperatury mięknięcia. Metoda Pierścieni i Kula

PN-EN 12272-3:2003 Powierzchniowe utrwalenie. Metody badań. Część 3: Określenie przyczepności kruszywa do lepiszcza metodą uderzeniową na płycie Vialit

PN-EN 12591:2010 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Wymagania dla asfaltów drogowych

PN-EN 12592:2009 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczenie rozpuszczalności

PN-EN 12593:2009 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczenie temperatury łamliwości metodą Fraassa

PN-EN 12595:2009 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczenie lepkości kinematycznej

PN-EN 12596:2009 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczenie lepkości dynamicznej metodą próżniowej kapilary

PN-EN 12607-1:2009 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczenie odporności na starzenie pod wpływem ciepła i powietrza. Część 1: Metoda RTFOT

PN-EN 12607-3:2010 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczenie odporności na starzenie pod wpływem ciepła i powietrza. Część 3: Metoda RFT

PN-EN 12697-8:2005 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 8: Oznaczenie zawartości wolnej przestrzeni

PN-EN 12697-11:2009 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 11: Oznaczenie powinowactwa pomiędzy kruszywem i asfaltem

PN-EN 12697-12:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badania mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 12: Określanie wrażliwości próbek asfaltowych na wodę

PN-EN 12697-18:2007 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 18: Spływność lepiszcza

PN-EN 12697-22+A1:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 22: Koleinowanie

PN-EN 12697-23:2009 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 23: Oznaczanie wytrzymałości mieszanki mineralno-asfaltowej na rozciąganie pośrednie

PN-EN 12697-25:2005 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 25: Badanie cyklicznego, jednoosiowego ściskania

PN-EN 13108-1:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania. Część 1: Beton asfaltowy

PN-EN 13108-5:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania. Część 5: Mieszanka SMA

PN-EN 13108-20:2008 Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania. Część 20: Badanie typu

PN-EN 13398:2010 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie nawrotu sprężystego asfaltów modyfikowanych

PN-EN 13399:2010 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie stabilności podczas magazynowania asfaltów modyfikowanych

PN-EN 13587:2010 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie właściwości mechanicznych lepiszczy asfaltowych metodą rozciągania

PN-EN 13588:2009 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie kohezji lepiszczy asfaltowych metodą testu wahadłowego

PN-EN 13589:2008 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie siły rozciągania asfaltów modyfikowanych, metoda z duktylometrem

PN-EN 13632:2010 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Wzrokowa ocena zdyspergowania polimeru w asfaltach modyfikowanych polimerami

PN-EN 13702-1:2010 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie lepkości dynamicznej asfaltów modyfikowanych. Część 1: Metoda stożek-płytki

PN-EN 13702-2:2010 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie lepkości dynamicznej asfaltów modyfikowanych. Część 2: Metoda cylindrów współosiowych

PN-EN 13703:2009 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie energii odkształcenia

EN 13924 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Zasady klasyfikacji twardych asfaltów drogowych

PN-EN 14023:2010 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Zasady klasyfikacji asfaltów modyfikowanych polimerami

PN-EN 14770:2009 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie zespolonego modułu ścinania i kąta przesunięcia fazowego w reometrze dynamicznego ścinania (DSR)

PN-EN 14771:2009 Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie sztywności pełzania przy zginaniu. Reometr zginanej belki (BBR)

ASTM D515-88 Test Methods for Phosphorus in Water (Withdrawn 1997)



ASTM D907-04 Standard Terminology of Adhesives

ASTM D3625-96(2005) Standard Practice for Effect of Water on Bituminous-Coated Aggregate Using Boiling Water

ASTM D4124-09 Standard Test Method for Separation of Asphalt into Four Fractions

AASHTO TP62 Standard Method of Test for Determining Dynamic Modulus of Hot Mix Asphalt (HMA)

AASHTO T321 Standard Method of Test for Determining the Fatigue Life of Compacted Hot-Mix Asphalt (HMA) Subjected to Repeated Flexural Bending

AASHTO T283-89(1993) Standard Method of Test for Resistance of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) to Moisture-Induced Damage (Lottman Procedure)

AASHTO T324 Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of compacted Hot-Mix Asphalt (HMA)

WT-2 2008 Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych. Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania techniczne (dokument zastąpiony przez WT-2 2010)

Tymczasowe wytyczne techniczne. Polimeroasfalty drogowe (TWT-PAD-2003)

Tymczasowe wymagania wobec wypełniacza do drogowych i lotniskowych mieszanek mineralno-asfaltowych” (TW-W MMA/2000)

**Autorzy opracowania:**

Prof. dr hab. inż. Piotr Radziszewski \_\_\_\_\_

Prof. dr hab. inż. Jerzy Piłat \_\_\_\_\_

Dr inż. Jan Król \_\_\_\_\_

Dr inż. Karol Kowalski \_\_\_\_\_

Dr inż. Michał Sarnowski \_\_\_\_\_