

**Instytut Badawczy Dróg i Mostów
Zakład Technologii Nawierzchni
Pracownia Lepiszczy Bitumicznych**

SPRAWOZDANIE

Temat TN-238

**„Ocena wpływu wdrożenia nowej normy PN-EN dla asfaltu
drogowego na trwałość nawierzchni”**

Kierownik Zakładu TN:

prof. dr hab. inż. Dariusz SYBILSKI

Zespół:

prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski
mgr inż. Renata Horodecka
mgr inż. Andrzej Wróbel
mgr inż. Wojciech Bańkowski
Krzysztof Mirski

Technicy:

Teresa Gawenda
Jadwiga Migdalska
Tomasz Michalski

SPIS TREŚCI:

1.	Podstawa pracy	2
2.	Cel pracy.....	2
3.	Program pracy	2
4.	Metodyka badań	3
4.1.	Właściwości konwencjonalne.....	3
4.2.	Reometr dynamicznego ścinania (Dynamic Shear Rheometer DSR).....	6
4.3.	Reometr zginanej belki (Bending Beam Rheometer BBR).....	7
4.4.	Oznaczenie ciągliwości z pomiarem siły w trzech stanach	7
4.5.	Oznaczenie składu grupowego w aparacie Iatroscan	8
4.6.	Metodyka ustalania rodzaju funkcjonalnego lepiszcza PG według SHRP	9
5.	Materiały do badań	11
6.	Wyniki badań laboratoryjnych	11
6.1.	Właściwości konwencjonalne.....	11
6.2.	Wyniki badań - DSR.....	12
6.3.	Wyniki badań - BBR.....	16
6.4.	Badanie ciągliwości lepiszczy z pomiarem siły	20
6.5.	Wyniki i analiza składu grupowego	31
7.	Analiza wyników badań.....	34
8.	Analiza wyników badań archiwalnych	36
8.1.	Właściwości konwencjonalne.....	36
8.2.	Moduł dynamicznego ścinania DSR	41
8.3.	Badania niskotemperaturowe BBR	42
8.4.	Badanie ciągliwości lepiszczy z pomiarem siły	43
8.5.	Skład grupowy asfaltów	49
9.	Ocena wpływu zastosowania nowych asfaltów według zaleceń GDDKiA na oczekiwaną trwałość nawierzchni drogowych.	50
9.1.	Ocena trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni z zastosowaniem asfaltów wg starej i nowej normy	50
9.1.1.	Metodyka analizy	50
9.1.2.	Wyznaczenie modułu sztywności betonu asfaltowego w zależności od właściwości asfaltu.....	51
9.1.3.	Wyznaczenie parametru ε_6 betonu asfaltowego w zależności od właściwości asfaltu	53
9.1.4.	Obliczenia metodą mechanistyczną	54
9.1.5.	Analiza wyników obliczeń trwałości konstrukcji nawierzchni drogowej	59
9.1.6.	Podsumowanie	59

Załącznik 1 – Wyniki badań – DSR

Załącznik 2 – Wyniki badań ciągliwości z pomiarem siły

Załącznik 3 – Porównanie wyników badań bieżących z archiwalnymi - DSR

Załącznik 4 – Porównanie wyników badań bieżących z archiwalnymi - BBR

Załącznik 5 – Nowe wymagania wobec asfaltów i ich zastosowania

1. Podstawa pracy

Badania wykonano na podstawie umowy nr 681/2004 (temat TN-238) z dnia 07.04.2004 r. zawartej pomiędzy Generalną Dyрекcją Dróg Krajowych i Autostrad z siedzibą w Warszawie, a Instytutem Badawczym Dróg i Mostów.

2. Cel pracy

Praca ta polegała na sprawdzeniu wpływu wdrożenia nowej normy PN-EN 12591:2002 [1] dla asfaltów drogowych na cechy użytkowe i trwałość nawierzchni.

W 2002 r. ustanowiono nową normę PN-EN zawierającą wymagania wobec asfaltu drogowego i zmieniającą dotychczasowy podział rodzajowy asfaltów. Konsekwencją były nowe zalecenia GDDKiA doboru lepiszczy asfaltowych do nawierzchni drogowych w zależności od położenia warstwy w konstrukcji i obciążenia ruchem. Nowe asfalty mają inny zakres podstawowych właściwości, co wpływa na cechy użytkowe i trwałość nawierzchni. Celem pracy była ocena wpływu tych zmian na trwałość nawierzchni na podstawie badań laboratoryjnych właściwości funkcjonalnych nowych asfaltów, co pozwala ocenić i zweryfikować metodę doboru lepiszcza do poszczególnych warstw nawierzchni.

3. Program pracy

Program pracy zgodnie z założeniami umowy został podzielony na dwa etapy realizacji (Etap I - 2004 r., Etap II - 2005 r.).

Program obejmował następujące działania oraz badania:

A. Zgromadzenie reprezentatywnych lepiszczy do badań
(przewidziano trzy rodzaje asfaltów: 20/30, 35/50, 50/70).

B. Wykonanie badań

B.1 Właściwości konwencjonalne asfaltów

Według programu pracy przewidziano zestaw badań podstawowych asfaltów uwzględniający kolejne etapy starzenia:

- penetracja w 25°C wg PN-EN 1426:2001,
- temperatura mięknięcia PiK wg PN-EN 1427:2001,
- temperatura łamliwości Fraassa wg PN-EN 12593:2004.

B.2 Badania pełne:

- lepkość w 60, 90, 135°C wg ASTM D 4402-87,
- temperatura zapłonu wg PN-EN ISO 2592:2002,
- przyczepność do kruszyw (cztery rodzaje kruszyw) wg PN-B-06714/22:1984,
- zawartości części nierozpuszczalnych w toluenie wg PN-82/C-97057,
- zawartości parafiny wg PN-EN 12606-1:2002 (U),
- zmiana masy po odparowaniu RTFOT wg PN-EN 12607-1:2002,
- lepkość w 60, 90, 135°C po RTFOT wg ASTM D 4402-87,
- penetracja w 25°C po RTFOT wg PN-EN 1426:2001,
- temperatura mięknięcia PiK po RTFOT wg PN-EN 1427:2001,
- temperatura łamliwości wg Fraassa po RTFOT wg PN-EN 12593:2004.

- B.3 Badania modułu zespolonego w funkcji temperatury i częstotliwości obciążenia DSR (Dynamic Shear Rheometer)**
- B.4 Badania właściwości niskotemperaturowych reometru zginanej belki BBR (Bending Beam Rheometer)**
- B.5 Oznaczenie ciągliwości z pomiarem siły**
- B.6 Oznaczenie składu grupowego w aparacie IATROSCAN**

Badania wg pkt. B.1, B.3, B.4, B5 przewidziano dla wszystkich wybranych asfaltów w trzech stanach:

- oryginalnym przed odparowaniem (O),
- po odparowaniu RTFOT (Rolling Thin Film Oven Test) – symulacja starzenia technologicznego (T),
- po starzeniu PAV (Pressure Aging Vessel) - symulacja starzenia eksploatacyjnego (E).

Natomiast badania wg pkt. B.2 i B.6 przewidziano tylko w stanie oryginalnym przed odparowaniem (O)

- C. Zgromadzenie danych archiwalnych**
- D. Analiza wyników badań - porównane wyników badań do właściwości asfaltów z wcześniejszych badań IBDiM.**
- E. Ocena wpływu zastosowania nowych asfaltów według zaleceń GDDKiA na oczekiwaną trwałość nawierzchni drogowych.**
- F. Przegląd wcześniej wykonanych i nowych odcinków nawierzchni w celu uzyskania informacji i oceny praktycznych zastosowań nowych asfaltów**

4. Metodyka badań

4.1. Właściwości konwencjonalne

Badania podstawowe (penetracja w temperaturze (15) 25°C, temperatura mięknięcia metodą PiK, temperatura łamliwości wg Fraassa) zostały wykonane dla wszystkich asfaltów w trzech fazach:

- przed odparowaniem **/O/**
- po odparowaniu RTFOT – starzenie technologiczne, **/T/**
- po odparowaniu RTFOT+PAV – starzenie eksploatacyjne, **/E/**

Właściwości reologiczne

Asfalt wykazuje właściwości termoplastyczne: zmienia swoją konsystencję wraz ze zmianą temperatury. W niskiej temperaturze przyjmuje on postać ciała stałego, w wysokiej – cieczy. W celu uzyskania pełnej charakterystyki reologicznej lepszycza należy określić jego właściwości w szerokim przedziale temperaturowym obejmującym warunki eksploatacji i produkcji. Z tego względu do scharakteryzowania asfaltu trzeba posługiwać się wieloma parametrami opisującymi cechy konsystencji, wrażliwości termicznej i odporności na niską temperaturę.

Konsystencja

penetracja w temperaturze 15, 25°C,
temperatura mięknięcia PiK,

Cechę tę opisuje się standardowo penetracją i temperaturą mięknięcia PiK. Standardowym sposobem klasyfikacji lepiszczy bitumicznych jest wartość penetracji w 25 °C i do tej właściwości odnoszą się pozostałe parametry konsystencji.

Wrażliwość termiczna

indeks penetracji PI (Pen/Pen) i (Pen/PiK),
przedział plastyczności PP ($T_{PiK} - T_{Fraass}$).

Cecha ta charakteryzuje zmienność konsystencji asfaltu wraz z temperaturą. W zakresie penetracji (temperatury eksploatacyjnej) zmienność tę opisuje indeks penetracji PI, zdefiniowany przez Pfeiffera i van Doormaala [2] oraz przedział plastyczności PP. Niski indeks penetracji oraz niska wartość PP świadczy o większej wrażliwości temperaturowej asfaltu, co jest niekorzystne.

Odporność na niską temperaturę

temperatura łamliwości wg Fraassa
ciągłość w niskich temperaturach

Cechę tę opisuje temperatura łamliwości Fraassa i ciągłość w niskich temperaturach. Im niższy wynik badania Fraassa im większa ciągłość asfaltu, tym odporniejszy jest on na działanie niskiej temperatury.

Kohezja

ciągłość

Kohezja, czyli spójność lepiszcza bitumicznego: wzajemne przyciąganie się cząsteczek substancji wskutek działania sił międzycząsteczkowych krótkiego zasięgu. Cecha ta zapewnia lepiszczu bitumicznemu zdolność przenoszenia naprężenia rozciągającego bez zniszczenia. Jej niedostatek powoduje zrywanie struktury lepiszcza i powstanie pęknięć nawierzchni zarówno w makro-, jak i mikroskali. Kohezja lepiszcza jest szerszym pojęciem niż ciągłość. Składa się na nią zarówno wydłużenie materiału podczas rozciągania (ciągłość), jak i siła, z jaką materiał jest rozciągany. Najpełniej kohezję można scharakteryzować energią odkształcenia (wydłużenia) materiału. Tradycyjnym dotychczas ogólnie stosowanym sposobem charakteryzującym kohezję asfaltów drogowych było badanie ciągłości. Jednak był to sposób, w którym nie uzyskiwało się informacji o naprężeniach w materiale, w związku z tym charakterystyka była niepełna. W celu uzyskania kompletnych informacji niezbędnych do oceny kohezji przewidziano wykonanie badań ciągłości z pomiarem siły.

Starzenie**Starzenie /T/**

badanie starzenia technologicznego /T/ metodą wygrzewania w cienkiej warstwie, „RTFOT - Rolling Thin Film Oven Test”.

Po oznaczeniu starzenia /T/ określono następujące właściwości:

- penetrację w temperaturze 25°C,
- temperaturę mięknięcia PiK,
- temperaturę łamliwości wg Fraassa,
- spadek penetracji w 25°C (decPen₂₅),
- wzrost temperatury mięknięcia PiK (incT_{PiK}).

Starzenie /E/

badanie starzenia eksploatacyjnego /E/ z wykorzystaniem pojemnika starzenia ciśnieniowego (PAV - Pressure Aging Vessel) według AASHTO PP1-9797 i procedury IBDiM nr PB/TN-1/25. Lepszcze wykorzystywane w tym badaniu musi być wcześniej poddane starzeniu w suszarce RTFOT (Rolling Thin Film Oven – RTFOT)

Po oznaczeniu starzenia /E/ określono następujące właściwości:

- penetrację w temperaturze 25°C,
- temperaturę mięknięcia P_{IK} ,
- temperaturę łamliwości wg Fraassa,
- spadek penetracji w 25°C (decPen₂₅),
- wzrost temperatury mięknięcia P_{IK} (incT _{P_{IK}}).

Starzenie jest to zjawisko, w czasie którego następuje utlenianie asfaltu oraz odparowanie z niego lekkich frakcji olejowych, przez co zmieniają się właściwości lepszczu. Starzenie /T/ zachodzi szybciej podczas produkcji mieszanki mineralno-bitumicznej (asfalt ma wysoką temperaturę i dużą powierzchnię styczności z powietrzem) niż we wbudowanej mieszance /E/. Starzenie /T/ jest symulowane zabiegiem laboratoryjnym odparowalności asfaltu w cienkiej wirowanej warstwie metodą RTFOT. Wartość odparowalności informuje o wielkości zmiany masy asfaltu po RTFOT. Nie określa jednak ilościowo ubytku masy wynikłego z odparowania lekkich frakcji lub przyrostu masy wynikłego z przyłączania atomów tlenu.

Pojemnik starzenia ciśnieniowego (Pressure Aging Vessel PAV)

Oznaczenie starzenia eksploatacyjnego przeprowadza się w Pojemniku Starzenia Ciśnieniowego PAV. Badany asfalt poddaje się oddziaływaniu temperatury 100°C oraz ciśnieniu 2,1 MPa w czasie 20 h. Drugi etap badania starzenia eksploatacyjnego przeprowadza się w piecu próżniowym. Pod wpływem wysokiego ciśnienia panującego w komorze aparatu PAV, badane lepszczu zostaje nasycone pęcherzykami powietrza w stopniu powodującym zmianę jego właściwości reologicznych. W celu odgazowania badanego lepszczu poddaje się je oddziaływaniu podciśnienia 15 kPa w piecu próżniowym. W tym celu lepszczu po starzeniu w aparacie PAV przelewa się do specjalnych pojemników i umieszcza w komorze pieca próżniowego. Proces odgazowywania lepszczu trwa 30 min.

Proces starzenia generalnie powoduje twardnienie lepszczu. W celu określenia wpływu starzenia na podstawowe właściwości asfaltów zbadano penetrację, temperaturę mięknięcia i łamliwości asfaltów po RTFOT i po RTFOT+PAV.

Ocena wpływu procesu starzenia asfaltu jest relatywna. Ze względu na odporność mieszanki mineralno-asfaltowej na deformacje trwałe stwardnienie asfaltu jest sprzyjającą cechą. Natomiast ze względu na odporność asfaltu na niską temperaturę nie jest to pożądane. Starzenie asfaltu powoduje jego twardnienie i zmniejszenie wrażliwości termicznej przy równoczesnym obniżeniu kohezji i odporności na niską temperaturę.

Obliczeniowe parametry oceny jakościowej asfaltów:

- **indeks penetracji PI (Pen-Pen) i PI (Pen-PiK)**, według wzoru (1):

$$PI = \frac{20 - 500A}{1 + 50A} \quad (1)$$

w którym:

A – wrażliwość temperaturowa, według wzoru (2):

$$A = \frac{\log Pen_{T1} - \log Pen_{T2}}{T_1 - T_2} [1/^\circ C] \quad (2)$$

w którym:

Pen_{T1} – wartość penetracji w temperaturze $T_1 = 25^\circ C$, 0,1 mm,

Pen_{T2} – wartość penetracji w temperaturze $T_2 = 15^\circ C$ lub w temperaturze mięknięcia T_{PiK} , 0,1 mm.

- **przedział plastyczności PP (T_{PiK} - T_{Fraass})**, obliczony według wzoru (3):

$$PP = T_{PiK} - T_{Fraass} [^\circ C] \quad (3)$$

w którym:

T_{PiK} i T_{Fraass} – temperatura mięknięcia według metody Pierścień i Kula oraz temperatura łamliwości według Fraassa, $^\circ C$.

- **spadek penetracji decPen₂₅** po odparowaniu, według wzoru (4):

$$decPen_{25} = \frac{Pen_{25} - Pen_{25}^{odp}}{Pen_{25}} * 100 [\%] \quad (4)$$

w którym:

Pen_{25} i Pen_{25}^{odp} – penetracja w $25^\circ C$ przed i po odparowaniu, 0,1 mm.

- **wzrost temperatury mięknięcia** po odparowaniu $incT_{PiK}$, według wzoru (5):

$$incT_{PiK} = T_{PiK}^{odp} - T_{PiK} [^\circ C] \quad (5)$$

w którym:

T_{PiK} i T_{PiK}^{odp} – temperatura mięknięcia według metody Pierścień i Kula przed i po odparowaniu, $^\circ C$.

4.2. Reometr dynamicznego ścinania (Dynamic Shear Rheometer DSR)

Reometr dynamicznego ścinania charakteryzuje lepkie i sprężyste zachowanie materiału i służy do pomiaru modułu zespolonego ścinania G^* oraz kąta przesunięcia fazowego δ lepszczą. Moduł G^* jest miarą całkowitej odporności lepszczą na

deformacje, poddanego powtarzalnemu ścinaniu. Składa się on z dwóch części sprężystej i lepkiej. Tangens kąta przesunięcia fazowego δ jest miarą stosunku części lepkiej do sprężystej. Dla lepiszcza doskonale sprężystego $\delta = 0^\circ$, dla materiału doskonale lepkiego $\delta = 90^\circ$. W przypadku materiałów lepkosprężystych, jakimi są lepiszcza asfaltowe wartość ta oscyluje w granicach $\delta = (0^\circ - 90^\circ)$. Aby uzyskać pełną charakterystykę lepiszcza potrzebne są wyniki modułu i kąta przesunięcia fazowego w szerokim zakresie częstotliwości i temperatury.

4.3. Reometr zginanej belki (Bending Beam Rheometer BBR)

Reometr zginanej belki charakteryzuje właściwości lepiszcza w niskiej temperaturze. Reometrem BBR badane jest ugięcie (pełzanie) próbki lepiszcza pod stałym obciążeniem w temperaturze odpowiadającej najniższej temperaturze eksploatawanej nawierzchni, w której zachowuje się ona jak ciało sprężyste. Z badania otrzymuje się dwa parametry. Moduł sztywności $S(t)$, który otrzymuje się po czasie obciążenia 60s oraz parametr m , reprezentujący gradient zmiany sztywności w czasie obciążenia. Według wymagań wartość m przyjmowana jest z badania w czasie obciążenia 60s.

4.4. Oznaczenie ciągliwości z pomiarem siły w trzech stanach

Do wykonania badania ciągliwości zastosowano duktylometr (FOT. 1), składający się z urządzenia zasadniczego oraz modułu sterującego połączonego z komputerem. Urządzenie jest wyposażone w sterowanie mikroprocesorowe oraz oprogramowanie PROPRESS służące do sterowania elektronicznego napędem i do pomiaru ciągliwości i siły rozciągającej.



Fot. 1 Widok duktylometru oraz próbek do badań w łaźni wodnej

Przygotowanie próbek

Próbki asfaltu, przeznaczone do badania ciągliwości, wstępnie rozgrzewano w suszarce do temperatury o 80-100 °C wyższej od temperatury mięknięcia, a następnie wlewano do przygotowanych wcześniej mosiężnych foremek (foremki przed zalaniem smarowano mieszaniną talku z gliceryną o składzie 1:3), wlewając asfalt cienkim strumieniem z pewnym nadmiarem. Napelnione foremki pozostawiano na 30 minut w temperaturze pokojowej, po czym nadmiar asfaltu ścinano nożem. Następnie foremki umieszczano na 1,5 h w kąpeli wodnej w wannie duktylometru, w temperaturze w której przewidziano przeprowadzenie badania ciągliwości (5, 10, 15 i 25 °C), utrzymując stałą, zadaną temperaturę z dokładnością do 0,5 °C przy pomocy termostatu z łaźnią TERMO HAAKE C40P. Poziom wody nad powierzchnią termostatowanych próbek był nie niższy niż 25mm.

Oznaczenie ciągliwości (wg PN-EN 13589)

Po 1,5 h termostatowania w temperaturze badania, próbki kolejno zakładano na sworznie mostków duktylometru, zdejmowano boczne ścianki foremki i uruchamiano mechanizm napędowy duktylometru. Prędkość rozciągania wynosiła 50 mm/min. Z uwagi na pękanie próbek w blokach foremki w momencie rozpoczęcia procesu rozciągania dodatkowo w kilku przypadkach, w temperaturze 5°C zastosowano prędkość rozciągania o wartości 5 mm/min. Podczas próby rozciągania następowało ciągle monitorowanie wydłużenia próbki i siły rozciągającej.

4.5. Oznaczenie składu grupowego w aparacie Iatroscan

Badanie składu grupowego zostało wykonane z wykorzystaniem nowoczesnego sprzętu analitycznego (IATROSCAN). IATROSCAN jest automatycznym analizatorem służącym do analizy ilościowej związków organicznych, za pomocą (TLC) chromatografii cienkowarstwowej z płomieniowo jonizacyjnym detektorem wodorowym (FID). Rozdział następuje na chromarodzie w ten sam sposób jak w normalnej chromatografii cienkowarstwowej. System FID jest systemem o wysokiej czułości dla prawie wszystkich związków organicznych. Selektywna detekcja ma zastosowanie w szerokim zakresie związków organicznych. W aparacie IATROSCAN szczególnie łatwo analizuje się i monitoruje reakcję syntez organicznych, rozdziela ropę i asfalt na frakcje.

Zasada pomiaru w aparacie IARTOSCAN

Próbka zostaje rozwijana i rozdzielana na chromarodzie (pręcik kwarcowy) oraz bezpośrednio skanowana w płomieniu wodorowym.

Pod wpływem energii dostarczonej przez płomień wodorowy następuje jonizacja i rozdzielenie związków organicznych w cienkiej warstwie. Wytworzone jony są naładowane ujemnie (-) i dodatnio (+). Jony ujemne płyną do palnika a jony dodatnie do kolektora elektrody będącego w polu elektrycznym, umieszczonym pomiędzy polem elektrycznym FID (palnik (+), kolektor (-)). Jony biegną pomiędzy palnikiem a kolektorem proporcjonalnie do masy związków zjonizowanych w płomieniu wodorowym. Prąd (ładunek) jonu zostaje wzmocniony przez obwód FID i związki są mierzone ilościowo i zapisywane w programie.

4.6. Metodyka ustalania rodzaju funkcjonalnego lepiszcza PG według SHRP

Podstawowym pojęciem w odniesieniu do asfaltu w terminologii SHRP/SUPERPAVE jest rodzaj funkcjonalny PG (Performance Grade). Według Superpave asfalt jest charakteryzowany rodzajem funkcjonalnym PG x-y. Współczynniki liczbowe określające PG to:

x maksymalna temperatura nawierzchni $T_{\max}$

y minimalna temperatura nawierzchni $T_{\min}$

w jakich może być eksploatowany dany asfalt.

Określenie rodzaju funkcjonalnego asfaltu uzyskuje się na podstawie badań przeprowadzonych na asfalcie:

- o oryginalnym (takim jak używanym do produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej),
- o po starzeniu RTFOT (takim jak w wyprodukowanej mieszance mineralno-asfaltowej i w świeżej nawierzchni),
- o po starzeniu RTFOT+PAV (takim jak w nawierzchni po około 10-ciu latach eksploatacji).

Wyróżnia się trzy typy zniszczeń nawierzchni drogowej, które brane są pod uwagę w ustalaniu kryteriów doboru właściwości lepiszcza:

- trwałe deformacje lepkoplastyczne – koleiny
- zmęczenie
- pękanie niskotemperaturowe

Odporność na koleinowanie według SHRP charakteryzującą temperatury równoważne TEG 1 lub TEG2 wyznaczone na podstawie wyników badania asfaltu reometrem dynamicznego ścinania DSR według poniższych wzorów:

asfalt oryginalny $G^*/\sin\delta = 1 \text{ kPa} \rightarrow \text{TEG1,}$

asfalt po RTFOT $G^*/\sin\delta = 2,2 \text{ kPa} \rightarrow \text{TEG2.}$

Do wyznaczenia górnej wartości PG przyjmuje się niższą temperaturę z dwóch.

Odporność na pękanie niskotemperaturowe według SHRP, charakteryzującą temperatury równoważne TES lub TEM wyznaczone na podstawie wyników badania asfaltu w reometrze zginanej belki BBR, według wzorów:

asfalt po starzeniu RTFOT i PAV $S = 300 \text{ MPa} \rightarrow \text{TES}$

asfalt po starzeniu RTFOT i PAV $m = 0,3 \rightarrow \text{TEM}$

S i m wyznacza się w badaniu reometrem zginanej belki BBR.

Do wyznaczenia dolnej wartości PG przyjmuje się najwyższą temperaturę równoważną spośród: TES i TEM.

Odporność na zmęczenie według SHRP charakteryzuje temperatura równoważna TEG3, jest to kryterium weryfikujące prawidłowość wyznaczenia PG. Znając niższą temperaturę równoważną spośród TES i TEM, według kolumn z tablicy 1 wyznaczamy odpowiednią temperaturę badania na DSR asfaltu poddanego uprzednio starzeniu RTFOT oraz PAV. Wynik tego badania musi spełniać podaną zależność:

Asfalt po RTFOT+PAV $G^* \sin\delta \leq 5\,000 \text{ kPa}$

Otrzymane temperatury równoważne nie są ostatecznymi parametrami PG. Dobiera się je z wymagań wobec asfaltu Superpave, w których ustalono przedziały co 6°C. Parametrami PG są więc dolna granica przedziału wysokiej temperatury oraz górna granica przedziału niskiej temperatury.

Rodzaj funkcjonalny PG asfaltu powinien odpowiadać wyznaczonej strefie temperaturowej, w której będzie eksploatowana nawierzchnia drogowa. Wyznacza się je na podstawie wzorów LTPP, bazując na najniższej temperaturze i najwyższej średniej 7-dniowej temperaturze nawierzchni.

Uwzględnienie szczególnych warunków obciążenia ruchem pojazdów odbywa się przez zwiększenie górnej granicy PG:

- o 6°C (jeden rodzaj PG), jeśli ruch jest powolny **lub** o dużym natężeniu
- o 12°C (dwa rodzaje PG), jeśli ruch jest powolny **i** o dużym natężeniu.

Tablica 1. Wymagania SHRP/SUPERPAVE dla asfaltów

Właściwość Metoda badania	Rodzaj asfaltu																				
	PG 52							PG 58					PG 64					PG 70			
	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28
Projektowa, średnia siedmiodniowa najwyższa temperatura nawierzchni ¹⁾ poniżej °C	52							58					64					70			
Projektowa, najniższa temperatura nawierzchni ¹⁾ powyżej °C	-10	-16	-22	-28	-34	-40	-46	-16	-22	-28	-34	-40	-16	-22	-28	-34	-40	-10	-16	-22	-28
Asfalt oryginalny																					
Temperatura zapłonu AASHTO T48 nie mniej niż °C	230																				
Lepkość, ASTM D 4402: ²⁾ nie więcej niż 3 Pas (3000 cP) temperatura badania °C	135																				
Dynamiczne ścinanie, TP5: ³⁾ G'/sinδ, nie mniej niż 1.00 kPa, prędkość ścinania 10 rad/s temperatura badania °C	52							58					64					70			
Asfalt po starzeniu RTFOT (AASHTO T240) lub TFOT (AASHTO T179)																					
Strata masy nie więcej niż, % m/m	1.00																				
Dynamiczne ścinanie, TP5: G'/sinδ, nie mniej niż 2.20 kPa, prędkość ścinania 10 rad/s temperatura badania °C	52							58					64					70			
Asfalt po starzeniu PAV (PP1)																					
Temperatura starzenia PAV ⁴⁾ °C	90							100					100					100 (110)			
Dynamiczne ścinanie, TP5: G'/sinδ, nie więcej niż 5000 kPa, prędkość ścinania 10 rad/s temperatura badania °C	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	28	25	22	19	16	34	31	28	25
Fizyczne stwardnienie ⁵⁾	Bez wymagania																				
Szytywność pełzania, TP1: ⁶⁾ S, nie więcej niż 300 MPa m, nie mniej niż 0.300 czas obciążenia 60 s temperatura badania °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18
Rozciąganie bezpośrednie, TP3: ⁷⁾ odkształcenie, nie mniej niż 1.0% prędkość rozciągania 1.0 mm/min temperatura badania °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18

Uwagi:

^{a1} Temperatura nawierzchni może być wyznaczona z temperatury powietrza, używając algorytmu zawartego w programie SUPERPAVE, lub według określonej procedury, albo może być określona przez stawiającego wymagania.

^{a2} Wymaganie to może być zaniechane przez stawiającego wymagania, jeśli dostawca lepiszcza zapewni, że może być ono pompowane i mieszane z kruszywem w temperaturze spełniającej wymagania bezpieczeństwa pracy.

^{a3} W celu kontroli jakości produkcji asfaltów niemodyfikowanych może być stosowane badanie lepkości asfaltu zamiast badania dynamicznego ścinania w temperaturze, w której asfalt jest cieczą Newtona. Może być stosowana każda, odpowiednia metoda badania, np. badanie lepkościamiernikiem kapilarnym lub obrotowym (AASHTO T 201 lub T 202).

^{a4} Temperatura starzenia PAV jest oparta o symulację warunków klimatycznych i może wynosić 90, 100 lub 110°C. Temperatura starzenia PAV wynosi 100°C dla rodzaju PG-58 i powyżej, z wyjątkiem klimatu pustynnego, gdy temperatura ta wynosi 110°C.

^{a5} Fizyczne stwardnienie (według procedury TP1) jest wykonywane na zestawie beleczek lepiszcza, z tym, że czas pielęgnacji wydłużony jest 24 h ± 10 min w temperaturze o 10°C wyższej niż najniższa temperatura nawierzchni. Szytywność i wartość m po 24 h są podawane jedynie informacyjnie.

^{a6} Jeśli szytywność pełzania jest mniejsza niż 300 MPa, badanie rozciągania bezpośredniego nie jest wymagane. Jeśli szytywność pełzania wynosi od 300 do 600 MPa, to wymaganie odkształcenia niszczącego w rozciąganiu bezpośrednim może być użyte zamiast wymagani szytywności pełzania. Wymaganie wartości m musi być spełnione w obu wypadkach.

5. Materiały do badań

Do badań wybrano asfalty:

- 20/30 (produkcji BP Poland)
- 20/30 (produkcji Nynas)
- 35/50 (produkcji PKN „Orlen” z Płocka)
- 35/50 (produkcji Grupy „Lotos” S.A. z Gdańska)
- 50/70 (produkcji PKN „Orlen” z Płocka)
- 50/70 (produkcji Grupy „Lotos” S.A. z Gdańska)

W dalszej części opracowania przyjęto poniższe oznakowane:

20/30 B → asfalt drogowy 20/30 produkcji firmy BP Poland - Ścinawa k. Wrocławia

20/30 N → asfalt drogowy 35/50 produkcji firmy „Nynas” ze Szczecina

35/50 P → asfalt drogowy 35/50 produkcji PKN „Orlen” z Płocka

35/50 G → asfalt drogowy 35/50 produkcji Grupy „Lotos” S.A. z Gdańska

50/70 P → asfalt drogowy 35/50 produkcji PKN „Orlen” z Płocka

50/70 G → asfalt drogowy 35/50 produkcji Grupy „Lotos” S.A. z Gdańska

6. Wyniki badań laboratoryjnych

6.1. Właściwości konwencjonalne

Wyniki badań właściwości asfaltów oraz wybrane parametry obliczone zestawione zostały w tablicy 2.

Tablica 2. Właściwości asfaltów – wyniki badań oraz parametry obliczone

WŁAŚCIWOŚCI	RODZAJ ASFALTU					
	20/30B	20/30N	35/50P	35/50G	50/70P	50/70G
1	2	3	4	5	6	7
Przed starzeniem (O)						
Penetracja w 15°C, 0,1 mm	11	10	17	19	21	23
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	25	24	44	45	64	63
Temp. mięknięcia PiK, °C	63,8	62,4	53	54,6	48	48,8
Temp. łamliwości, °C	-12	-12	-21	-18	-20	-22
Ciągliwość w 15°C, cm	-	-	18	16	99	103
Ciągliwość w 25°C, cm	17	6,5	> 150	> 150	> 150	> 150
Lepkość w 60°C, mPas	-	3545000	671000	804000	27 8667	320500
Lepkość w 90°C, mPas	66007	64809	19147	23117	9889	11850
Lepkość w 115°C, mPas	6557	-	-	-	-	-
Lepkość w 135°C, mPas	1585	1577	755	834	490	559
Temperatura zapłonu, °C	> 240	> 240	> 250	> 240	> 250	> 240
Zawartość parafiny, %	1,87	0,29	1,19	1,4	1,66	-
Zaw. części nier. w toluenie, %	0,529	0,359	0,411	0,404	0,316	-
Przyczepność – bazalt, %	65	55	35	55	45	60
Przyczepność – granit, %	30	30	20	15	25	20
Przyczepność – porfir, %	35	20	15	20	20	25
Przyczepność – wapien, %	80	80	65	70	70	75
PI (Pen-Pen)	0,78	0,34	-0,21	0,44	-1,23	-0,59
PI (Pen-PiK)	0,21	-0,12	-0,77	-0,36	-1,14	-0,96
PP (TPiK-TFraass), °C	76	74	74	73	68	71

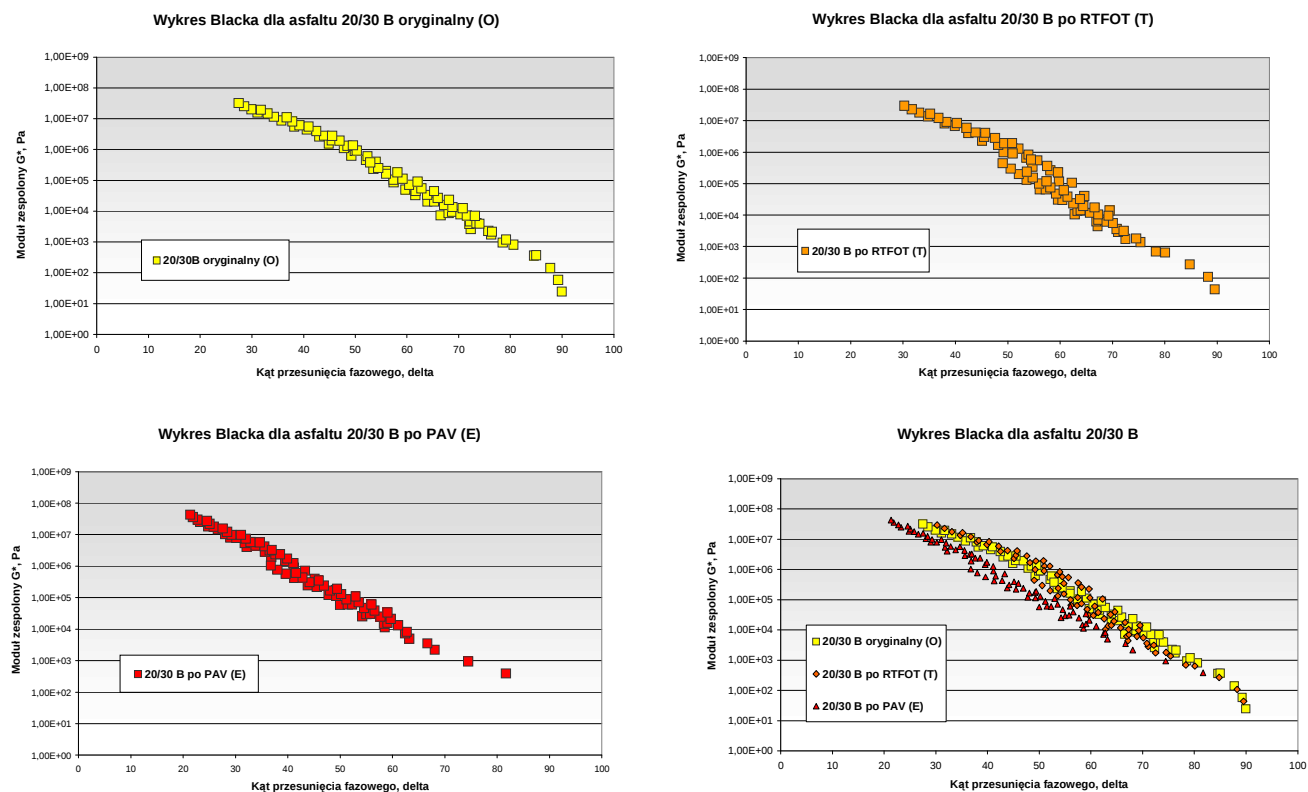
Po starzeniu RTFOT (T)						
Zmiana masy po RTFOT, %	-0,097	-0,131	0,025	0,014	0,014	0,009
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	20	18	31	33	41	43
Temp. mięknięcia PiK, °C	69,6	67,2	59,1	60,4	53,4	53,6
Temp. łamliwości, °C	-10	-12	-20	-17	-19	-21
Ciągliwość w 15°C, cm	-	-	6,5	6	15	15
Ciągliwość w 25°C, cm	7	15	58	40	> 150	> 150
Lepkość w 60°C, mPas	-	-	1813333	2416668	666444	765111
Lepkość w 90°C, mPas	157444	129000	38743	48428	18203	21799
Lepkość w 115°C, mPas	12117	11278	-	-	-	-
Lepkość w 135°C, mPas	2570	2470	1106	1378	702	803
PI (Pen-PiK)	0,73	0,16	-0,23	0,15	-0,83	-0,68
PP (TPiK-TFraass), °C	80	79	79	77	72	75
spadek Pen25, %	20,0	25,0	29,5	26,7	35,9	31,7
wzrost TPiK, °C	5,8	4,8	6,1	5,8	5,4	4,8
Po starzeniu PAV (E)						
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	12	13	18	20	22	24
Temp. mięknięcia PiK, °C	84,2	77,2	68,8	71,3	63,8	62,6
Temp. łamliwości, °C	-5	-10	-17	-13	-17	-20
PI (Pen-PiK)	1,81	1,05	0,41	0,99	-0,04	-0,08
PP (TPiK-TFraass), °C	89	87	86	84	81	83
spadek Pen25, %	40,0	27,8	41,9	39,4	46,3	44,2
wzrost TPiK, °C	14,6	10,0	9,7	10,9	10,4	9,0
całkowity spadek Pen25, %	52,0	45,8	59,1	55,6	65,6	61,9
całkowity wzrost TPiK, °C	20,4	14,8	15,8	16,7	15,8	13,8

6.2. Wyniki badań - DSR

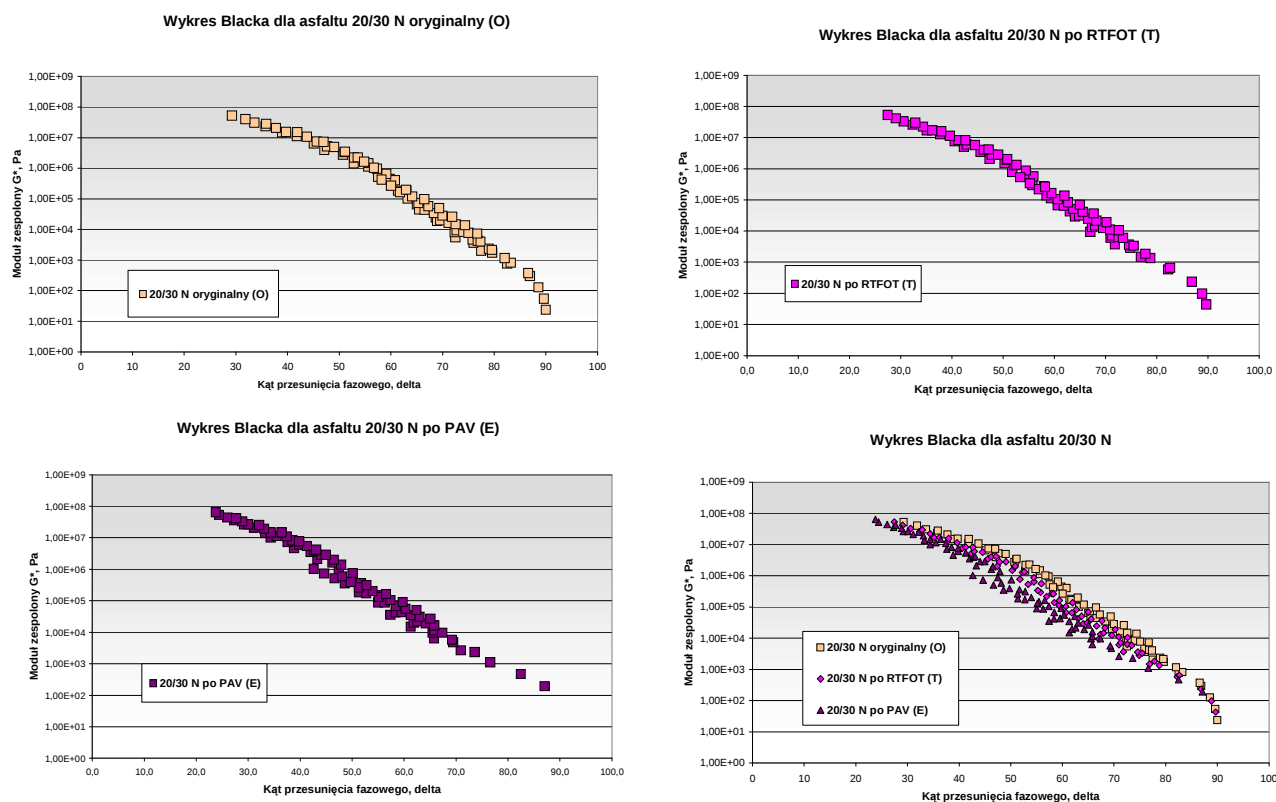
Szczegółowe wyniki badań modułu dynamicznego ścinania zostały przedstawione w załączniku 1. Natomiast graficzną interpretację wyników przedstawiono na rysunkach od 1 do 6, tj.:

- Rys. 1 Wyniki badań DSR – asfalt 20/30 B w trzech stanach (O), (T), (E)
- Rys. 2 Wyniki badań DSR – asfalt 20/30 N w trzech stanach: (O), (T), (E)
- Rys. 3 Wyniki badań DSR – asfalt 35/50 P w trzech stanach: (O), (T), (E)
- Rys. 4 Wyniki badań DSR – asfalt 35/50 G w trzech stanach: (O), (T), (E)
- Rys. 5 Wyniki badań DSR – asfalt 50/70 P w trzech stanach: (O), (T), (E)
- Rys. 6 Wyniki badań DSR – asfalt 50/70 G w trzech stanach: (O), (T), (E)

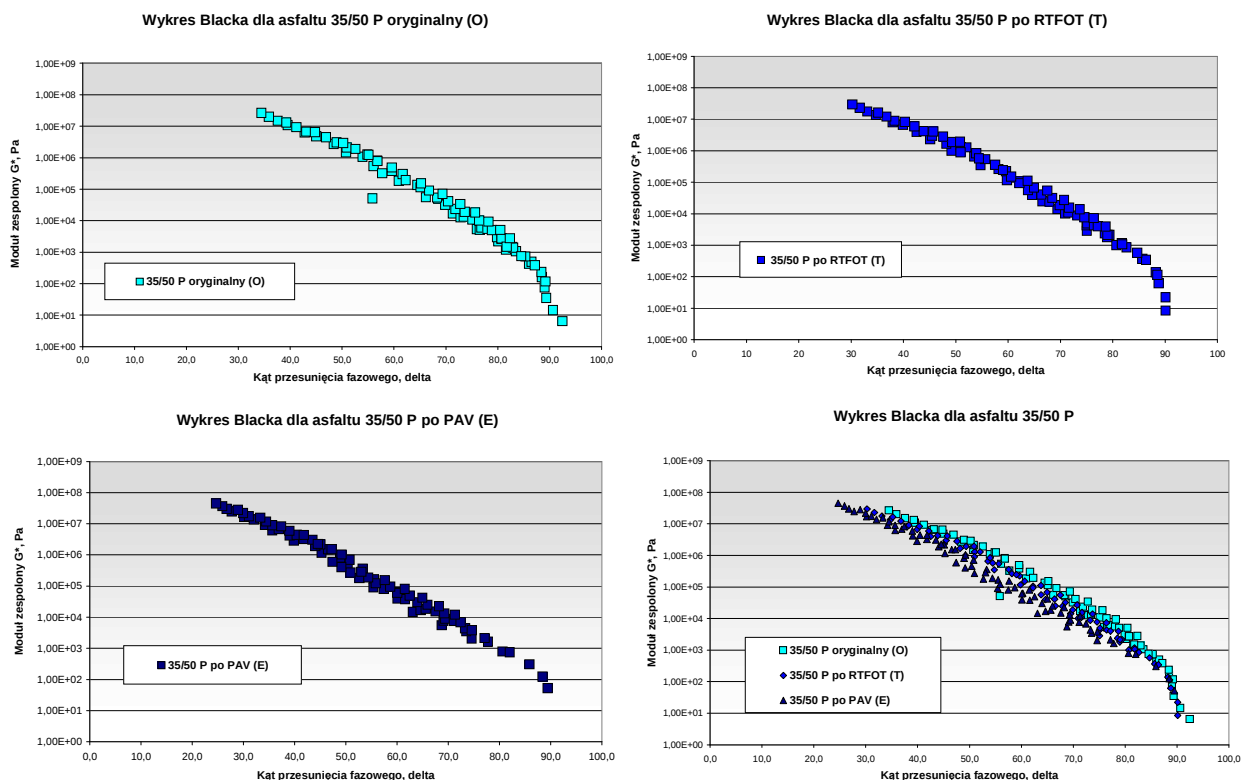
Badanie modułu zespolonego ścinania przeprowadzono w reometrze dynamicznego ścinania CLS²₁₀₀ (Dynamic Shear Rheometer - DSR). Wyniki oznaczono w 13 temperaturach (od 10 do 82°C), krok co 6°C, w 6 częstotliwościach z zakresu 0,1 do 40Hz. Dla temperatury od 10 do 40°C przyjęto geometrię próbki 25 mm o wysokości 1000 µm, dla temperatury 46 do 82°C przyjęto geometrię próbki 8 mm o wysokości 2000 µm. Próbkę termostatowano z dokładnością do 0,1°C.



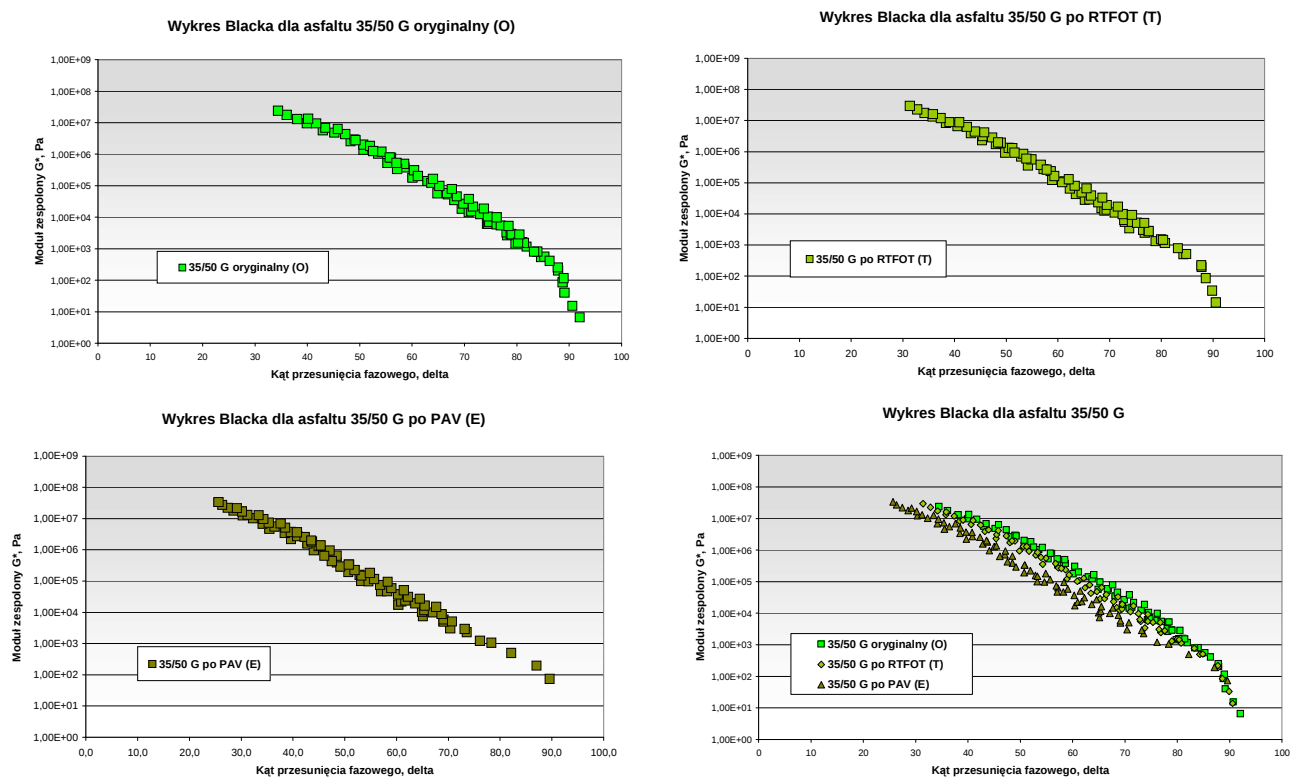
Rys. 1. Wyniki badań DSR – asfalt 20/30 B w trzech stanach (O), (T), (E)



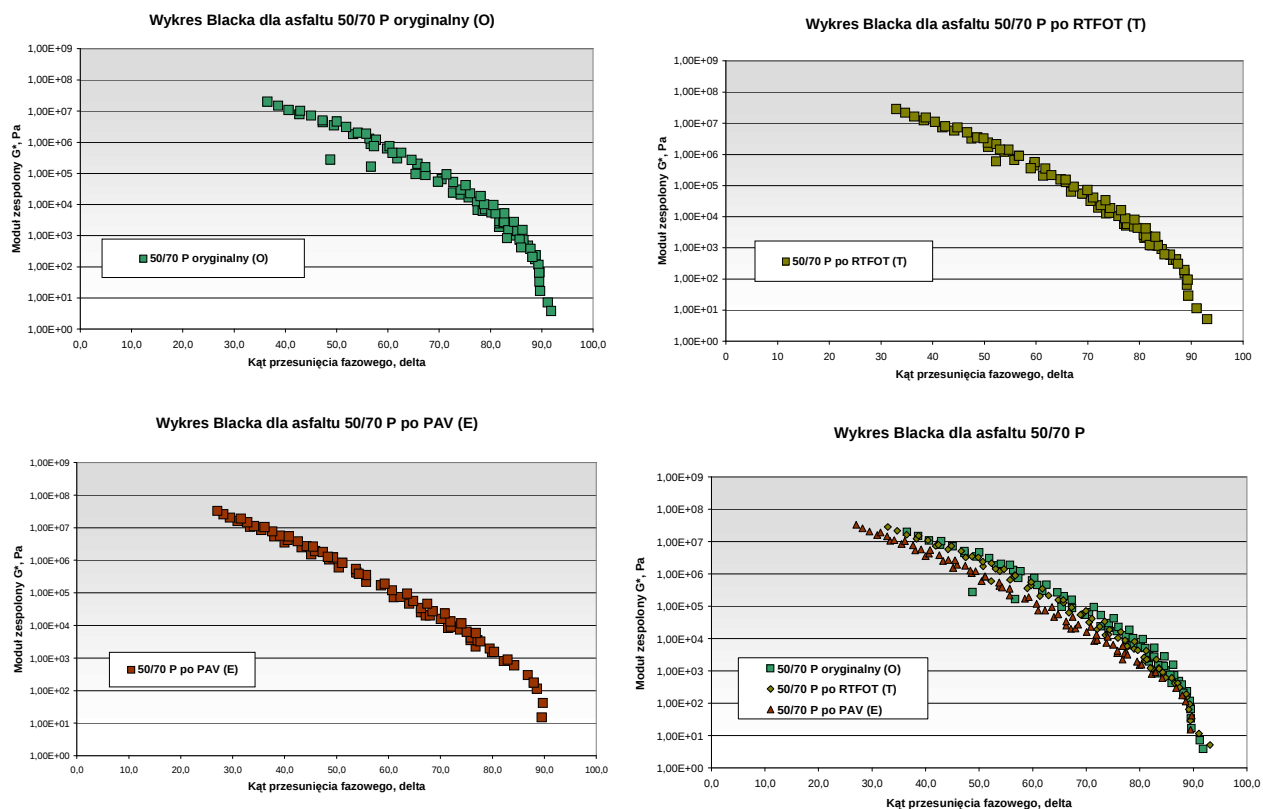
Rys. 2. Wyniki badań DSR – asfalt 20/30 N w trzech stanach: (O), (T), (E)



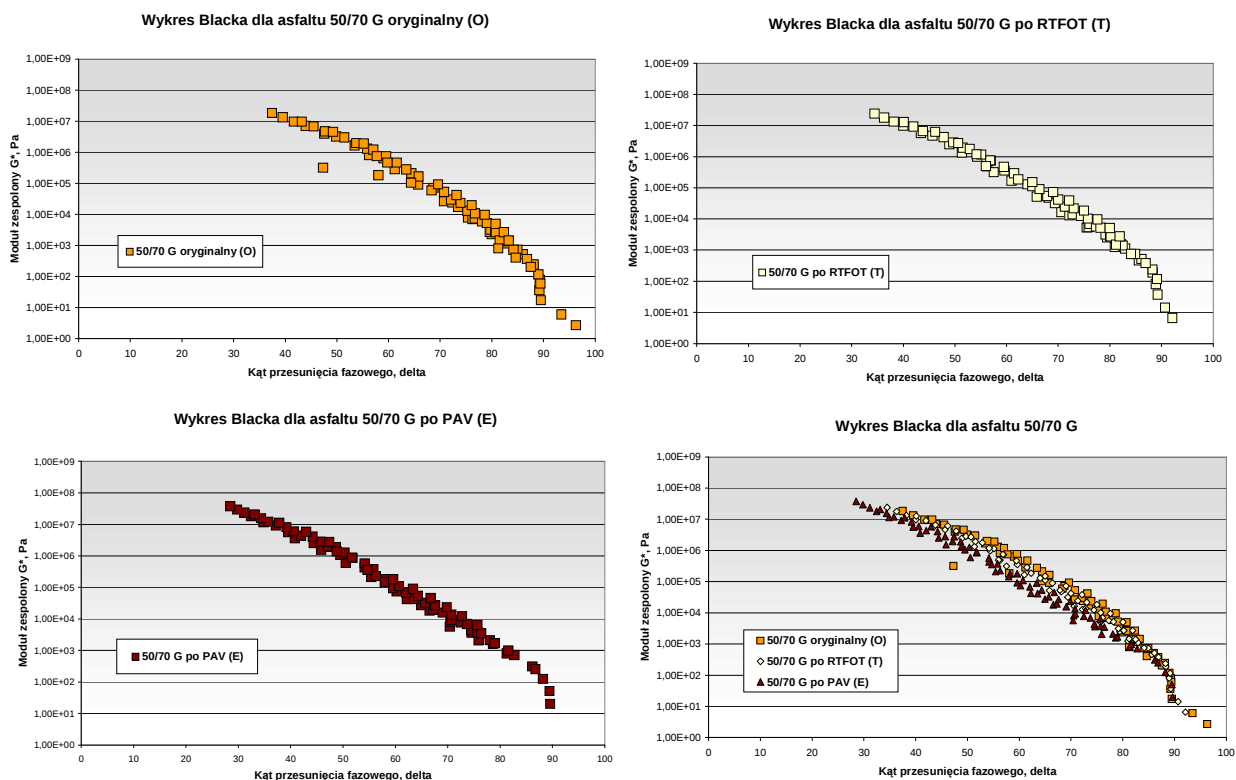
Rys. 3. Wyniki badań DSR – asfalt 35/50 P w trzech stanach: (O), (T), (E)



Rys. 4. Wyniki badań DSR – asfalt 35/50 G w trzech stanach: (O), (T), (E)



Rys. 5. Wyniki badań DSR – asfalt 50/70 P w trzech stanach: (O), (T), (E)



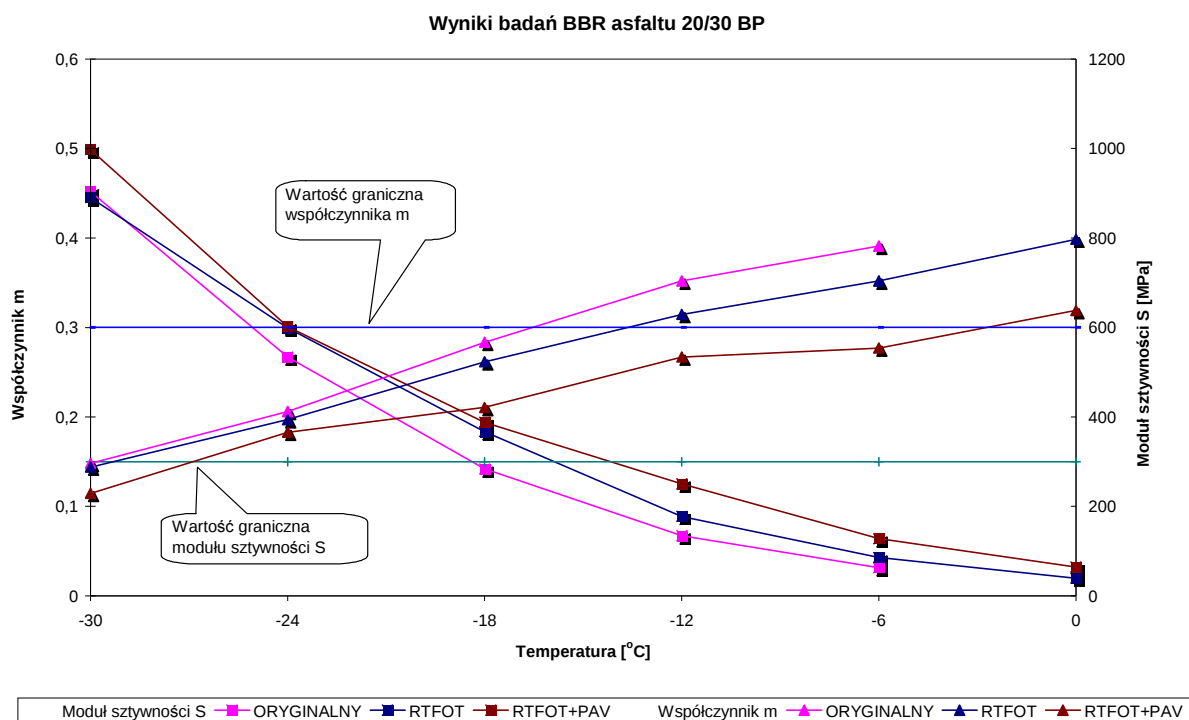
Rys. 6. Wyniki badań DSR – asfalt 50/70 G w trzech stanach: (O), (T), (E)

6.3. Wyniki badań - BBR

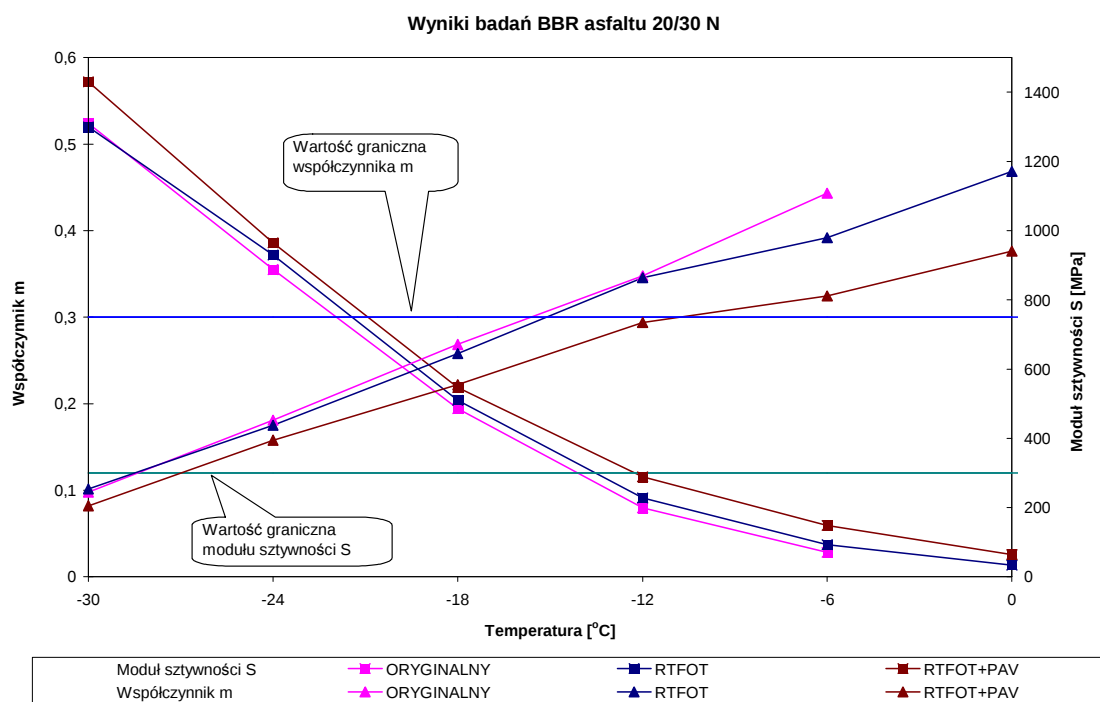
Wyniki badań BBR zestawione zostały w tablicy 3 oraz na rysunkach od 7 do 12.

Tablica 3. Wyniki badań BBR

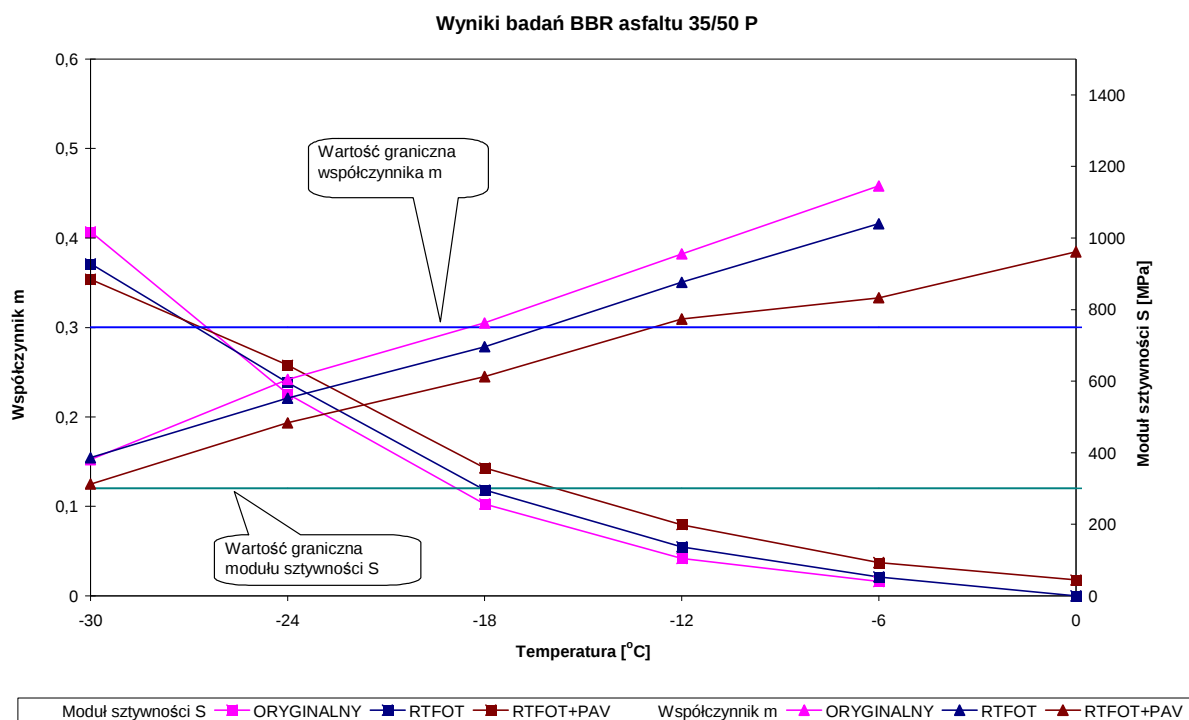
Asfalt oryginalny (O)							
Temperatura	Cecha	20/30 B	20/30 N	35/50 P	35/50 G	50/70 P	50/70 G
0	Moduł sztywności S	-	-	-	-	-	-
	Współczynnik m	-	-	-	-	-	-
-6	Moduł sztywności S	63	71	40	-	-	-
	Współczynnik m	0,391	0,444	0,458	-	-	-
-12	Moduł sztywności S	135	199	105	85	100	74
	Współczynnik m	0,352	0,348	0,382	0,408	0,417	0,442
-18	Moduł sztywności S	284	486	257	223	232	210
	Współczynnik m	0,284	0,269	0,305	0,330	0,335	0,356
-24	Moduł sztywności S	534	888	565	525	508	477
	Współczynnik m	0,206	0,181	0,242	0,246	0,244	0,257
-30	Moduł sztywności S	904	1310	1018	855	904	871
	Współczynnik m	0,148	0,098	0,153	0,170	0,166	0,168
Asfalt po starzeniu RTFOT (T)							
Temperatura	Cecha	20/30 B	20/30 N	35/50 P	35/50 G	50/70 P	50/70 G
0	Moduł sztywności S	40	34	-	-	-	-
	Współczynnik m	0,399	0,469	-	-	-	-
-6	Moduł sztywności S	85	93	53	47	36	40
	Współczynnik m	0,352	0,392	0,416	0,423	0,472	0,461
-12	Moduł sztywności S	178	228	137	127	96	106
	Współczynnik m	0,315	0,346	0,351	0,355	0,402	0,398
-18	Moduł sztywności S	367	511	296	265	267	259
	Współczynnik m	0,262	0,258	0,279	0,289	0,320	0,306
-24	Moduł sztywności S	599	930	596	526	565	557
	Współczynnik m	0,197	0,175	0,221	0,212	0,229	0,233
-30	Moduł sztywności S	891	1300	928	887	905	922
	Współczynnik m	0,144	0,102	0,155	0,162	0,143	0,155
Asfalt po starzeniu RTFOT+PAV (E)							
Temperatura	Cecha	20/30 B	20/30 N	35/50 P	35/50 G	50/70 P	50/70 G
0	Moduł sztywności S	65	64	45	36	33	-
	Współczynnik m	0,319	0,377	0,385	0,385	0,422	-
-6	Moduł sztywności S	128	149	93	80	78	60
	Współczynnik m	0,277	0,325	0,333	0,344	0,366	0,390
-12	Moduł sztywności S	251	289	199	171	182	158
	Współczynnik m	0,267	0,294	0,310	0,312	0,322	0,343
-18	Moduł sztywności S	388	547	358	345	335	330
	Współczynnik m	0,211	0,222	0,245	0,259	0,259	0,264
-24	Moduł sztywności S	602	965	645	627	616	607
	Współczynnik m	0,183	0,158	0,194	0,193	0,201	0,212
-30	Moduł sztywności S	998	1430	885	1005	901	980
	Współczynnik m	0,115	0,082	0,125	0,139	0,144	0,149



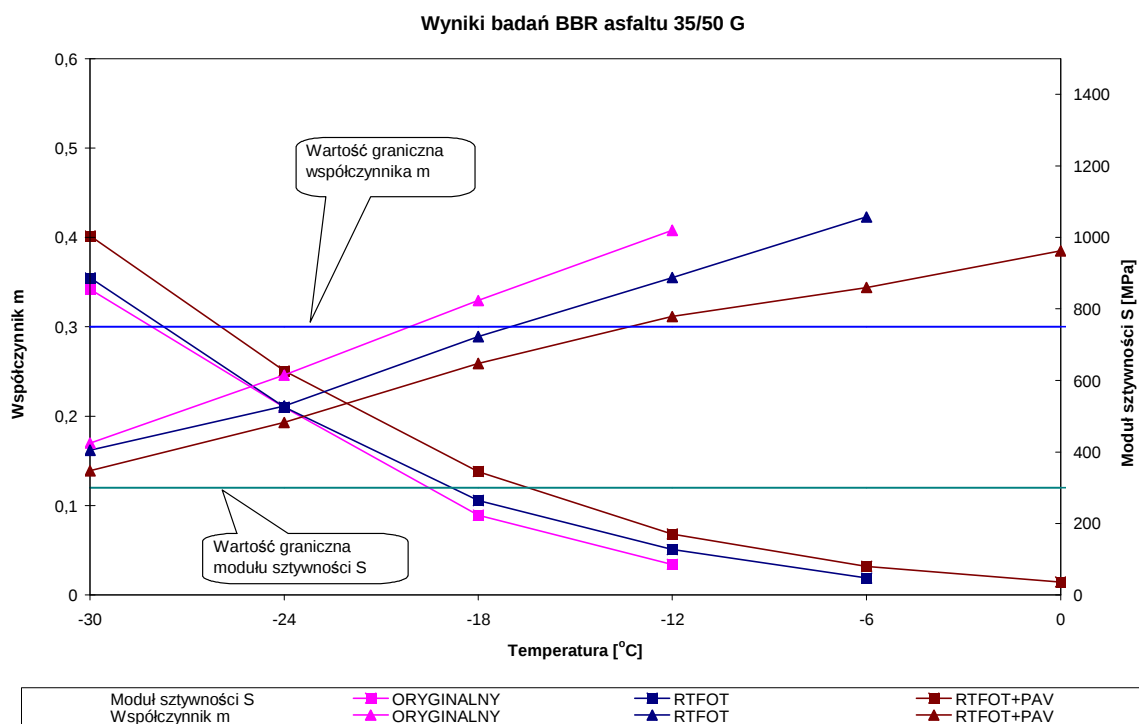
Rys. 7. Wyniki badań BBR – asfalt 20/30 B



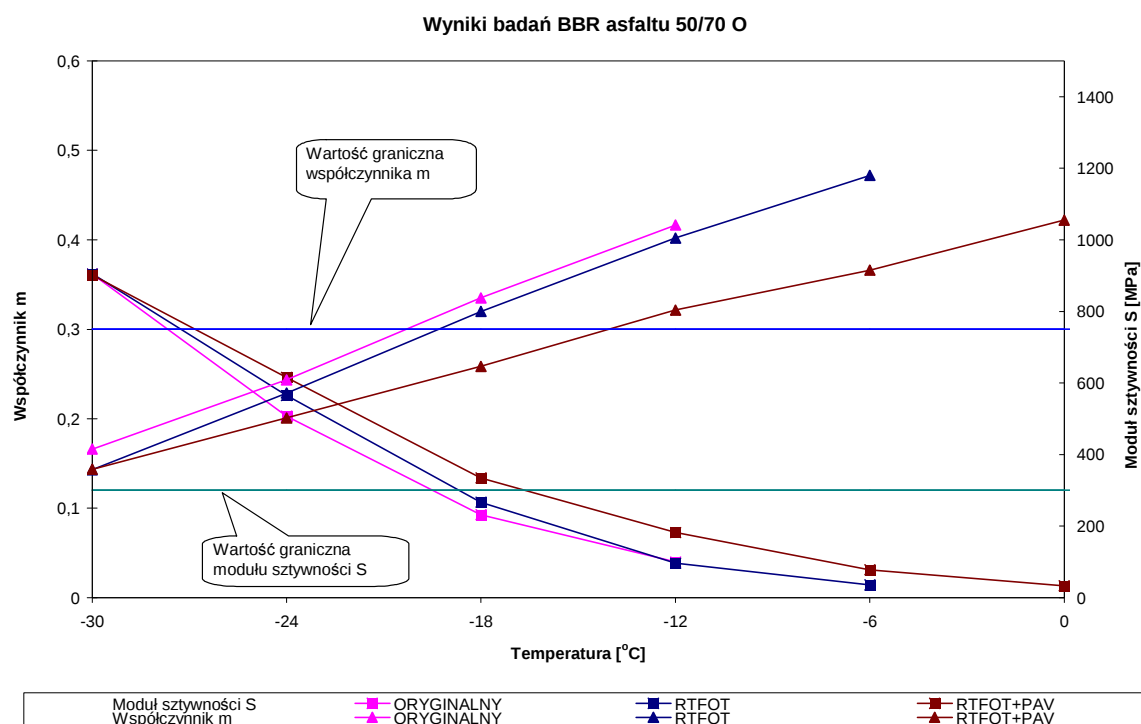
Rys. 8. Wyniki badań BBR – asfalt 20/30 N



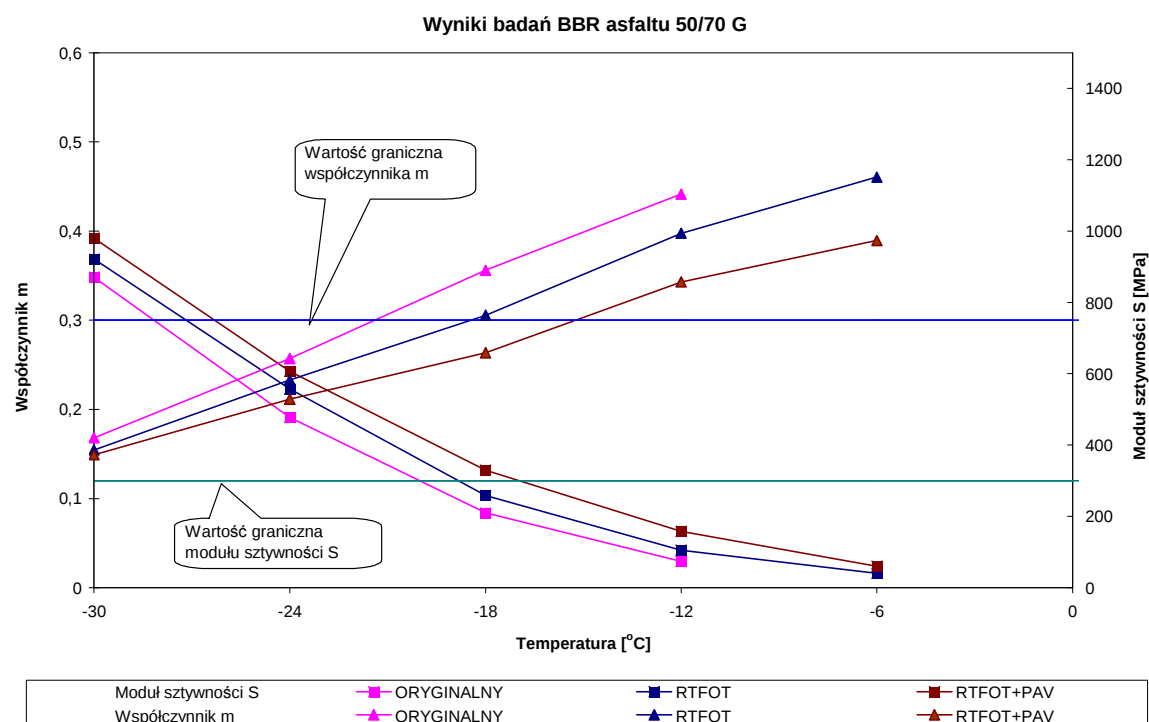
Rys. 9. Wyniki badań BBR – asfalt 35/50 P



Rys. 10. Wyniki badań BBR – asfalt 35/50 G



Rys. 11. Wyniki badań BBR – asfalt 50/70 P



Rys. 12. Wyniki badań BBR – asfalt 50/70 G

6.4. Badanie ciągliwości lepiszczy z pomiarem siły

Badanie ciągliwości wykonano w trzech stanach (O, T, E) dla wszystkich asfaltów w temperaturze 5 °C, 10 °C, 15 °C i 25 °C przy prędkości rozciągania 50 mm/min, przy czym w kilku przypadkach, w niskiej temperaturze zastosowano prędkość rozciągania o wartości 5 mm/min, z uwagi na pękanie próbek w blokach foremki w momencie rozpoczęcia procesu rozciągania.

Wyniki badań (średnie arytmetyczne) ciągliwości (mm), maksymalnej siły rozciągającej (N) i pracy odkształcenia (N*mm) przy prędkości rozciągania 50 mm/min przedstawiono w tablicy 4, a przy prędkości rozciągania 5 mm/min w tablicy 5. Szczegółowe wyniki badań ciągliwości zestawione zostały w załączniku 2.

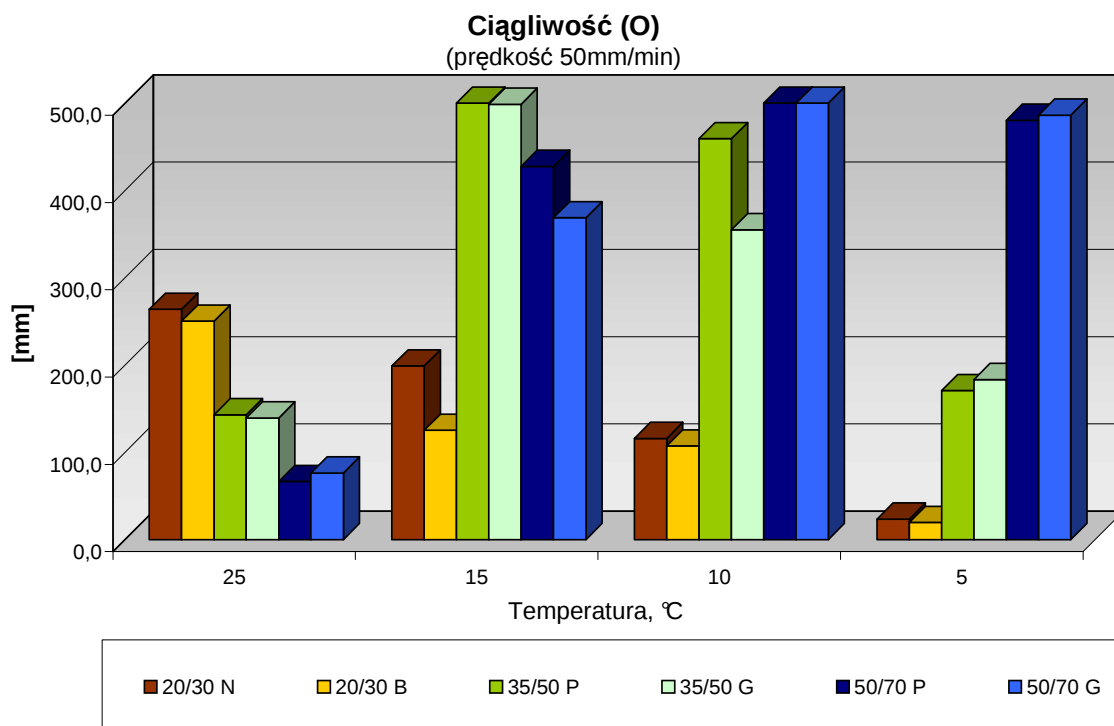
Tablica 4. Zbiorcze zestawienie wyników badań ciągliwości pomiarem siły - prędkość rozciągania 50mm/min

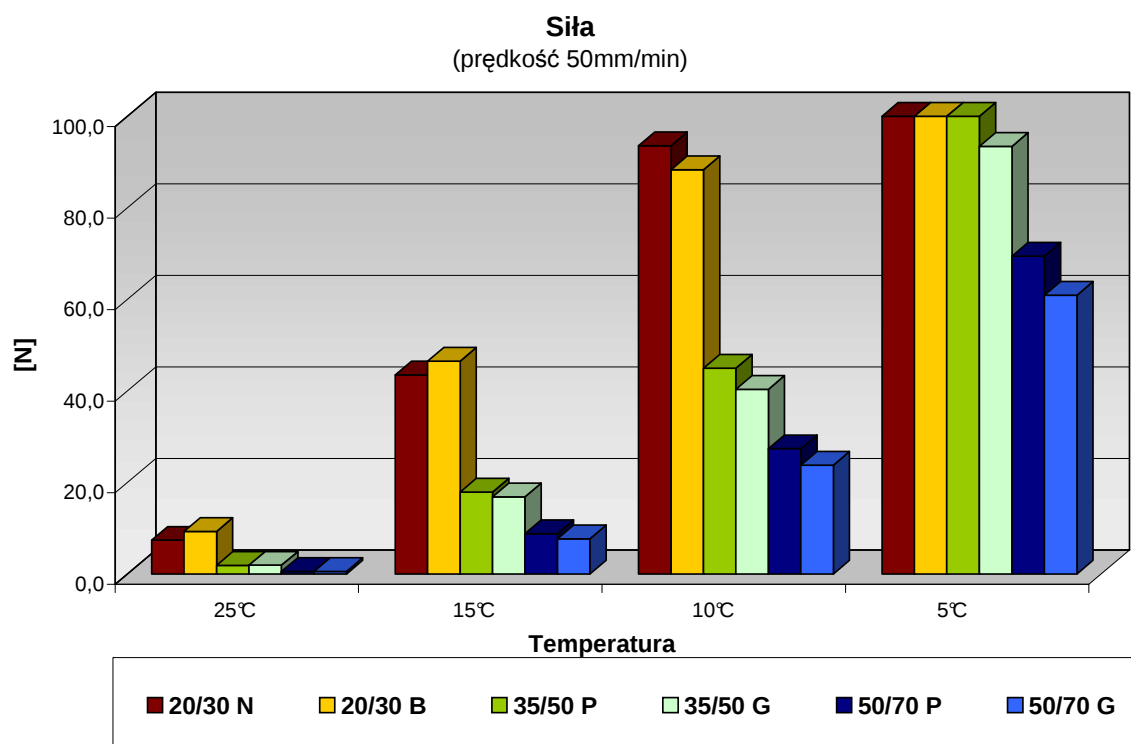
Stan	Rodzaj asfaltu	PRACA ODKSZTAŁCENIA, N*mm				SIŁA, N				CIĄGLIWOŚĆ, mm				
		25°C	15°C	10°C	5°C	25°C	15°C	10°C	5°C	25°C	15°C	10°C	C	5°C
(O)	20/30 N	537,7	2857,4	5103,1	2600,8	7,3	43,5	93,6	189,0	263,8	198,9	115,9	23,4	
	20/30 B	647,7	2511,4	4307,6	752,8	9,3	46,5	88,3	169,2	250,3	125,1	107,4	19,8	
	35/50 P	95,1	1421,3	3449,8	5856,8	1,9	17,9	45,0	100,7	143,0	530,9	459,3	170,7	
	35/50 G	99,8	1352,4	3090,1	5184,6	1,9	16,8	40,3	93,5	139,2	498,5	354,8	183,3	
	50/70 P	81,6	646,2	2255,6	4881,0	0,5	8,8	27,4	69,5	66,6	427,5	763,0	480,1	
	50/70 G	18,0	575,8	1935,3	4790,9	0,6	7,7	23,8	60,9	76,4	368,8	546,4	486,1	
(T)	20/30 N	1284,0	4793,6	5551,6	5168,2	15,8	73,1	133,9	406,5	399,6	177,2	74,5	19,8	
	20/30 B	1262,9	3501,2	3574,4	120,9	19,2	71,7	128,0	108,5	236,4	99,0	47,3	11,6	
	35/50 P	375,3	2372,7	4315,6	6699,5	5,4	34,9	74,4	154,0	266,6	268,0	158,1	91,4	
	35/50 G	379,1	2173,1	4178,4	5505,5	5,6	32,2	69,7	138,7	287,2	229,5	162,5	89,1	
	50/70 P	108,7	1609,7	3666,6	6532,3	2,1	20,2	49,5	114,4	152,4	534,1	351,2	250,0	
	50/70 G	58,2	1341,1	3116,5	5388,1	1,3	16,4	41,1	92,5	128,6	567,1	357,9	192,5	
(E)	20/30 N	2876,4	5839,8	149,1	11,4	43,7	133,7	107,7	12,8	182,8	82,4	6,3	7,9	
	20/30 B	2089,9	2287,8	260,3	33,7	47,8	32,4	157,6	38,6	99,7	195,0	7,7	8,0	
	35/50 P	1452,4	3903,9	5263,1	246,5	20,8	81,8	141,8	163,4	249,8	99,0	65,9	9,0	
	35/50 G	1308,1	3728,7	5568,9	405,2	21,3	79,9	136,0	188,6	191,0	91,1	74,7	9,9	
	50/70 P	819,8	3107,7	5893,4	329,8	12,1	56,0	56,9	174,3	250,3	148,2	140,8	11,9	
	50/70 G	660,9	3110,8	4879,8	3430,9	9,7	48,1	97,9	181,8	256,3	192,6	130,3	42,4	

Tablica 5. Zbiorcze zestawienie wyników badań ciągliwości z pomiarem siły - prędkość rozciągania 5 mm/min

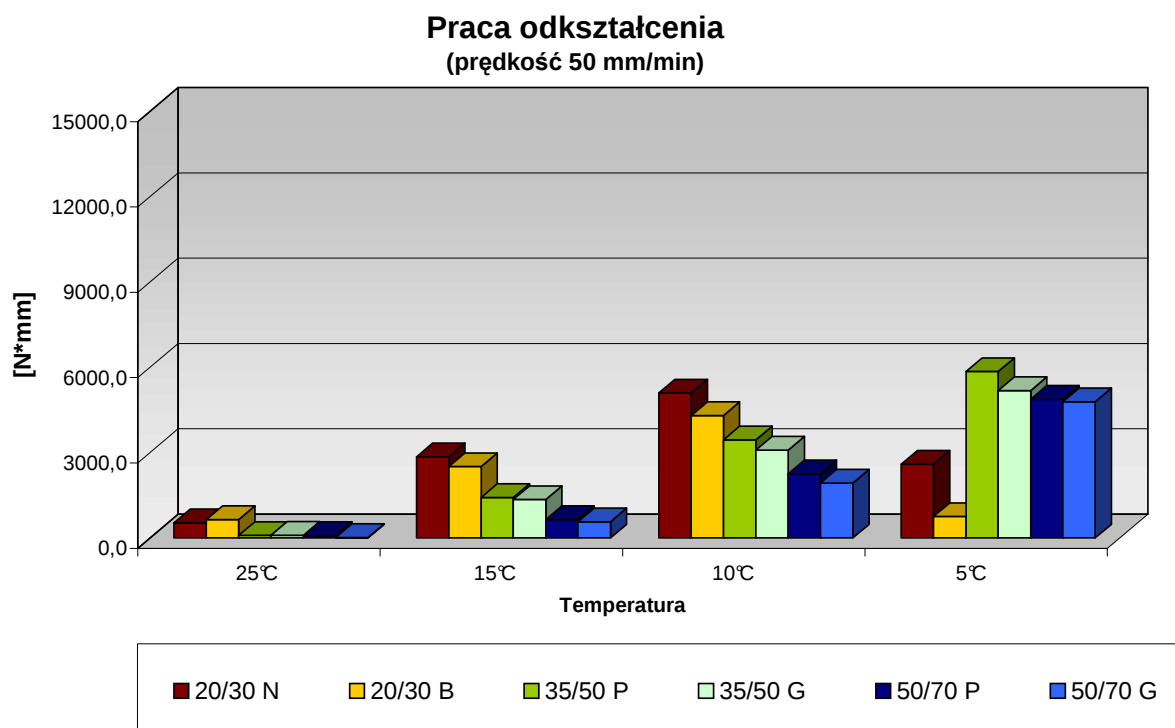
Stan	Rodzaj asfaltu	PRACA ODKSZTAŁCENIA, N*mm	SIŁA, N	CIĄGLIWOŚĆ, mm
		5°C	5°C	5°C
(O)	20/30 N	3039	93,3	54,8
	20/30 B	846	81,6	16,7
	35/50 P	2690	47,1	131,7
	35/50 G	2678	38,4	184,1
(T)	20/30 N	286	99,0	6,9
	20/30 B	273	96,2	7,0
	35/50 P	2895	74,5	68,8
	35/50 G	2759	60,9	84,0
(E)	20/30 N	217	114,3	8,9
	20/30 B	64	96,0	4,3
	35/50 P	1182	114,8	28,1
	35/50 G	856	97,4	15,0

Wyniki badań ciągliwości, maksymalnej siły rozciągającej i pracy odkształcenia lepiszczy asfaltowych przy prędkości rozciągania 50 mm/min w stanie (O) przedstawiono zbiorczo na rysunkach 13-15 i dla poszczególnych lepiszczy na rysunkach 15 – 24. Dodatkowo na rysunkach 34-36 przedstawiono zbiorcze zestawienie wyników ciągliwości, siły rozciągającej, pracy odkształcenia wszystkich badanych asfaltów z uwzględnieniem stanu (O, T, E) i temperatury badania (5 °C, 10 °C, 15 °C, 25 °C).

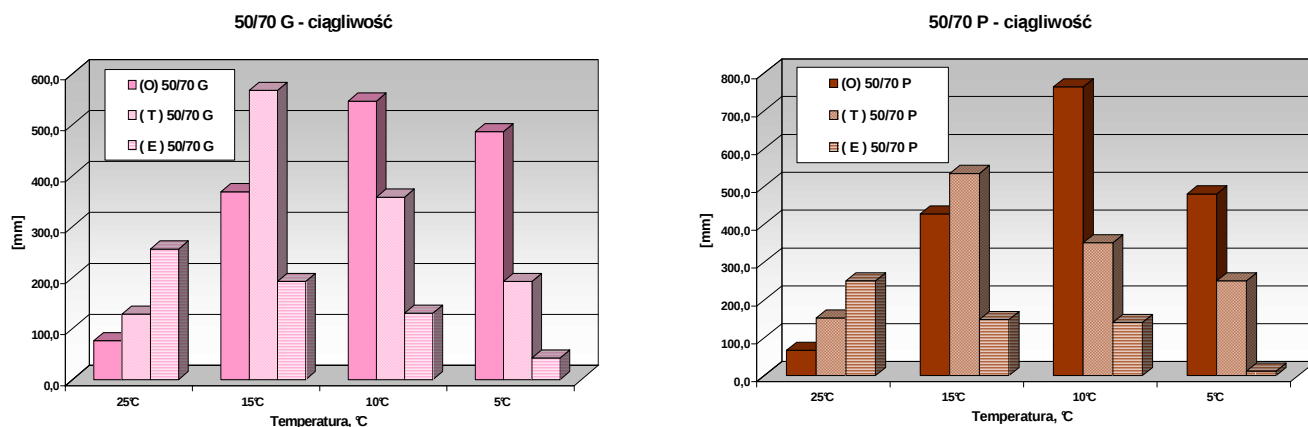
**Rys. 13.** Ciągliwość asfaltów w zależności od temperatury badania przy prędkości rozciągania 50 mm/min w stanie (O)



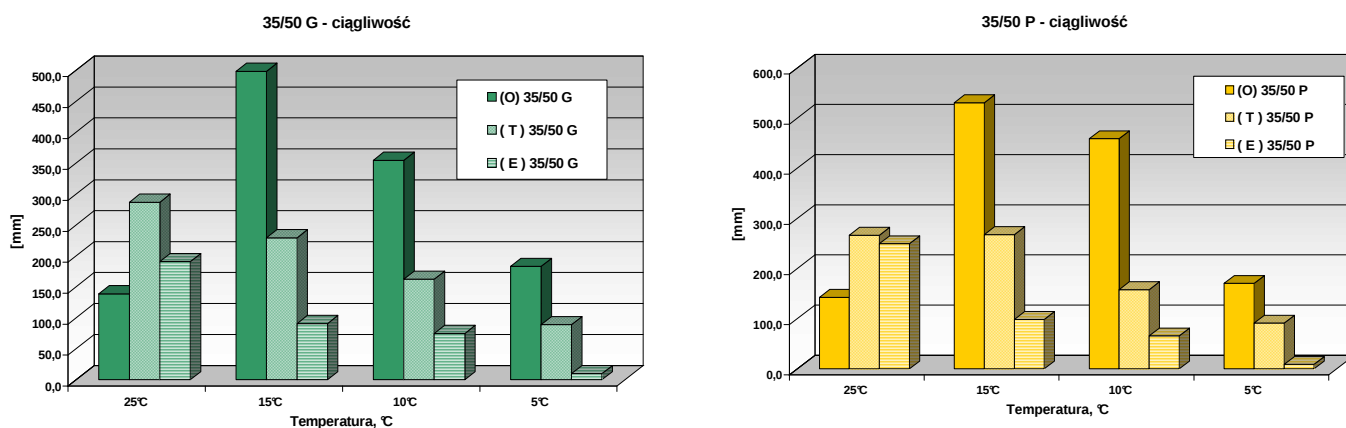
Rys. 14. Maksymalna siła rozciągająca asfaltów w zależności od temperatury badania przy prędkości rozciągania 50 mm/min w stanie (O)



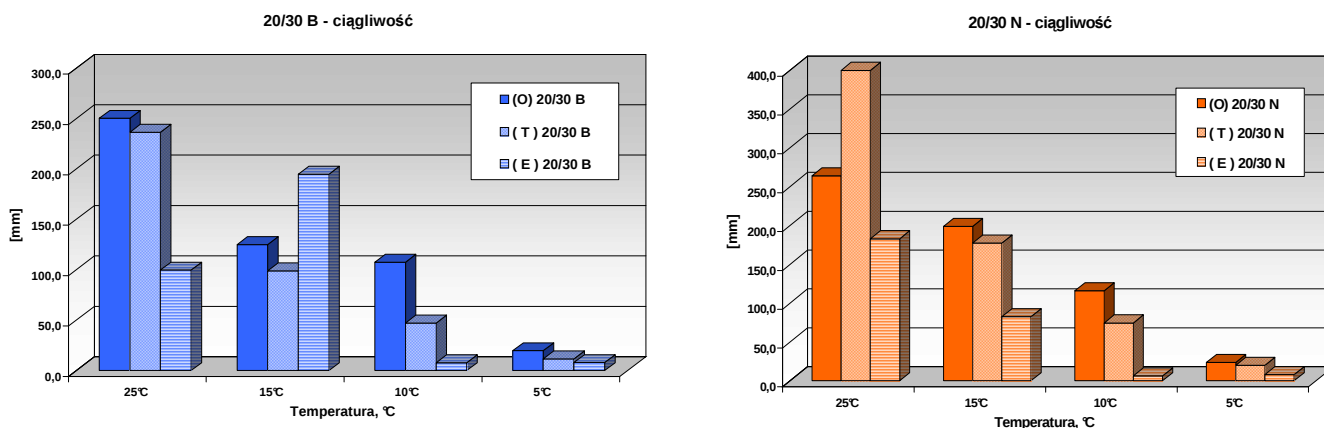
Rys. 15. Praca odkształcenia asfaltów w zależności od temperatury badania przy prędkości rozciągania 50 mm/min w stanie (O)



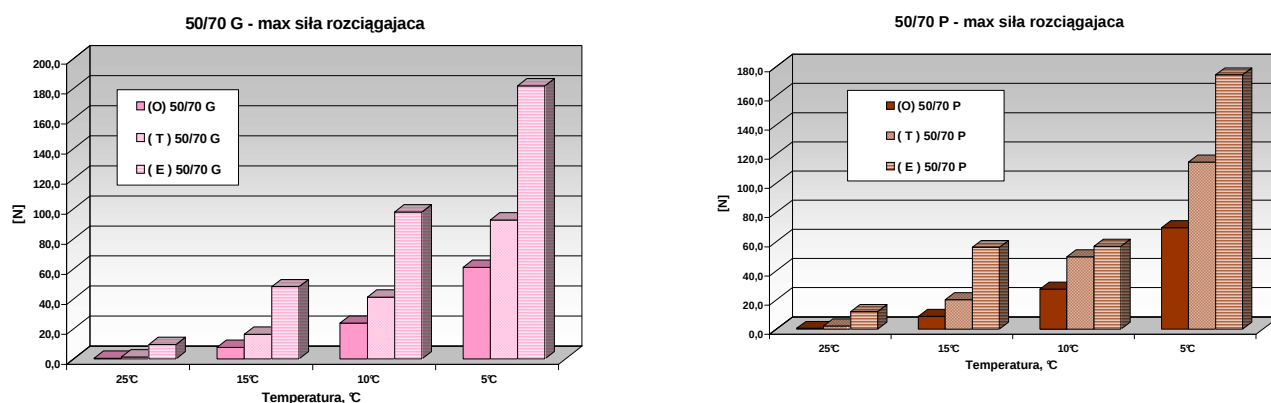
Rys. 16. Ciągłość asfaltów 50/70 w zależności od temperatury badania i stanu lepszca przy prędkości rozciągania 50 mm/min



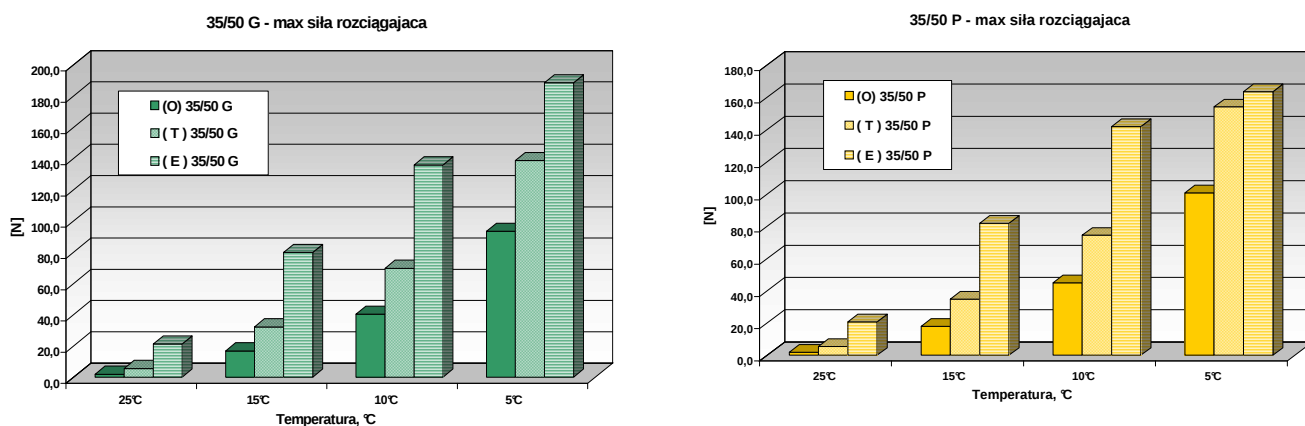
Rys. 17. Ciągłość asfaltów 35/50 w zależności od temperatury badania i stanu lepszca przy prędkości rozciągania 50 mm/min



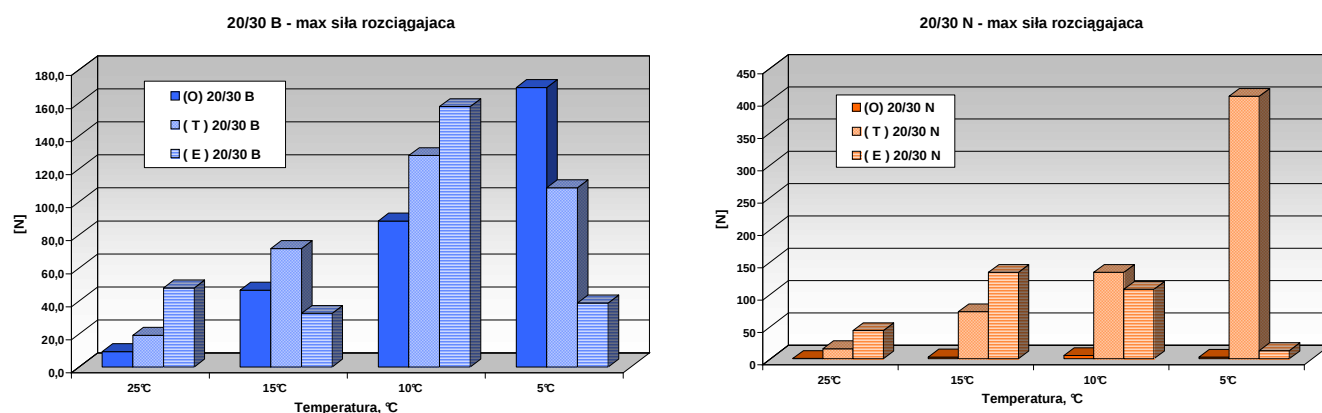
Rys. 18. Ciągłość asfaltów 20/30 w zależności od temperatury badania i stanu lepszca przy prędkości rozciągania 50 mm/min



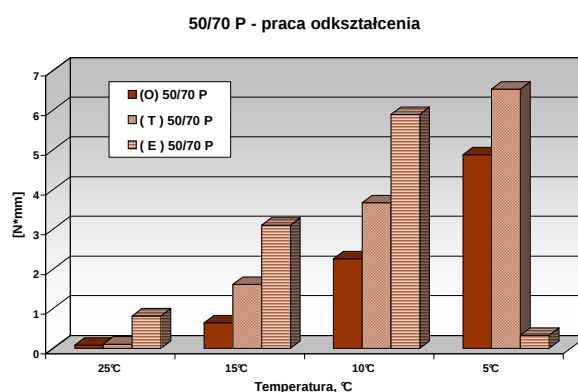
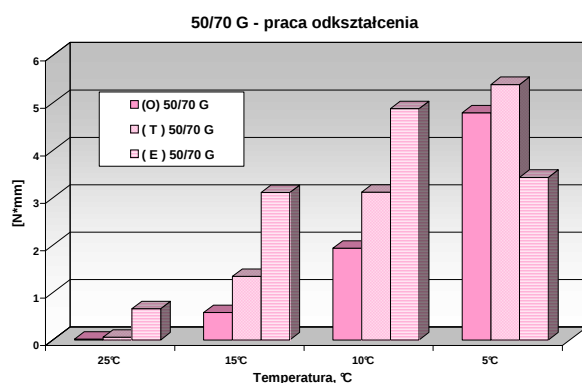
Rys. 19. Maksymalna siła rozciągająca dla asfaltów 50/70 w zależności od temperatury badania i stanu lepiszcza przy prędkości rozciągania 50 mm/min



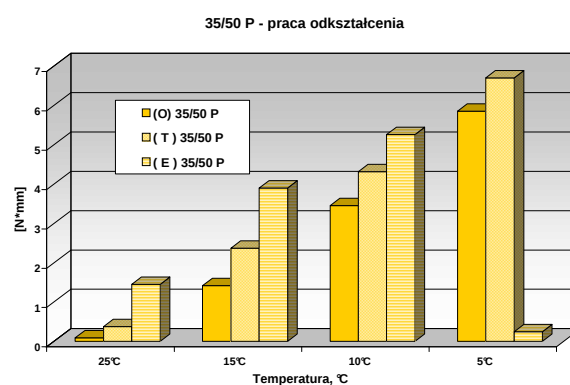
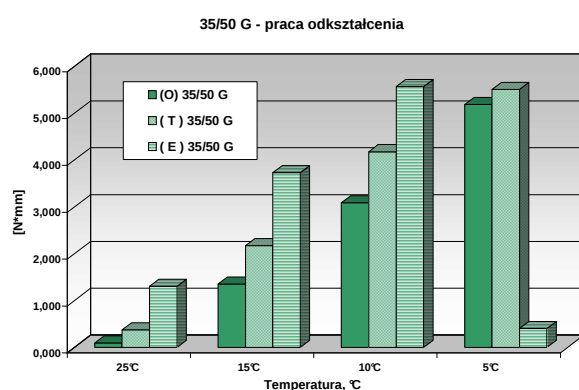
Rys. 20. Maksymalna siła rozciągająca dla asfaltów 35/50 w zależności od temperatury badania i stanu lepiszcza przy prędkości rozciągania 50 mm/min



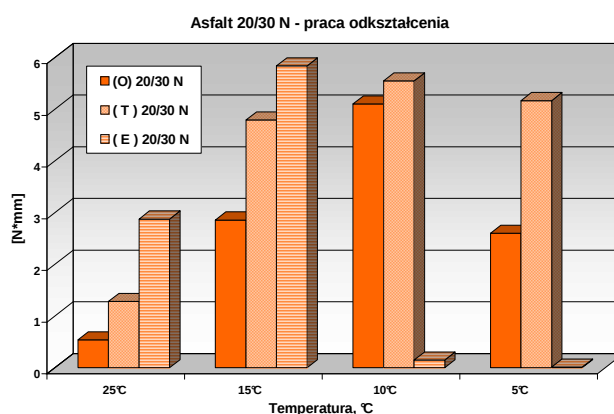
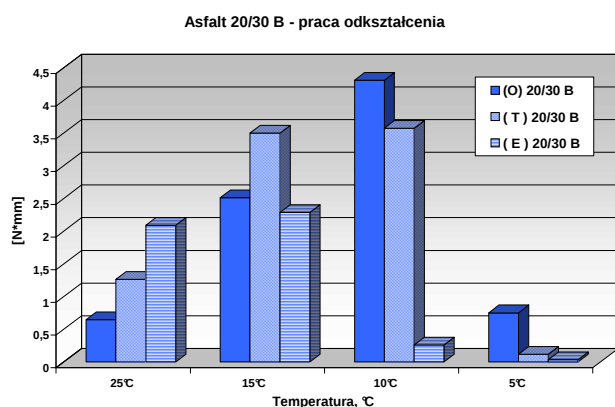
Rys. 21. Maksymalna siła rozciągająca dla asfaltów 20/30 w zależności od temperatury badania i stanu lepiszcza przy prędkości rozciągania 50 mm/min



Rys. 22. Praca odkształcenia dla asfaltów 50/70 w zależności od temperatury badania i stanu lepiscza przy prędkości rozciągania 50 mm/min

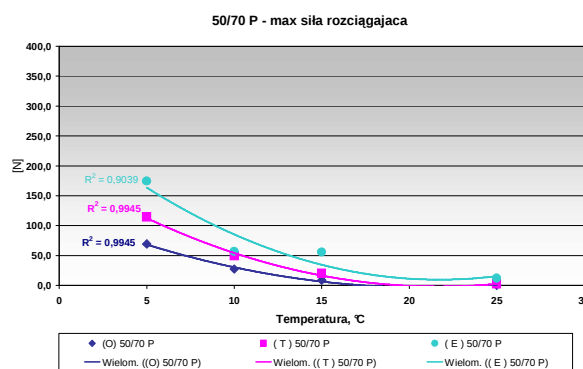
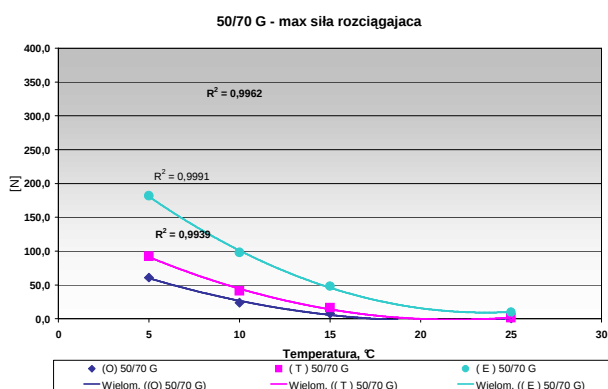


Rys. 23. Praca odkształcenia dla asfaltów 35/50 w zależności od temperatury badania i stanu lepiscza przy prędkości rozciągania 50 mm/min

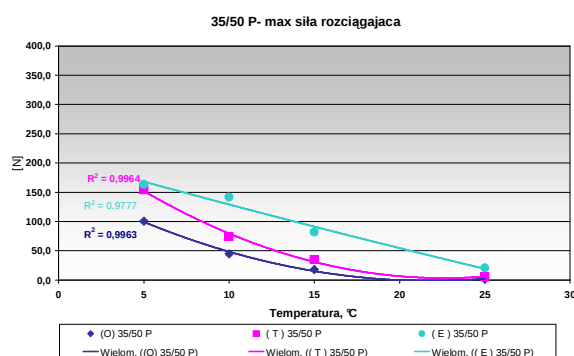
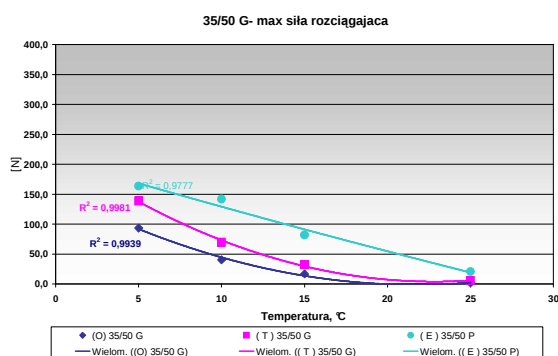


Rys. 24. Praca odkształcenia dla asfaltów 20/30 w zależności od temperatury badania i stanu lepiscza przy prędkości rozciągania 50 mm/min

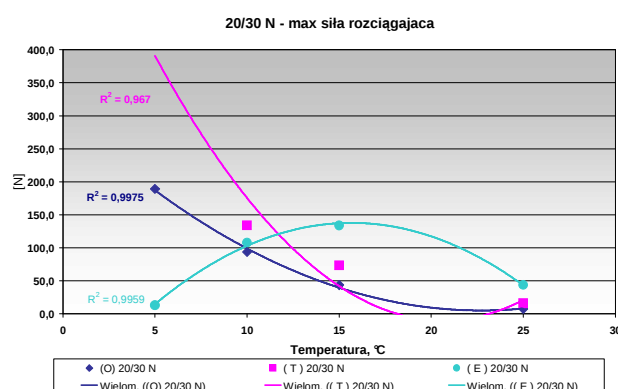
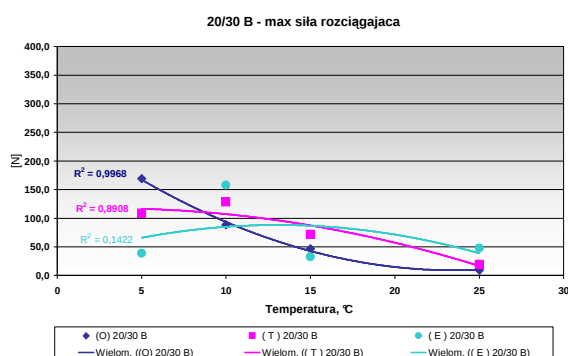
Na rysunkach 25 – 33 przedstawiono wykresy pracy odkształcenia, maksymalnej siły rozciągającej i ciągliwości poszczególnych lepisczy w zależności od temperatury i stanu lepiscza O, T, E przy prędkości rozciągania 50 mm/min.



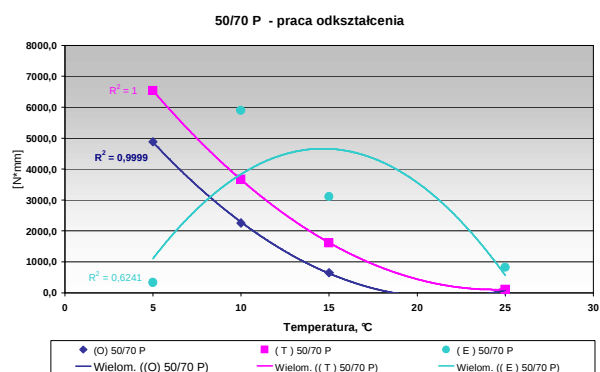
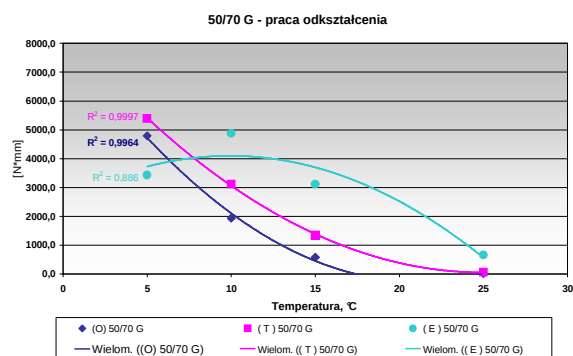
Rys. 25. Zależność maksymalnej siły rozciągającej od temperatury badania asfaltów 50/70 przy prędkości rozciągania 50 mm/min



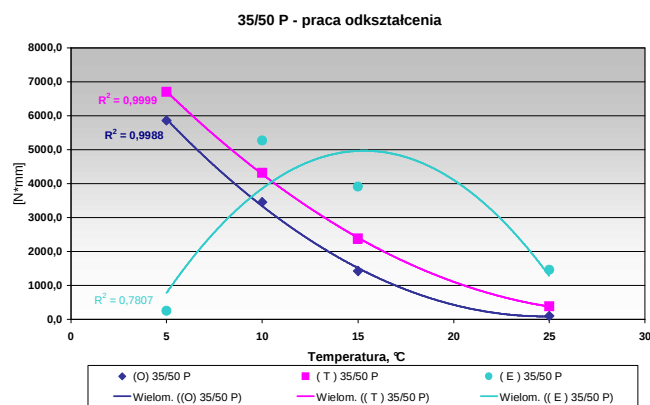
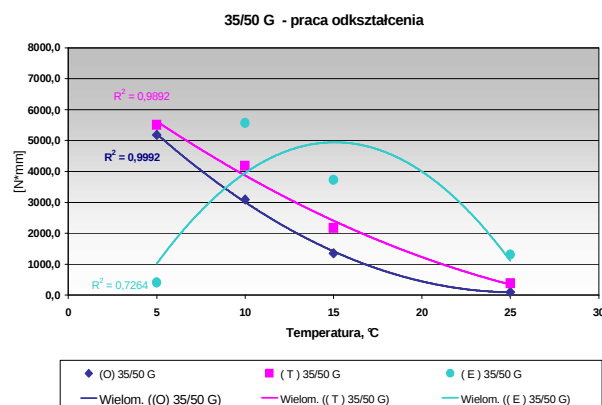
Rys. 26. Zależność maksymalnej siły rozciągającej od temperatury badania asfaltów 35/50 przy prędkości rozciągania 50 mm/min



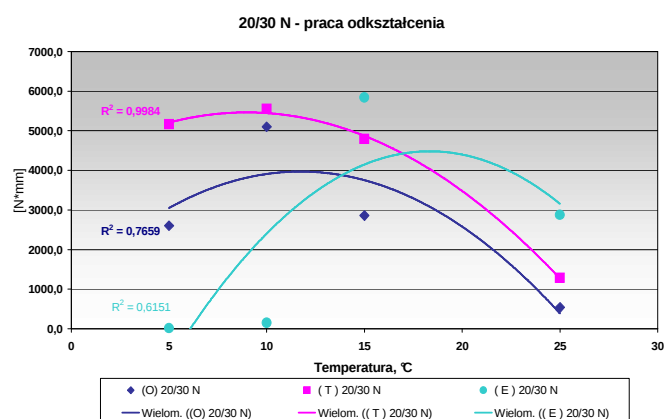
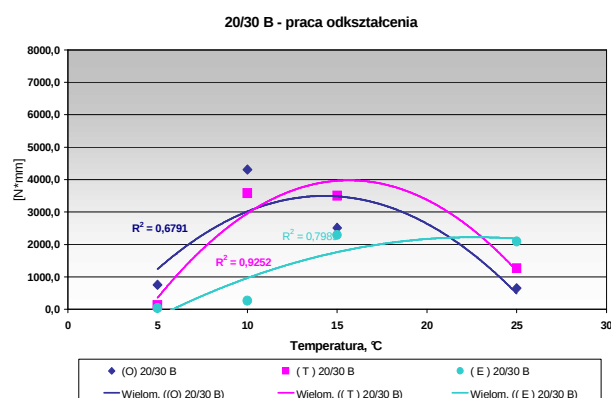
Rys. 27. Zależność maksymalnej siły rozciągającej od temperatury badania asfaltów 20/30 przy prędkości rozciągania 50 mm/min



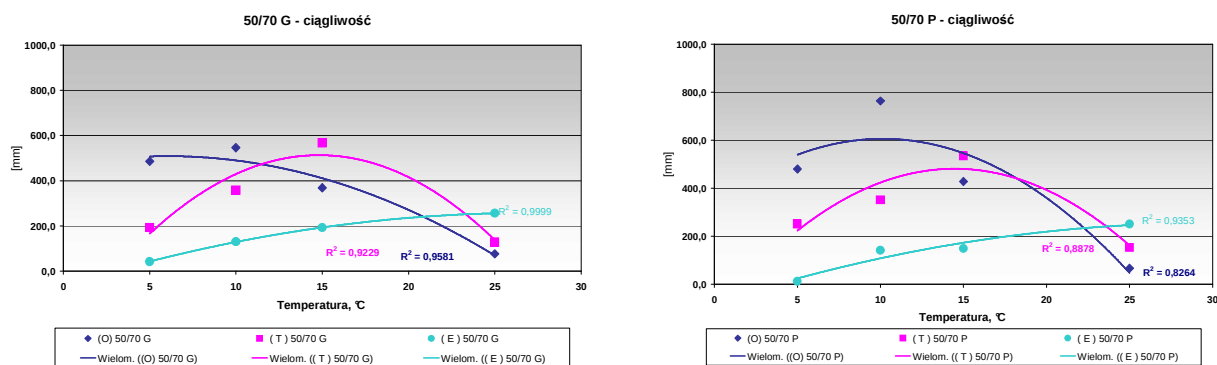
Rys. 28. Zależność pracy odkształcenia od temperatury badania asfaltów 50/70 przy prędkości rozciągania 50 mm/min



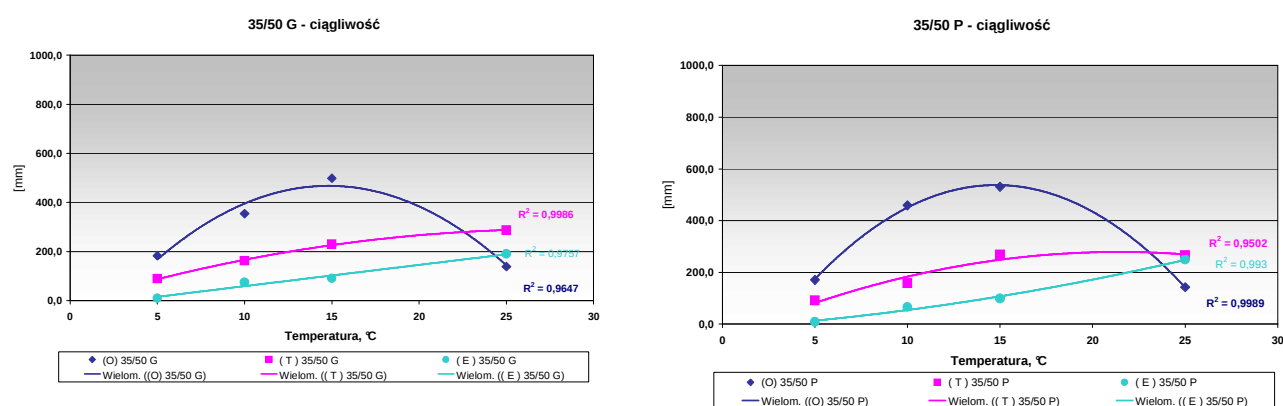
Rys. 29. Zależność pracy odkształcenia od temperatury badania asfaltów 35/50 przy prędkości rozciągania 50 mm/min



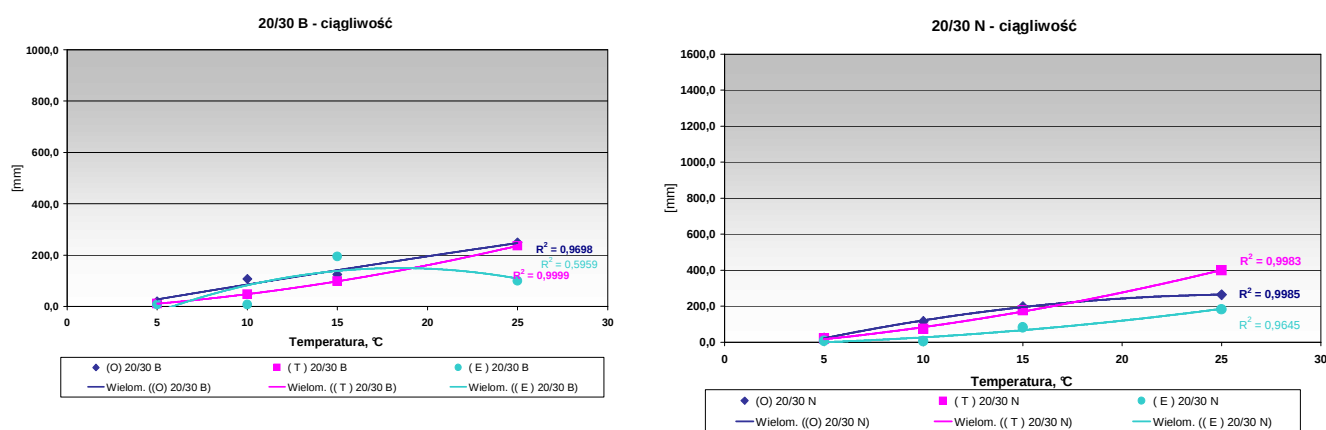
Rys. 30. Zależność pracy odkształcenia od temperatury badania asfaltów 20/30 przy prędkości rozciągania 50 mm/min



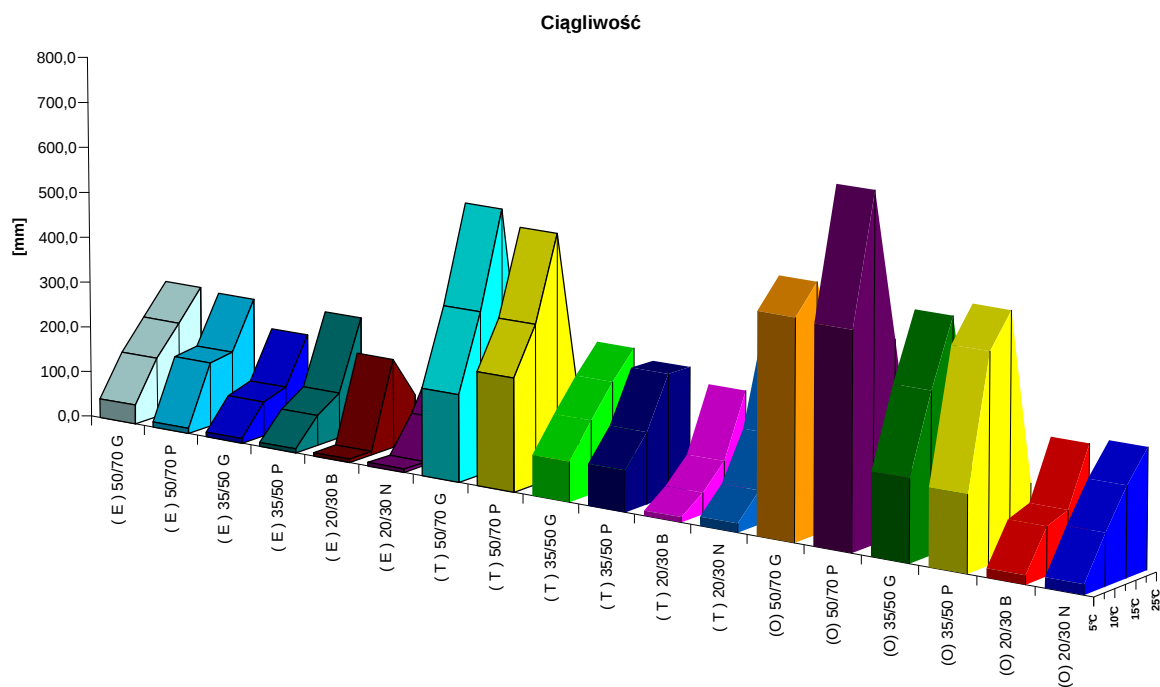
Rys. 31. Zależność ciągliwości od temperatury badania asfaltów 50/70 przy prędkości rozciągania 50 mm/min



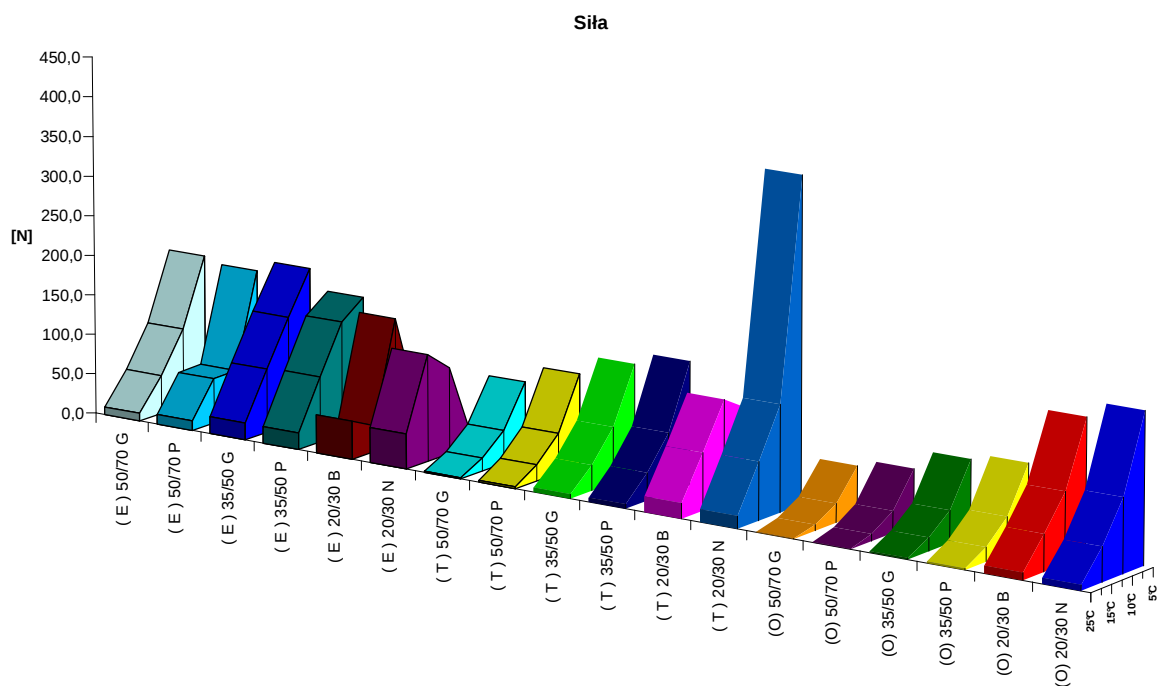
Rys. 32. Zależność ciągliwości od temperatury badania asfaltów 35/50 przy prędkości rozciągania 50 mm/min



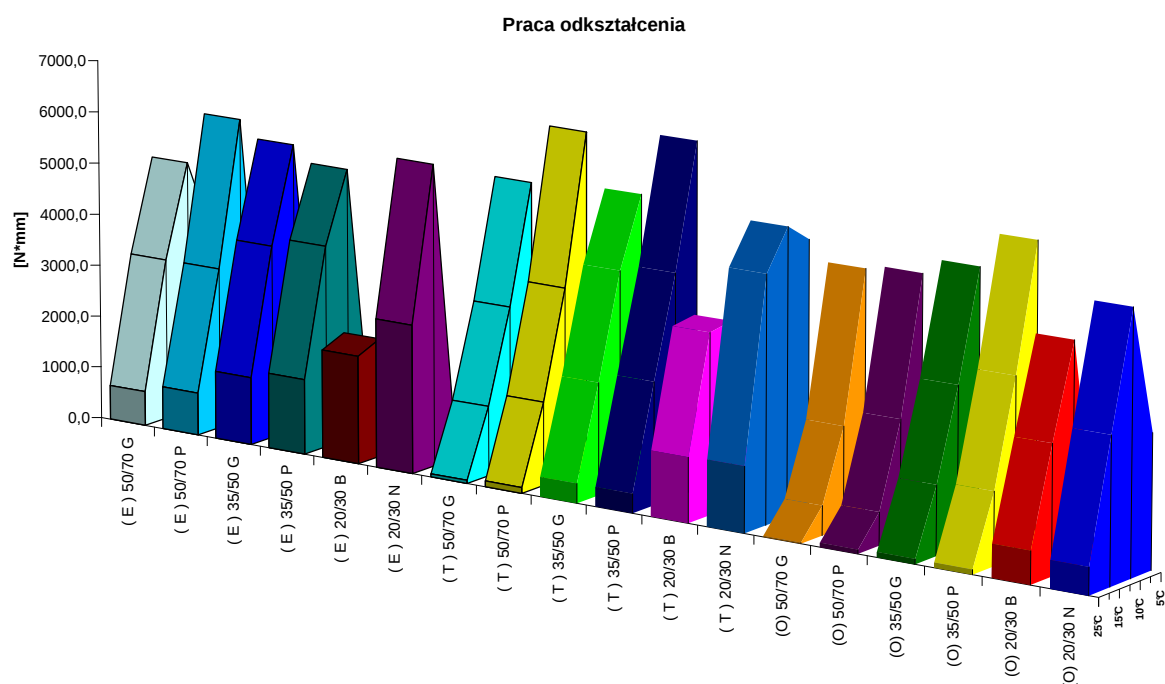
Rys. 33. Zależność ciągliwości od temperatury badania asfaltów 20/30 przy prędkości rozciągania 50 mm/min



Rys. 34. Łączne zestawienie wyników badań ciągliwości w zakresie temperatury od 5°C do 25°C (O, T, E)



Rys. 35. Łączne zestawienie wyników badań siły rozciągającej w zakresie temperatury od 5°C do 25°C (O, T, E)



Rys. 36. Łączne zestawienie oznaczonej pracy odkształcenia w zakresie temperatury od 5°C do 25°C (O, T, E)

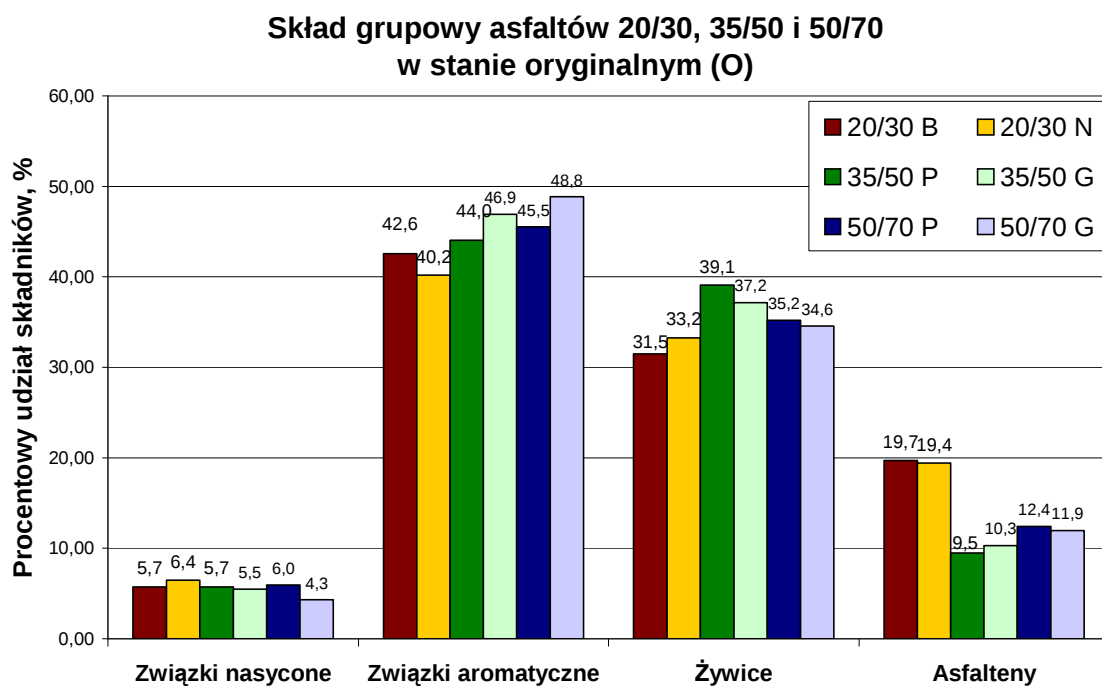
6.5. Wyniki i analiza składu grupowego

Wyniki oznaczenia składu grupowego asfaltu w aparacie IATROSCAN zestawiono w tablicy 6 i na rys. 37-40. Oznaczenie składu grupowego wykonano dla wszystkich badanych asfaltów w stanie oryginalnym (O).

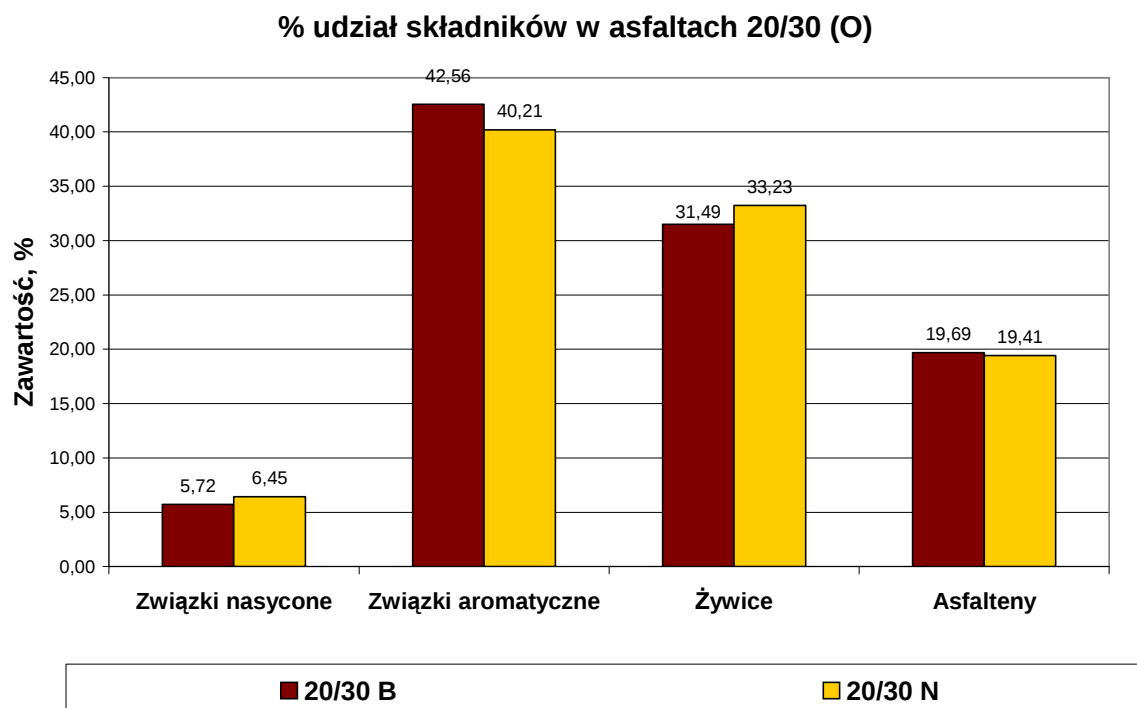
Tablica 6. Wyniki oznaczenia skład grupowego – asfalty 50/70 G, 50/70 P, 35/50 G, 35/50 P, 20/30 N, 20/30 B w stanie (O)

Lp.	Składniki	% udział składników w asfalcie					
		20/30B	20/30N	35/50P	35/50G	50/70P	50/70G
1.	Związki nasycone	5,72	6,45	5,70	5,48	5,96	4,30
2.	Związki aromatyczne	42,56	40,21	44,03	46,91	45,55	48,85
3.	Żywice	31,49	33,23	39,09	37,16	35,19	34,56
4.	Asfalteny	19,69	19,41	9,46	10,27	12,41	11,94
5.	Suma, %	99,45	99,30	98,28	99,83	99,11	99,65

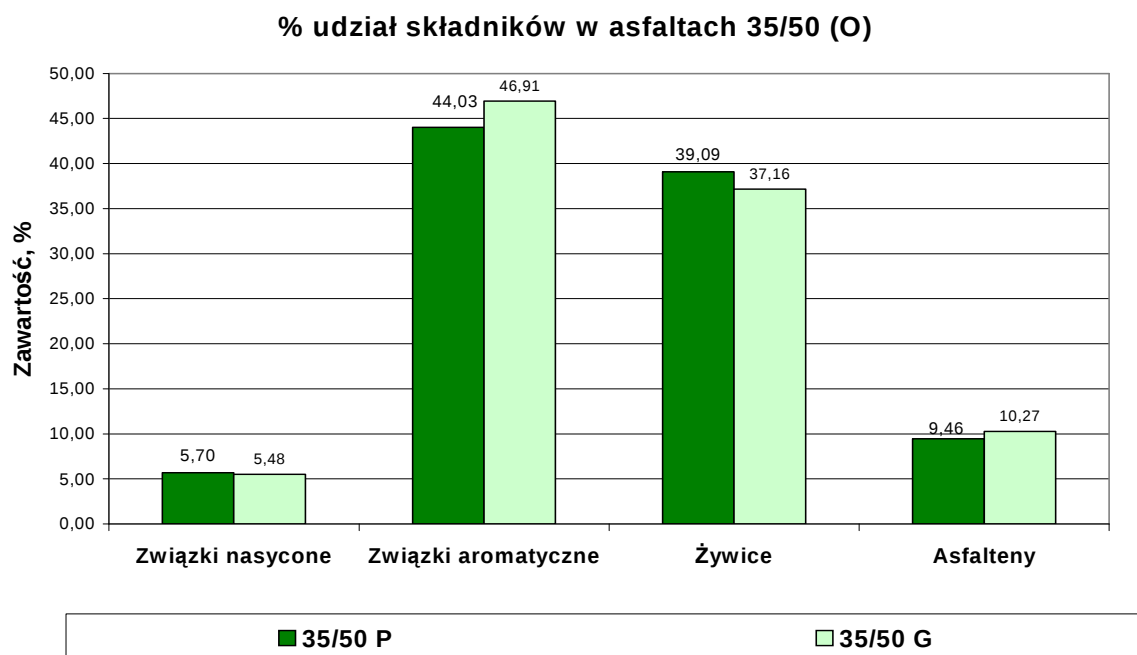
Suma składników w tablicy 6 nie jest równa 100%, ponieważ tak zostały scałkowane wyniki analiz, nie uwzględniające dodatkowych nieznacznych sygnałów.



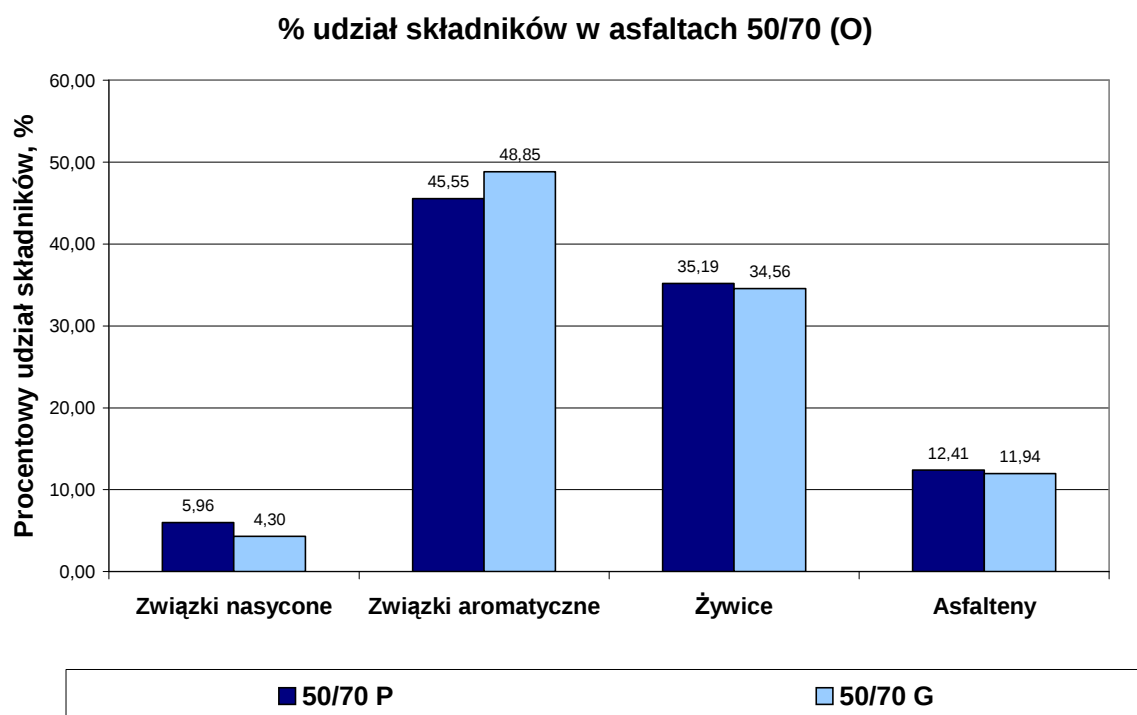
Rys. 37. Procentowa zawartość oznaczonych składników w próbkach asfaltów w stanie (O)
- zestawienie łączne



Rys. 38. Procentowa zawartość oznaczonych składników w asfalcie 20/30, w stanie (O)



Rys. 39. Procentowa zawartość oznaczonych składników w asfalcie 35/50, w stanie (O)



Rys. 40. Procentowa zawartość oznaczonych składników w asfalcie 50/70, w stanie (O)

Można stwierdzić, że badane asfalty reprezentujące ten sam rodzaj charakteryzują się zbliżonym składem grupowym. Twardy asfalt rodzaj 20/30 wykazuje najniższe zawartości związków aromatycznych, żywic oraz największą zawartość asfaltenów.

7. Analiza wyników badań

Wyniki badanych asfaltów w odniesieniu do wymagań normy PN-EN 12591 (załącznik 5, tablica 1) spełniają postawione wymagania. Jedynie w przypadku asfaltu 20/30 B temperatura mięknięcia $PiK = 63,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ i jest nieco wyższa od górnej granicy wymagań wobec asfaltu 20/30 (tj. od $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $63\text{ }^{\circ}\text{C}$). Pozostałe właściwości np. temperatura łamliwości pozostała penetracja w 25°C po RTFOT, wzrost temperatury mięknięcia kształtowały się na dobrym poziomie z dużym zapasem bezpieczeństwa w odniesieniu do wymagań normowych.

Ocena właściwości reologicznych asfaltów

Konsystencja

Badane asfalty posiadały penetrację w 25°C w dość szerokim zakresie tj. od 24 do 64 $[0,1\text{ mm}]$. Najniższą penetrację wykazał asfalt 20/30 N ($Pen_{25} = 24\text{ }0,1\text{ mm}$), a największą asfalt 50/70 P ($Pen_{25}=64\text{ }0,1\text{ mm}$). Temperatura mięknięcia kształtowała się w granicach od $48\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $63,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Najwyższe wartości osiągnęły asfalty twarde 20/30 ($63,8^{\circ}\text{C}$), ($62,4\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Wrażliwość termiczna

Szeroki przedział plastyczności PP ($T_{PiK}-T_{Fraass}$) od 74°C do 76°C oraz wysokie indeksy penetracji PI (Pen/Pen) i (Pen/PiK) asfaltu 20/30 świadczą o korzystnie niskiej wrażliwości termicznej tych asfaltów. Najniższe przedziały plastyczności PP ($T_{PiK}-T_{Fraass}$) od 68°C do 71°C oraz niskie indeksy penetracji PI (Pen/Pen) posiadał asfalt 50/70.

Odporność na niską temperaturę

Temperatura łamliwości wg Fraassa w badanych asfaltach jest korzystnie niska, tj.:

Asfalt 20/30 (-12°C)

Asfalt 35/50, (-18 do 21°C)

Asfalt 50/70 (-20 do -22°C)

Starzenie /T/

Wszystkie asfalty wykazały niewielką zmianę masy po symulacji starzenia technologicznego metodą RTFOT. Najmniejszy spadek penetracji wykazały asfalty 20/30 (20-25%), największy asfalty 50/70 (31,7-35,9%). Największy wzrost temperatury mięknięcia wykazał asfalt 35/50 (o $5,8-6^{\circ}\text{C}$) pozostałe wykazały wzrost T_{PiK} w granicach od $4,8$ do $5,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Temperatura łamliwości po RTFOT w większości badanych asfaltów była wyższa o ok. $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ w odniesieniu do stanu (O).

Starzenie /E/

Po starzeniu eksploatacyjnym zaobserwowano największe utwardzenie asfaltu 50/70. Asfalty po starzeniu PAV wykazywały dużo wyższy wzrost temperatury mięknięcia i spadek penetracji. Podobnie jak po RTFOT korzystnie niską temperaturę łamliwości po PAV wykazały asfalty 50/70. Penetrację asfaltów 35/50 i 50/70 bardzo się do siebie zbliżyły po starzeniu PAV.

DSR

Moduł zespolony G^* określa zależność naprężenia ścinającego od odkształcenia ścinającego. Krzywa Blacka zależności modułu zespolonego G^* od kąta przesunięcia fazowego δ jest bardzo ważnym elementem analizy asfaltów. Krzywe Blacka przedstawione na rys. 4 i 6 dla asfaltów 20/30, 35/50, 50/70 charakteryzują się regularnym przebiegiem malejącym. Nie posiadają ekstremum to znaczy, że asfalt w wysokiej temperaturze przechodzi ze stanu sprężystego do stanu lepkosprężystego.

Wyniki badań DSR zostały również wykorzystane do określenia górnej granicy rodzaju funkcjonalnego PG (Performance Grade) według Superpave.

Odporność na koleinowanie według SHRP charakteryzującą temperatury równoważne TEG 1 lub TEG2 wyznaczane na podstawie wyników badania asfaltu reometrem dynamicznego ścinania DSR według poniższych wzorów:

asfalt oryginalny $G^*/\sin\delta = 1 \text{ kPa} \rightarrow \text{TEG1,}$

asfalt po RTFOT $G^*/\sin\delta = 2,2 \text{ kPa} \rightarrow \text{TEG2.}$

W wyniku przeprowadzonych badań wyznaczono górne granice PG dla badanych asfaltów (tablica 7).

Tablica 7. Wyniki oznaczenia dolne granicy rodzaju funkcjonalnego PG

Asfalt	Górna granica PG	PG
35/50	64, 58	58-16
D50	70, 70	70-16
50/70	58, 52	52-16
D70	64, 64	64-16

BBR

Badanie asfaltów, w reometrze zginanej belki przeprowadzane jest w celu określenia dolnej granicy rodzaju funkcjonalnego PG. Według Superpave uwzględnia się wartości otrzymane podczas badania asfaltu po starzeniu eksploatacyjnym PAV. Wykonanie badań w pozostałych dwóch stanach (asfalt Oryginalny i po starzeniu Technologicznym) pozwala na weryfikację otrzymanych parametrów, gdyż jednakowy charakter krzywych wskazuje na prawidłowe przeprowadzenie badania. Porównując wyznaczone rodzaje funkcjonalne asfaltów PG otrzymane z parametrów asfaltów (E) widać, że w większości przypadków niższe wartości dolnej granicy PG, obserwujemy dla zmiennej „m” w porównaniu z modułem „S”. Wydaje się, że ocena ze względu na moduł sztywności S jest bardziej wiarygodna i zgodna z rzeczywistością. W wyniku przeprowadzonych badań otrzymano dolne granice PG dla badanych asfaltów podane w tablicy 8.

Tablica 8. Wyniki oznaczenia dolnej granicy rodzaju funkcjonalnego PG

Asfalt	Dolna granica PG	PG
35/50	-16,-16	58-16
D50	-22,-16	70-16
50/70	-22,-16	52-16
D70	-22,-16	64-16

Ciągliwość z pomiarem siły

Ciągliwość przed starzeniem

Najmniejszą ciągliwość w 25 °C wykazał asfalt o największej penetracji 50/70, a największą twardy asfalt 20/30. Odwrotną zależność obserwuje się w temperaturze badania 5 °C i 10 °C. Najmniejszą ciągliwość w 5 °C i 10 °C wykazuje asfalt 20/30, największą asfalt 50/70. Im twardszy asfalt to większa ciągliwość w 25 °C, a mniejsza w 5 °C. Wraz ze zmianą temperatury:

20/30 — największa ciągliwość w 25 °C i najmniejsza w 5 °C – spadek temperatury badania powoduje wzrost siły i pracy odkształcenia

35/50 – najwyższa ciągliwość w 15 °C i następuje dalszy spadek ciągliwości oraz wzrost siły i pracy odkształcenia

50/70 – najwyższa ciągliwość w 10 °C, niższa w 5 °C i 25 °C

W załączniku 2 na rysunkach przedstawione zostały wykresy zależności siły rozciągającej od przemieszczenia oraz szczegółowe wyniki badań.

Widoczne na nich jest, że charakterystyka wykresu zależności siły rozciągającej do przemieszczenia jest zbliżona w przypadku badanych asfaltów.

Ciągliwość po starzeniu

Po starzeniu technologicznym /T/ zaobserwowano wyraźny wzrost ciągliwości w 25 °C w odniesieniu do stanu oryginalnego (O) we wszystkich asfaltach, natomiast spadek ciągliwości w temperaturze 5 °C i 10 °C. Wszystkie asfalty w stanie (T) wykazały większe zmiany ciągliwości wraz ze zmianą temperatury. Zachowana została zależność ze stanu (O), im twardszy asfalt to większa ciągliwość w 25 °C, a mniejsza w 5 °C.

Po starzeniu eksploatacyjnym /E/ wyraźny wzrost ciągliwości w 25 °C w odniesieniu do stanu oryginalnego (O) i (T) zaobserwowano w asfalcie 50/70, a spadek ciągliwości w przypadku asfaltu 20/30. Odnotowano ogólnie bardzo niskie ciągliwości w 5 °C przy prędkości rozciągania 50mm/min. Dodatkowe badania ciągliwości asfaltów 20/30 i 35/50 w temperaturze 5 °C przy prędkości rozciągania 5 mm/min wykazały równie niską ciągliwość.

Skład grupowy

Można stwierdzić, że badane asfalty reprezentujące ten sam rodzaj charakteryzują się zbliżonym składem grupowym. Twardy asfalt rodzaj 20/30 wykazuje najniższe zawartości związków aromatycznych, żywic oraz największą zawartość asfaltenów.

8. Analiza wyników badań archiwalnych

Analiza wyników badań - porównane wyników badań do właściwości asfaltów z wcześniejszych badań IBDiM.

8.1. Właściwości konwencjonalne

Wyniki badań bieżących oraz archiwalnych wraz z parametrami obliczonymi zestawione zostały w tablicach od 8 do 12.

Tablica 9. Właściwości asfaltów – wyniki badań oraz parametry obliczone asfaltów rodzaju 20/30 w odniesieniu do danych archiwalnych asfaltu D35

Porównanie 20/30 i D35			
Właściwości	(wyniki bieżące z 2004 r.)		D35
	20/30B	20/30N	(wyniki archiwalne z 2000 r.) Wartość średnia
1	2	3	4
Przed starzeniem (O)			
Penetracja w 15°C, 0,1 mm	11	10	18,0
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	25	24	42,0
Temp. mięknięcia PiK, °C	63,8	62,4	56,5
Temp. łamliwości, °C	-12	-12	-16,0
Ciągliwość w 25°C, cm	17	6,5	>150,0
Lepkość w 60°C, mPas	-	3545000	846333
Lepkość w 90°C, mPas	66007	64809	22071
Lepkość w 135°C, mPas	1585	1577	801
Temperatura zapłonu, °C	>240	>240	>240
Zawartość parafiny, %	1,87	0,29	1,29
Zaw. części nier. w toluenie, %	0,529	0,359	0,27
Przyczepność – bazalt, %	65	55	50
Przyczepność – granit, %	30	30	32
Przyczepność – porfir, %	35	20	20
Przyczepność – wapien, %	80	80	80
PI (Pen-Pen)	0,78	0,34	0,30
PI (Pen-PiK)	0,21	-0,12	-0,11
PP (TPiK-TFraass), °C	76	74	72,5
Po starzeniu RTFOT (T)			
Zmiana masy po RTFOT, %	-0,097	-0,131	0,05
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	20	18	30,3
Temp. mięknięcia PiK, °C	69,6	67,2	62
Temp. łamliwości, °C	-10	-12	-13,3
Ciągliwość w 25°C, cm	7	15	54
Lepkość w 90°C, mPas	157444	129000	49588
PI (Pen-PiK)	0,73	0,16	0,26
PP (TPiK-TFraass), °C	80	79	75,3
spadek Pen25, %	20,0	25,0	29,99
wzrost TPiK, °C	5,8	4,8	5,67

Po starzeniu PAV (E) – brak danych archiwalnych

Asfalt 20/30 w odniesieniu do asfaltu D35 charakteryzuje się;

- w stanie (O) niższą Pen25 o ok. 44%, w stanie (T) ok. 41%,
- w stanie (O) wyższy TPiK o ok. 10%, w stanie (T) ok. 8%,
- w stanie (O) niższa temperatura łamliwości o 25%, w stanie (T) ok. 10%,

Asfalty według nowej normy wykazują wyższy indeks penetracji PI, większy przedział plastyczności, niższą lepkość w 60°C, większą lepkość w wyższych temperaturach, niższą przyczepnością i ciągliwością w 25°C odznaczają się mniejszą wrażliwością termiczną.

Tablica 10. Właściwości asfaltów – wyniki badań oraz parametry obliczone asfaltów rodzaju 35/50 w odniesieniu do danych archiwalnych asfaltu D50

Porównanie 35/50 i D50				
Właściwości	(wyniki bieżące z 2004 r.)		D50 (wyniki archiwalne z 2000, 2001 r.)	
	35/50P	35/50G	Wartość średnia	
Przed starzeniem (O)			2000	2001
Penetracja w 15°C, 0,1 mm	17	19	19,63	19,25
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	44	45	49,94	49,29
Temp. mięknięcia PiK, °C	53	54,6	54,68	55,07
Temp. łamliwości, °C	-21	-18	-16,35	-18,14
Ciągliwość w 15°C, cm	18	16	29,35	22,75
Ciągliwość w 25°C, cm	>150	>150	>150	>150
Lepkość w 60°C, mPas	671000	804000	547125	625125
Lepkość w 90°C, mPas	19147	23117	16430	18217
Lepkość w 135°C, mPas	755	834	670	711,5
Temperatura zapłonu, °C	>250	>240	>240	>240
Zawartość parafiny, %	1,19	1,4	1,23	1,37
Zaw. części nier. w toluenie, %	0,411	0,404	0,25	0,27
Przyczepność – bazalt, %	35	55	54,38	53,75
Przyczepność – granit, %	20	15	25	26,25
Przyczepność – porfir, %	15	20	25	17,50
Przyczepność – wapien, %	65	70	77,50	81,25
PI (Pen-Pen)	-0,21	0,44	-0,08	-0,09
PI (Pen-PiK)	-0,77	-0,36	-0,10	-0,04
PP (TPiK-TFraass), °C	74	73	71,03	73,21
Po starzeniu RTFOT (T)				
Zmiana masy po RTFOT, %	0,025	0,014	-0,01	-0,06
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	31	33	33,25	34
Temp. mięknięcia PiK, °C	59,1	60,4	60,75	60,63
Temp. łamliwości, °C	-20	-17	-13	-13,5
Ciągliwość w 15°C, cm	6,5	6,0	7,5	7,2
Ciągliwość w 25°C, cm	58	40	104,38	92,25
Lepkość w 60°C, mPas	1813333	2416668	1713750	1797500
Lepkość w 90°C, mPas	38743	48428	35700	37754
PI (Pen-PiK)	-0,23	0,15	0,23	0,25
PP (TPiK-TFraass), °C	79	77	74	74
spadek Pen25, %	29,5	26,7	33,31	30,6
wzrost TPiK, °C	6,1	5,8	6,06	5,25

Asfalt 35/50 w odniesieniu do asfaltu D50 charakteryzuje się;

- w stanie (O) niższą Pen25 o ok. 12%, w stanie (T) ok. 7%,
- TPiK na zbliżonym poziomie,
- w stanie (O) niższa temperatura łamliwości o 10-28%, w stanie (T) ok. 30-54%,

Asfalty 35/50 według nowej normy wykazują większy przedział plastyczności PP, nieco wyższą lepkość, niższą przyczepnością, niewielkie zmiany masy po RTFOT, mniejszy spadek penetracji w 25 °C po starzeniu (T).

Tablica 11. Właściwości asfaltów – wyniki badań oraz parametry obliczone asfaltów rodzaju 50/70 w odniesieniu do danych archiwalnych asfaltu D70

Porównanie 50/70 i D70				
Właściwości	(wyniki bieżące z 2004 r.)		D70 (wyniki archiwalne z 2000, 2001 r.)	
	50/70P	50/70G	Wartości średnie	
Przed starzeniem (O)			2000	2001
Penetracja w 15°C, 0,1 mm	21	23	26	25,25
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	64	63	71,53	70,43
Temp. mięknięcia PiK, °C	48	48,8	49,32	50,07
Temp. łamliwości, °C	-20	-22	-19,53	-19,43
Ciągliwość w 15°C, cm	99	103	149,13	121,5
Ciągliwość w 25°C, cm	>150	>150	>150	>150
Lepkość w 60°C, mPas	278667	320500	221250	253000
Lepkość w 90°C, mPas	9889	11850	8667	9562
Lepkość w 135°C, mPas	490	559	448,13	474,25
Temperatura zapłonu, °C	>250	>240	>240	>240
Zawartość parafiny, %	1,66	-	1,18	1,47
Zaw. części nier. w toluenie, %	0,316	-	0,23	0,23
Przyczepność – bazalt, %	45	60	52,5	55
Przyczepność – granit, %	25	20	23,75	25
Przyczepność – porfir, %	20	25	20,63	15
Przyczepność – wapien, %	70	75	8063	80
PI (Pen-Pen)	-1,23	-0,59	-0,71	-0,82
PI (Pen-PiK)	-1,14	-0,96	-0,5	-0,34
PP (TPiK-TFraass), °C	68	71	68,85	69,5
Po starzeniu RTFOT (T)				
Zmiana masy po RTFOT	0,014	0,009	0,02	-0,02
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	41	43	46	46
Temp. mięknięcia PiK, °C	53,4	53,6	54,5	55
Temp. łamliwości, °C	-19	-21	-15,13	-17,5
Ciągliwość w 15°C, cm	15	15	23,69	18,25
Ciągliwość w 25°C, cm	150	150	150	150
Lepkość w 60°C, mPas	666444	765111	575250	633250
Lepkość w 90°C, mPas	18203	21799	16329	17651
Lepkość w 135°C, mPas	702	803	-	673,8
PI (Pen-PiK)	-0,83	-0,68	-0,35	-0,22
PP (TPiK-TFraass), °C	72	75	70	73
spadek Pen25, %	35,9	31,7	35,78	34,07
wzrost TPiK, °C	5,4	4,8	5,25	4,88

Asfalt 50/70 w odniesieniu do asfaltu D70 charakteryzuje się;

- w stanie (O) niższą Pen25 o ok. 11 %, w stanie (T) ok. 7-11 %,
- TPiK na zbliżonym poziomie,
- w stanie (O, T) niższa temperatura łamliwości o 2 %,

Asfalty 35/50 według nowej normy wykazują wyższą lepkość, niewielkie zmiany masy po RTFOT.

Tablica 12. Właściwości asfaltów – wyniki badań oraz parametry obliczone asfaltów rodzaju 35/50 w odniesieniu do danych archiwalnych asfaltu D50

Porównanie 35/50 i D50					
Właściwości	(wyniki bieżące z 2004 r.)		D50 (wyniki archiwalne z 2000 -01 r.)		
	35/50P	35/50G	D50	D50 N	D50 V
Penetracja w 15°C, 0,1 mm	17	19	19	18	17
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	44	45	48	47	47
Temp. mięknięcia PiK, °C	53	54,6	56	55	52
Temp. łamliwości Fraassa, °C	-21	-18	-17	-17	-12
PI (Pen-Pen)	-0,21	0,44	-0,04	-0,27	-0,65
PI (Pen-PiK)	-0,77	-0,36	0,10	-0,17	-0,85
PP (TPiK-TFraass), °C	74	73	73	72	64
Po RTFOT					
Zmiana masy po RTFOT, %	0,025	0,014	-0,002	-0,206	0,054
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	31	33	34	33	32
Temp. mięknięcia PiK, °C	59,1	60,4	62	61,5	57
Temp. łamliwości Fraassa, °C	-20	-17	-14	-15	-13
PI (Pen-PiK)	-0,23	0,15	0,51	0,36	-0,58
PP (TPiK-Tfraass), °C	79	77	76	77	70
spadek Pen25, %	29,5	26,7	29,2	29,8	31,9
wzrost TPiK, °C	6,1	5,8	6,0	6,5	5,0
Po RTFOT+PAV					
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	18	20	21	19	17
Temp. mięknięcia PiK, °C	68,8	71,3	71	70	67
Temp. łamliwości Fraassa, °C	-17	-13	-7	-12	-6
PI (Pen-PiK)	0,41	0,99	1,04	0,70	0,03
PP (TPiK-Tfraass), °C	86	84	78	82	73
spadek Pen25, %	41,9	39,4	38,2	42,4	46,9
wzrost TPiK, °C	9,7	10,9	9,0	8,5	10,0
całkowity spadek Pen25, %	59,1	55,6	56,3	59,6	63,8
całkowity wzrost TPiK, °C	15,8	16,7	15,0	15,0	15,0

Tablica 13. Właściwości asfaltów – wyniki badań oraz parametry obliczone asfaltów rodzaju 50/70 w odniesieniu do danych archiwalnych asfaltu D70

Porównanie 50/70 i D70			
Właściwości	(wyniki bieżące z 2004 r.)		(wyniki archiwalne z 2000r.)
	50/70P	50/70G	D70
Penetracja w 15°C, 0,1 mm	21	23	25
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	64	63	68
Temp. mięknięcia PiK, °C	48	48,8	51
Temp. łamliwości wg Fraassa, °C	-20	-22	-21
PI (Pen-Pen)	-1,23	-0,59	-0,54
PI (Pen-PiK)	-1,14	-0,96	-0,19
PP (TPiK-TFraass), °C	68	71	72
Po RTFOT			
Zmiana masy po RTFOT	0,014	0,009	0,004
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	41	43	46
Temp. mięknięcia PiK, °C	53,4	53,6	56,5
Temp. łamliwości wg Fraassa, °C	-19	-21	-18
PI (Pen-PiK)	-0,83	-0,68	0,11
PP (TPiK-TFraass), °C	72	75	75
spadek Pen25, %	35,9	31,7	32,4
wzrost TPiK, °C	5,4	4,8	5,5
Po RTFOT+PAV			
Penetracja w 25°C, 0,1 mm	22	24	27
Temp. mięknięcia PiK, °C	63,8	62,6	64
Temp. łamliwości wg Fraassa, °C	-17	-20	-14
PI (Pen-PiK)	-0,04	-0,08	0,39
PP (TPiK-TFraass), °C	81	83	78
spadek Pen25, %	46,3	44,2	41,3
wzrost TPiK, °C	10,4	9,0	7,5
całkowity spadek Pen25, %	65,6	61,9	60,3
całkowity wzrost TPiK, °C	15,8	13,8	13,0

Asfalty 50/70 według nowej normy po starzeniu (E) w odniesieniu do asfaltu D70 wykazują niższą penetrację w 25 °C, zbliżoną temperaturę mięknięcia, większy przedział plastyczności PP, większy spadek penetracji w 25 °C po starzeniu (E), większy wzrost TPiK.

8.2. Moduł dynamicznego ścinania DSR

Graficzne zestawienie porównania wyników badań bieżących i archiwalnych modułu dynamicznego ścinania DSR zostało przedstawione w załączniku 3.

Analizując rysunki wg załącznika 3 przedstawiające krzywe Blacka $G^*=f(\delta)$ asfaltów, nie można określić różnic pomiędzy porównywanymi asfaltami. Wszystkie lepiszcza wykazują bardzo zbliżoną charakterystykę reologiczną – prawidłową zależność modułu od kąta przesunięcia fazowego. Pomimo zmiany konsystencji asfaltów tj. niższej penetracji w 25°C i

wyższej temperatury mięknienia na wykresie Blacka nie obserwujemy wyraźnych różnic charakteru asfaltów bieżących w odniesieniu do asfaltów archiwalnych.

8.3. Badania niskotemperaturowe BBR

W tablicy 13 oraz załączniku 4 przedstawiono porównanie wyników badań niskotemperaturowych BBR bieżących i archiwalnych.

Tablica 14. Porównanie właściwości asfaltów wg wymagań Superpave – wyniki badań w odniesieniu do danych archiwalnych z 2001 r. (D50, D70)

Właściwość	D50	35/50	D70	50/70
Asfalt oryginalny				
$G^*/\sin\delta$ [kPa]				
58 °C				1,02
64 °C		1,07	1,5	0,54
70 °C	1,14	0,49	0,69	
76 °C	0,54			
82 °C				
TEG1 = ($G^*/\sin\delta = 1$ kPa)	71,40	64,72	67,70	58,25
Górna granica PG wg TEG1	70	64	64	58
Asfalt po starzeniu RTFOT				
$G^*/\sin\delta$ [kPa]				
52 °C				5,2
58 °C		4,42		2,13
64 °C		1,85	3,04	
70 °C	3,74		1,38	
76 °C	2,02			
82 °C				
TEG2 = ($G^*/\sin\delta = 2,2$ kPa)	75,37	63,18	67,04	57,86
Górna granica PG wg TEG2	70	58	64	52
S [MPa]				
-6 °C				
-12 °C		199		182
-18 °C	298	357,5	280	335
-24 °C	447		453	
TES = ($S = 300$ MPa)	-18,08	-15,82	-18,69	-16,63
Dolna granica PG wg TES	-22	-16	-22	-22
m				
-6 °C	0,338			
-12 °C	0,292	0,3095	0,319	0,3215
-18 °C		0,245	0,273	0,2585
-24 °C				
TE _m = ($m = 0,3$)	-10,96	-12,88	-14,48	-14,05
Dolna granica PG wg TE _m	-16	-16	-16	-16
Ostateczne Rodzaje funkcjonalne asfaltów PG	70-16	58-16	64-16	52-16
Rodzaj asfaltów PG wg m	70-16	58-16	64-16	52-16
Rodzaj asfaltów PG wg S	70-22	58-16	64-22	52-22

Porównując wyniki badań niskotemperaturowych właściwości asfaltów w reometrze zginanej belki (BBR), można zauważyć, że maksymalne wartości modułu sztywności w temperaturze -30 °C w przypadku porównywania asfaltów produkowanych według starej normy oraz nowej, dla nowych asfaltów wzrosły o około 10 % natomiast wartości współczynnik „m” zmalały o około 10 %. W temperaturach wyższych to znaczy 0 °C i -6 °C wartości dla starych i nowych asfaltów pozostały praktycznie na niezmiennym poziomie. Świadczy to o większej wrażliwości termicznej nowych asfaltów, wraz ze spadkiem temperatury wzrasta sztywność. Średnia różnica pomiędzy temperaturami równoważnymi TES ($S=300\text{MPa}$) oraz TEM ($m=0,3$) pomiędzy starymi, a nowymi asfaltami wynosi około 2 °C. W obydwu przypadkach, porównywania asfaltów D50 z 35/50 oraz D70 z 50/70 otrzymane niższe temperatury równoważne TEM znajdują się w tych samych 6-cio stopniowych przedziałach wg Superpave, dlatego dolna granica rodzaju funkcjonalnego PG nie uległa zmianie i wynosi -16. Ogólnie można stwierdzić, że krzywe zmiany modułu sztywności S i parametru „m” odzwierciedlają fakt, że asfalty 35/50 i 50/70 są twardsze w stosunku do asfaltów produkowanych D50 i D70 według starej normy.

8.4. Badanie ciągliwości lepischer z pomiarem siły

Wyniki badań bieżących oraz archiwalnych zestawione zostały w tablicach od 14 do 15 oraz zilustrowano na rysunkach od 41 do 44.

Tablica 15. Wyniki badań ciągliwości asfaltów rodzaju 35/50 w odniesieniu do danych archiwalnych asfaltu D50

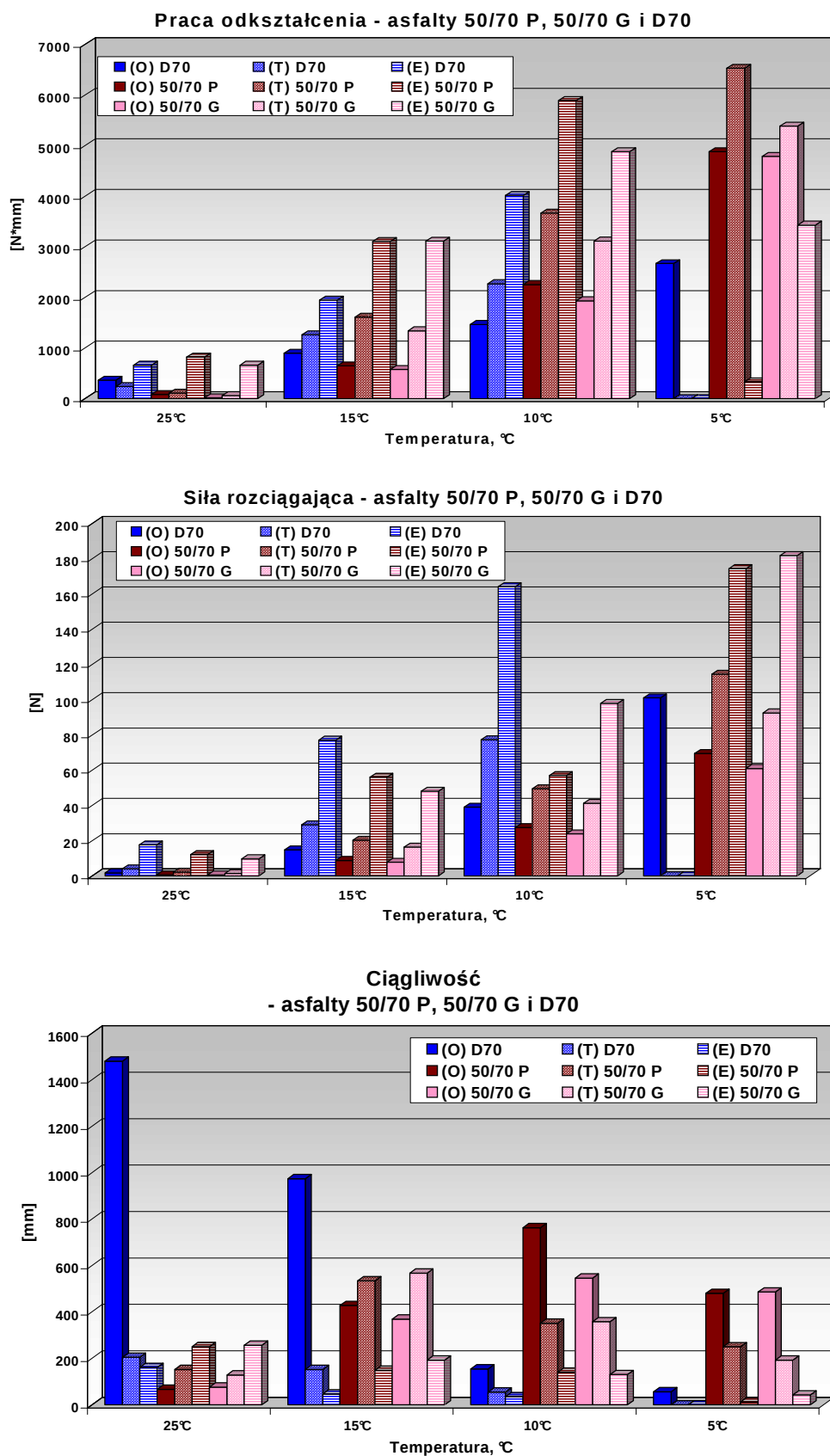
Prędkość 50mm/min		PRACA, N*mm				SIŁA, N				CIĄGLIWOŚĆ, mm				
Temperatura, °C		25°C	15°C	10°C	5°C	25°C	15°C	10°C	5°C	25°C	15°C	10°C	5°C	5°C
O	(O) D50	457	990	2082	3118	3,3	26,3	71,7	130	1414	152	65,1	47,1	
	(O) 35/50 P	95,1	1421,3	3449,8	5856,8	1,9	17,9	45,0	100,7	143,0	530,9	459,3	170,7	
	(O) 35/50 G	99,8	1352,4	3090,1	5184,6	1,9	16,8	40,3	93,5	139,2	498,5	354,8	183,3	
T	(T) D50	483	1688	2919	-	8	48,6	110	-	42	66,3	45,1	-	
	(T) 35/50 P	375,3	2372,7	4315,6	6699,5	5,4	34,9	74,4	154,0	266,6	268,0	158,1	91,4	
	(T) 35/50 G	379,1	2173,1	4178,4	5505,5	5,6	32,2	69,7	138,7	287,2	229,5	162,5	89,1	
E	(E) D50	964	-	-	-	31,5	-	-	-	62,7	-	-	-	
	(E) 35/50 P	1452,4	3903,9	5263,1	246,5	20,8	81,8	141,8	163,4	249,8	99,0	65,9	9,0	
	(E) 35/50 G	1308,1	3728,7	5568,9	405,2	21,3	79,9	136,0	188,6	191,0	91,1	74,7	9,9	

Asfalt 35/50 w odniesieniu do asfaltu D50 w niższych temperaturach wykazuje większą ciągliwość i większą energię deformacji, natomiast w stanie (O) w temperaturze 25 °C odnotowano mniejszą ciągliwość. Po starzeniu (T, E) w każdej temperaturze wykazuje lepsze cechy.

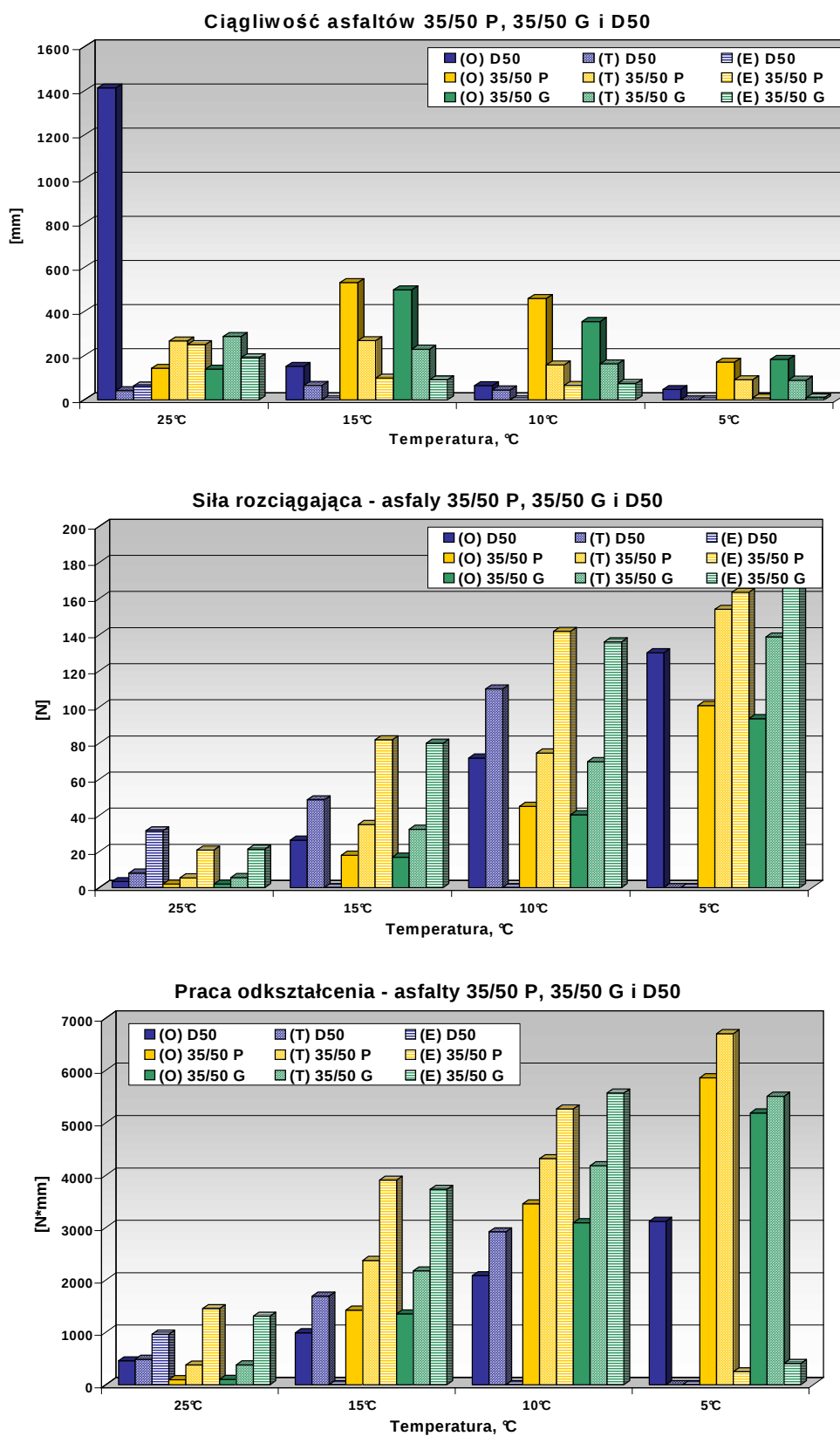
Tablica 16. Wyniki badań ciągliwości asfaltów rodzaju 50/70 w odniesieniu do danych archiwalnych asfaltu D70

Prędkość 50mm/min		PRACA, N*mm				SIŁA, N				CIĄGLIWOŚĆ, mm				
Temperatura, °C		25°C	15°C	10°C	5°C	25°C	15°C	10°C	5°C	25°C	15°C	10°C	5°C	5°C
O	(O) D70	363	899	1467	2669	1,7	14,7	39	101	1480	974	155	56,1	
	(O) 50/70 P	81,6	646,2	2255,6	4881,0	0,5	8,8	27,4	69,5	66,6	427,5	763,0	480,1	
	(O) 50/70 G	18,0	575,8	1935,3	4790,9	0,6	7,7	23,8	60,9	76,4	368,8	546,4	486,1	
T	(T) D70	240	1262	2272	-	4	29	77,3	-	205	152,4	55,2	-	
	(T) 50/70 P	108,7	1609,7	3666,6	6532,3	2,1	20,2	49,5	114,4	152,4	534,1	351,2	250,0	
	(T) 50/70 G	58,2	1341,1	3116,5	5388,1	1,3	16,4	41,1	92,5	128,6	567,1	357,9	192,5	
E	(E) D70	660	1948	4014	-	17,5	77	164	-	160,7	46,6	35,4	-	
	(E) 50/70 P	819,8	3107,7	5893,4	329,8	12,1	56,0	56,9	174,3	250,3	148,2	140,8	11,9	
	(E) 50/70 G	660,9	3110,8	4879,8	3430,9	9,7	48,1	97,9	181,8	256,3	192,6	130,3	42,4	

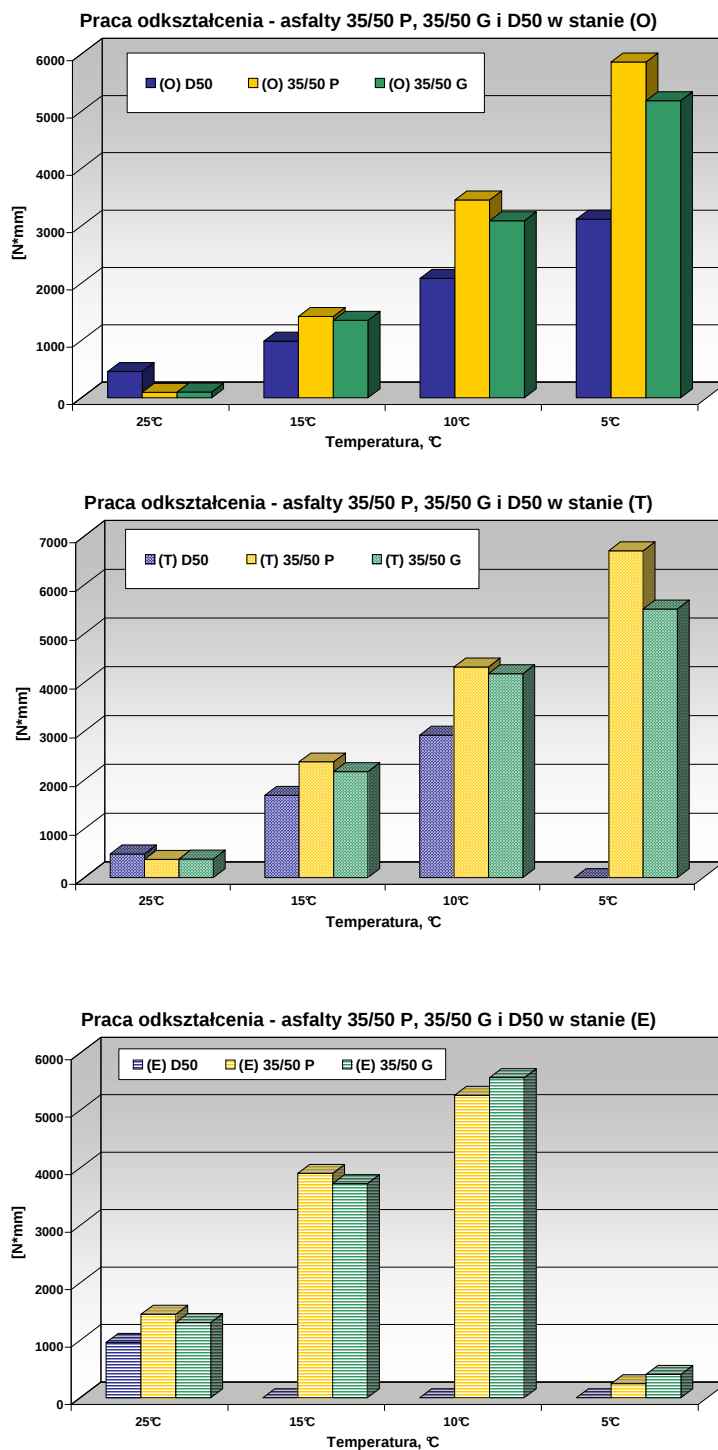
Asfalt 50/70 w odniesieniu do asfaltu D70 w temperaturze 25°C (O, T) wykazuje mniejszą ciągliwość, natomiast zdecydowanie wyższe ciągliwości odnotowano w niskich temperaturach oraz po starzeniu (E, T).



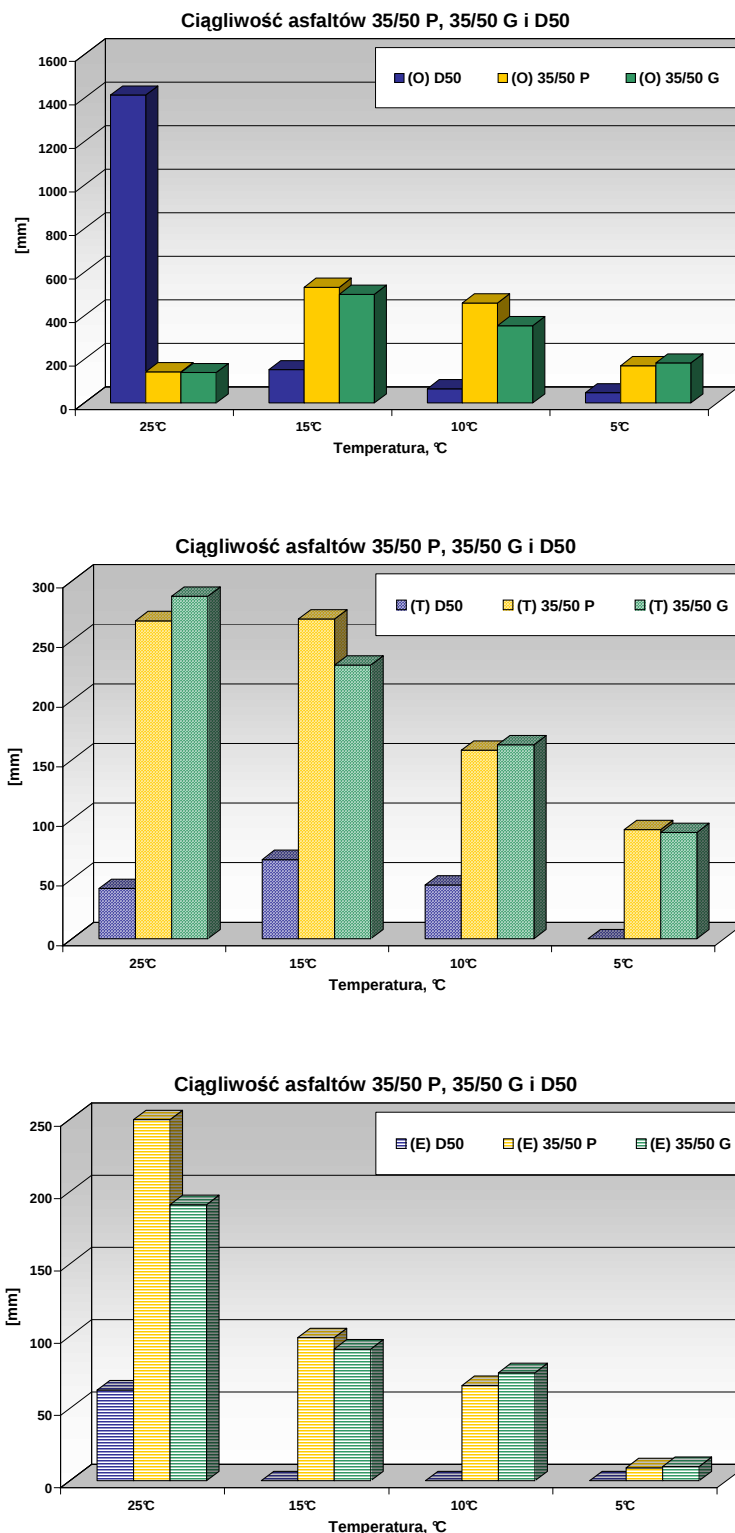
Rys. 41. Porównanie wyników ciągliwości, pracy odkształcenia, siły rozciągającej asfaltu 50/70 G, 50/70 P w stanie (O, T, E) z wynikami asfaltu D70 z 2001 r.



Rys. 42. Porównanie wyników ciągliwości, pracy odkształcenia, siły rozciągającej asfaltu 35/50 G, 35/50 P w stanie (O, T, E) z wynikami asfaltu D50 z 2001 r.



Rys. 43. Porównanie wyników pracy odkształcenia asfaltu 35/50 G, 35/50 P w stanie (O, T, E) z wynikami asfaltu D50 z 2001 r.



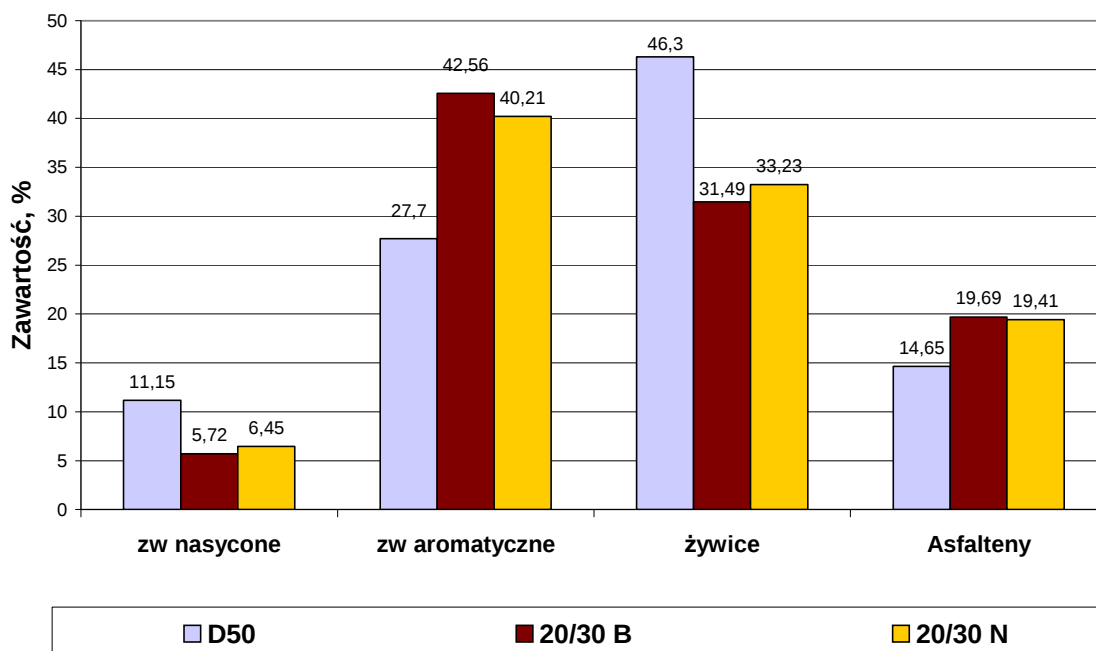
Rys. 44. Porównanie wyników ciągliwości 35/50 G, 35/50 P w stanie (O, T, E) z wynikami asfaltu D50 z 2001 r.

Przy prędkości rozciągania 50 mm/min. w temperaturze badania 5 °C niektóre próbki asfaltu były na tyle kruche, że ulegały zerwaniu bez wykazania ciągliwości. Badanie w takim przypadku powtarzano przy niższej prędkości rozciągania 5 mm/min.

8.5. Skład grupowy asfaltów

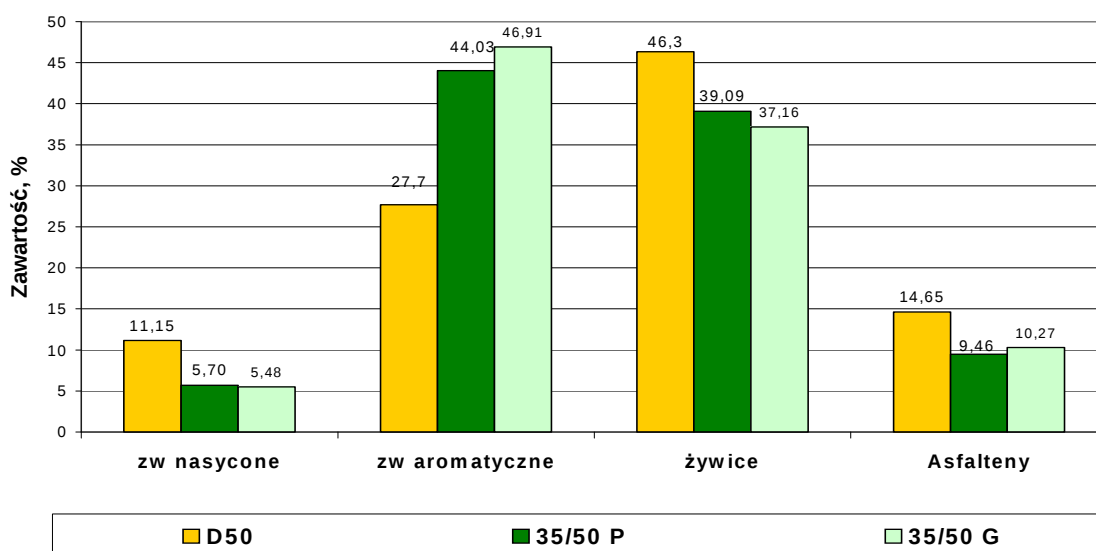
Na rysunkach 46-48 zestawiono wyniki składu grupowego asfaltów bieżących i archiwalnych.

% udział składników w asfaltach D50 i 20/30 (O)

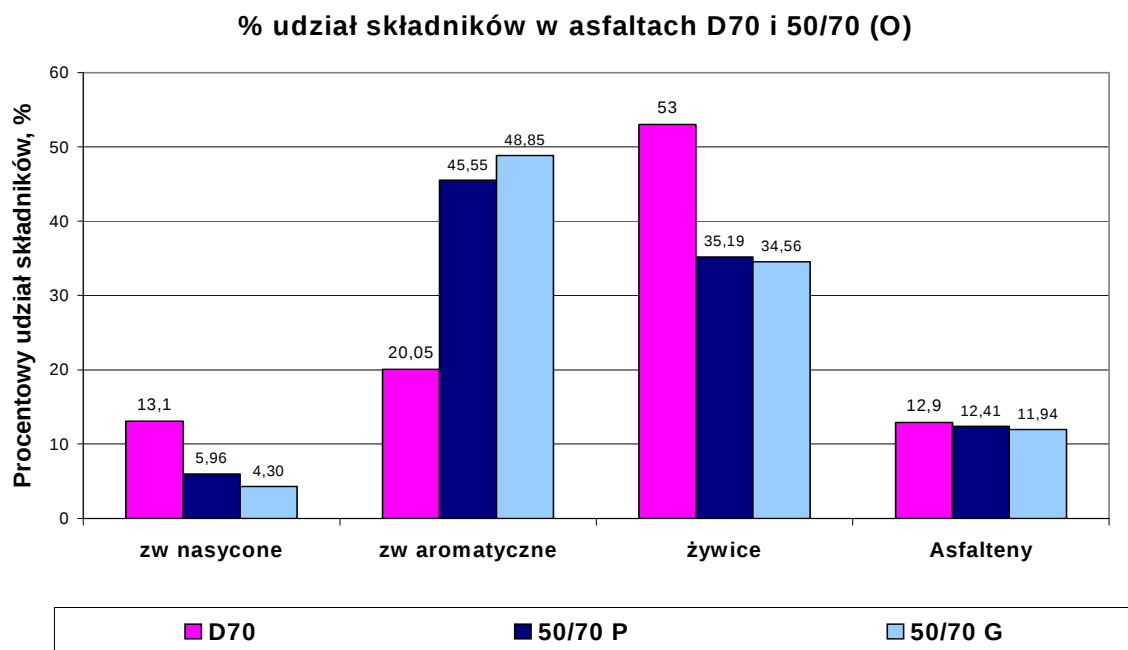


Rys. 45. Porównanie składu grupowego – 20/30 i D50

% udział składników w asfaltach D50 i 35/50 (O)



Rys. 46. Porównanie składu grupowego – 35/50 i D50



Rys. 47. Porównanie składu grupowego – 50/70 i D70

W odniesieniu do wyników archiwalnych asfalt:

20/30 w stosunku do D50 wykazuje mniejszą zawartość żywic, związków nasyconych oraz większą zawartość związków aromatycznych i asfaltenów.

35/50 w stosunku do D50 wykazuje mniejsze zawartości związków nasyconych, żywic, asfaltenów oraz większą zawartość związków aromatycznych.

50/70 w stosunku do D70 wykazuje mniejsze zawartości związków nasyconych, żywic oraz większą zawartość związków aromatycznych i porównywalną zawartość asfaltenów.

Asfalt 20/30 porównano z asfaltem D50 z uwagi na brak danych nt. składu grupowego asfaltu D35.

9. Ocena wpływu zastosowania nowych asfaltów według zaleceń GDDKiA na oczekiwaną trwałość nawierzchni drogowych.

9.1. Ocena trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni z zastosowaniem asfaltów wg starej i nowej normy

9.1.1. Metodyka analizy

Przeprowadzono ocenę trwałości zmęczeniowej konstrukcji nawierzchni drogowej pod kątem wpływu właściwości asfaltu według starej (dane archiwalne) i nowej normy. Pierwszym etapem było wyznaczenie modułów sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej typu beton asfaltowy do podbudowy na podstawie założonych parametrów objętościowych mieszanki oraz właściwości asfaltu: penetracja w 25°C i temperatura mięknięcia wg PiK. Obliczenia przeprowadzono za pomocą programu BANDS z pakietu SPDM firmy Shell. Wyznaczono również wartości parametru ϵ_6 , który jedną z miar trwałości zmęczeniowej mieszanki mineralno-asfaltowej. Następnie metodą mechanistyczną wyznaczono odkształcenia rozciągające w

spodzie warstw asfaltowych konstrukcji o różnym module sztywności warstwy podbudowy. Kolejnym krokiem było obliczenie trwałości zmęczeniowej konstrukcji według równania Instytutu Asfaltowego.

9.1.2. Wyznaczenie modułu sztywności betonu asfaltowego w zależności od właściwości asfaltu

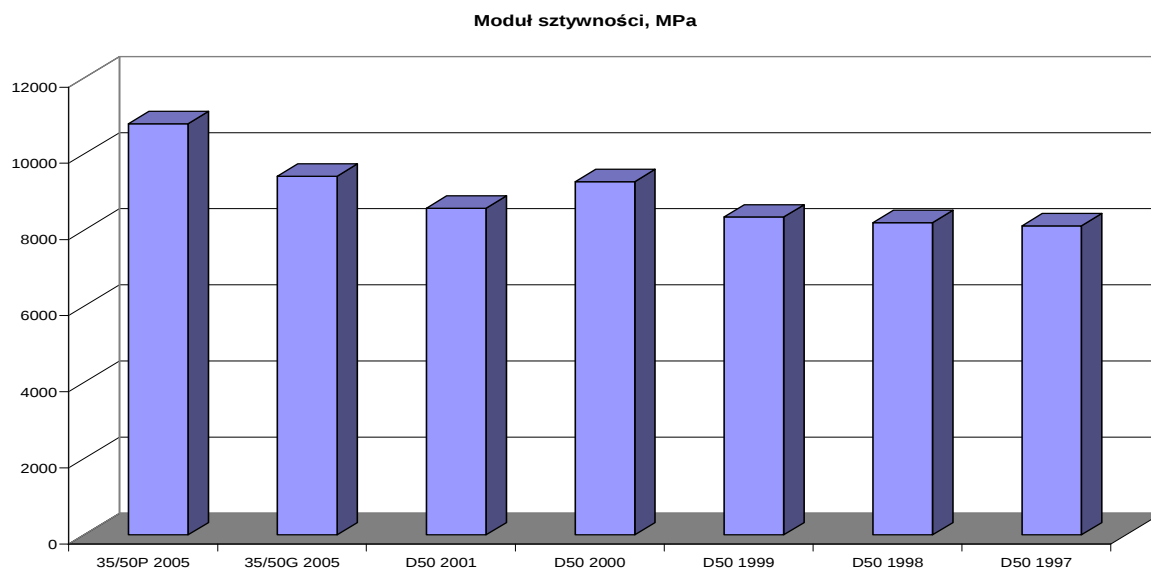
Przyjęto, że do warstwy podbudowy i wiążącej zostanie zastosowany ten sam beton asfaltowy o właściwościach objętościowych jak założono w [3]:

- zawartość asfaltu 4,2 % m/m,
- zawartość objętościowa asfaltu 10% v/v,
- zawartość wolnych przestrzeni 8% v/v.

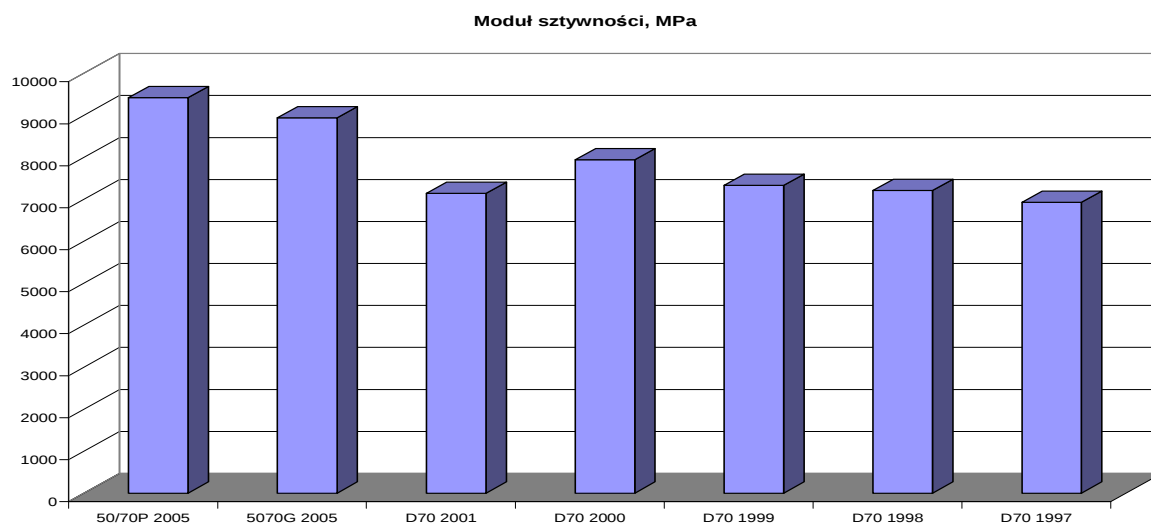
Moduł sztywności został wyznaczony w temperaturze 10°C i częstotliwości 10Hz. Wyniki obliczeń przedstawiono w tablicy 17 oraz na rysunkach 48-50.

Tablica 17. Wyniki obliczeń modułu sztywności betonu asfaltowego z poszczególnymi asfaltami

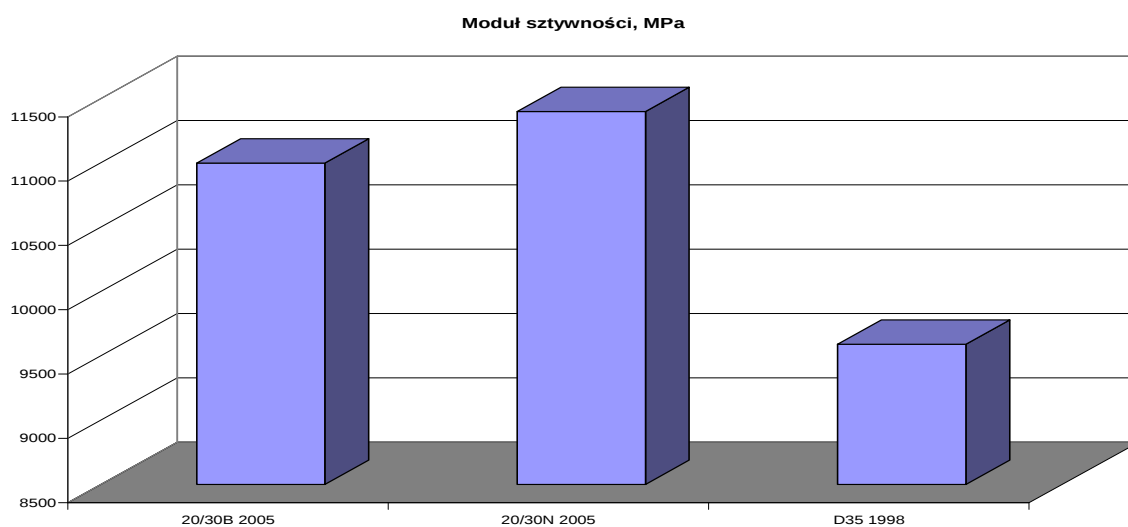
Asfalt	Penetracja w 25 °C 0,1mm	Temperatura mięknienia °C	Moduł sztywności
			MPa
35/50P 2005	44	53	10800
35/50G 2005	45	54,6	9420
D50 2001	49,29	55,07	8580
D50 2000	49,94	54,68	9280
D50 1999	49,80	54,45	8350
D50 1998	44,90	54,85	8200
D50 1997	51,44	53,44	8120
50/70P 2005	64	48,0	9420
5070G 2005	63	48,8	8940
D70 2001	70,43	50,07	7140
D70 2000	71,53	49,32	7940
D70 1999	67,6	50,25	7330
D70 1998	65,18	50,05	7210
D70 1997	72,90	49,05	6930
20/30B 2005	25	63,8	11000
20/30N 2005	24	62,4	11400
D35 1998	41	56,0	9590



Rys. 48. Porównanie modułu sztywności BA z asfaltami D50 i 35/50



Rys. 49. Porównanie modułu sztywności BA z asfaltami D70 i 50/70



Rys. 50. Porównanie modułu sztywności BA z asfaltami D35 i 20/30

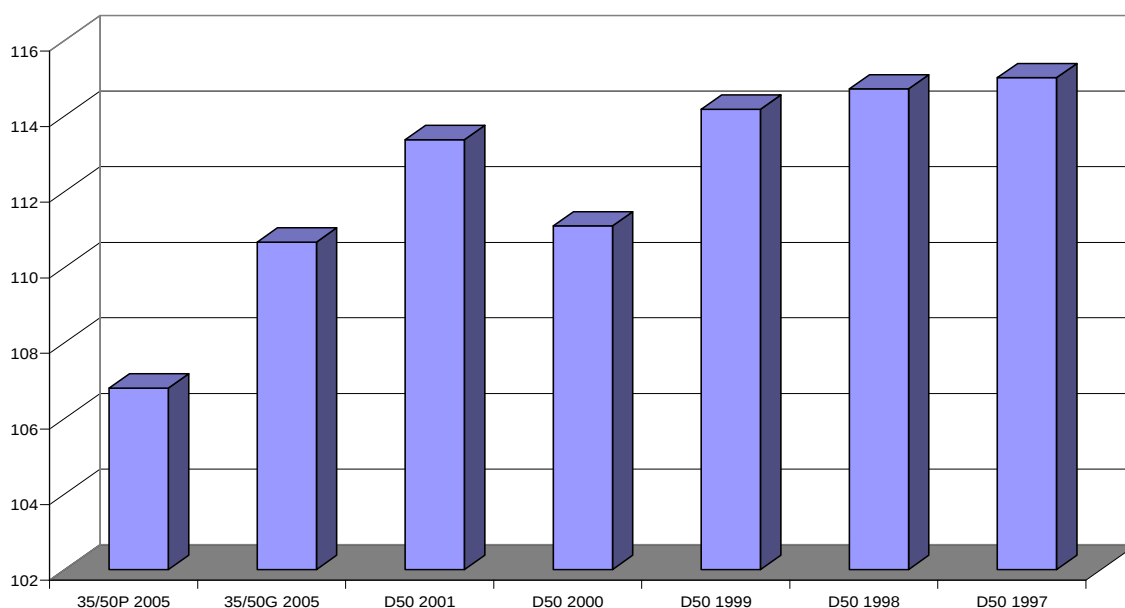
9.1.3. Wyznaczenie parametru ε_6 betonu asfaltowego w zależności od właściwości asfaltu

Parametr ε_6 został wyznaczony z zastosowaniem metody Instytutu Asfaltowego. Wyniki obliczeń przedstawiono w tablicy 18 oraz na rysunkach 51-53.

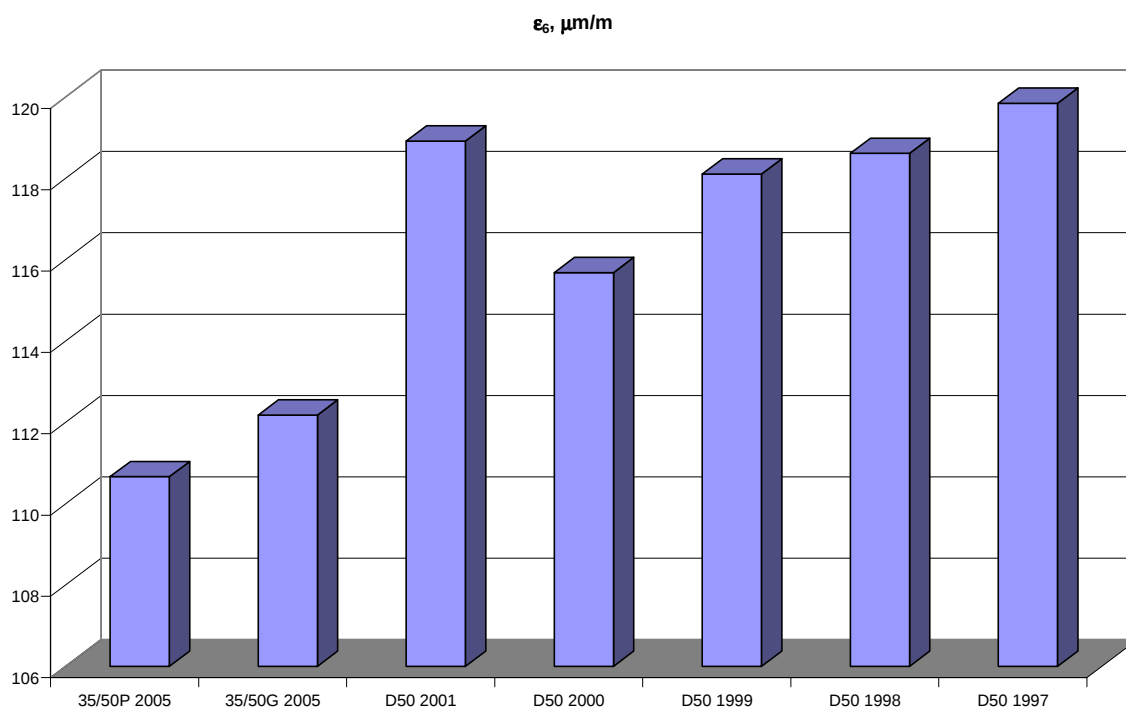
Tablica 18. Wyniki obliczeń parametru ε_6 betonu asfaltowego z poszczególnymi asfaltami

Asfalt	ε_6
	$\mu\text{m/m}$
35/50P 2005	107
35/50G 2005	111
D50 2001	113
D50 2000	111
D50 1999	114
D50 1998	115
D50 1997	115
50/70P 2005	111
50/70G 2005	112
D70 2001	119
D70 2000	116
D70 1999	118
D70 1998	119
D70 1997	120
20/30B 2005	106
20/30N 2005	105
D35 1998	110

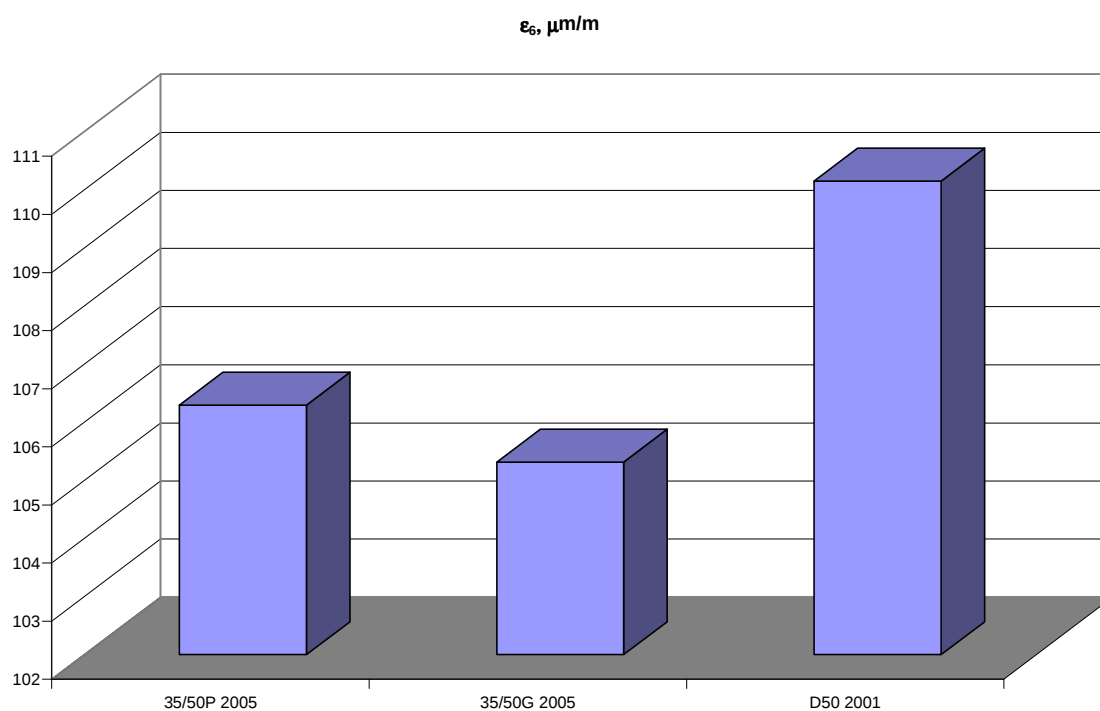
$\varepsilon_6, \mu\text{m/m}$



Rys. 51. Porównanie parametru ε_6 BA z asfaltami D50 i 35/50



Rys. 52. Porównanie parametru ϵ_6 BA z asfaltami D70 i 50/70



Rys. 53. Porównanie parametru ϵ_6 BA z asfaltami D35 i 20/30

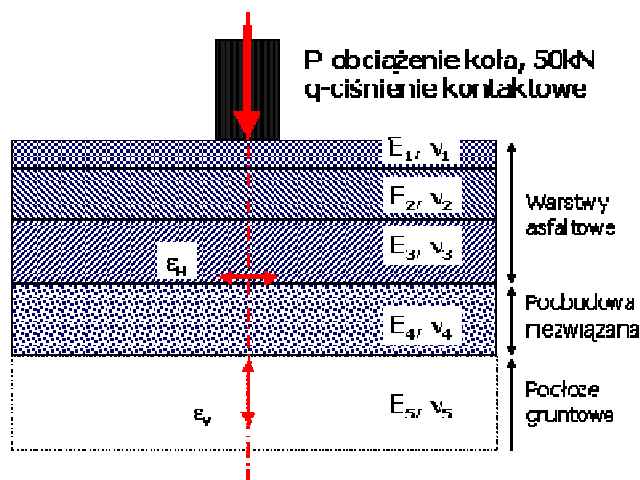
9.1.4. Obliczenia metodą mechanistyczną

W celu obliczenia trwałości konstrukcji niezbędne jest wyznaczenie wartości odkształceń i/lub naprężeń w krytycznych miejscach konstrukcji pod obciążeniem osi obliczeniowej tzn.:

- poziomego odkształcenia rozciągającego ε_H w spodzie warstw asfaltowych,
- pionowego odkształcenia ściskającego ε_V w stropie podłoża gruntowego,
- poziomego naprężenia σ_H (lub odkształcenia zależnie od metody) rozciągającego w spodzie warstwy związanej cementem w przypadku konstrukcji półsztywnej lub sztywnej.

Jest to zadanie z dziedziny mechaniki, w którym przyjmuje się sprężysty lub lepkosprężysty model pracy nawierzchni. Najczęściej stosowany jest model sprężysty przedstawiony na rysunku 54 o następujących założeniach:

- warstwy ułożone są poziomo, mają określoną grubość (h_i) i nieograniczoną wielkość w płaszczyźnie poziomej,
- warstwy charakteryzowane są modułem sprężystości (sztywności) (E_i) i współczynnikiem Poissona (ν_i),
- konstrukcja nawierzchni spoczywa na podłożu gruntowym (półprzestrzeń),
- warstwy konstrukcyjne są homogeniczne i izotropowe.



Rys. 54. Schemat obliczeniowy konstrukcji nawierzchni podatnej

W metodzie Instytutu Asfaltowego, zalecanej i stosowanej w Polsce [4], przyjmuje się, że graniczny stan zniszczenia występuje, gdy spełniony zostanie co najmniej jeden z warunków:

- deformacja strukturalna podłoża wyniesie 12,5 mm,
- spękania zmęczeniowe zajmą co najmniej 20% powierzchni warstwy asfaltowej.

Trwałość ze względu na deformacje strukturalną podłoża wyznacza się z następującej zależności empirycznej:

$$\varepsilon_p = 0,0105 \cdot (1/N)^{0,223}, \quad (1)$$

w której:

N - liczba dopuszczalnych obciążeń do wystąpienia deformacji strukturalnej w konstrukcji nawierzchni o głębokości 12,5 mm,
 ε_p - odkształcenie pionowe na powierzchni podłoża gruntowego.

Dla potrzeb niniejszej pracy obliczenia ograniczą się do wyznaczenia odkształceń rozciągających w spodzie warstw asfaltowych oraz odkształcenia ściskającego w stropie podłoża gruntowego.

Trwałość zmęczeniowa konstrukcji obliczona została metodą Instytutu Asfaltowego MS-1 [5] według równania:

$$N_f = 18,4 \cdot C \cdot (6,167 \cdot 10^{-5} \cdot \varepsilon_t^{-3,291} \cdot E^{-0,854}), \quad (2)$$

w którym:

- N_f trwałość zmęczeniowa nawierzchni, liczba obciążeń do wystąpienia
spękań zmęczeniowych na 20% powierzchni jezdni,
 ε_t odkształcenie rozciągające w spodzie warstw asfaltowych, m/m,
 E moduł sztywności mieszanki mineralno-asfaltowej, MPa,

$$C = 10^M, \quad (3)$$

$$M = 4,84 \cdot \left(\frac{V_b}{V_a - V_b} - 0,69 \right), \quad (4)$$

w którym:

- V_b zawartość objętościowa asfaltu, % v/v,
 V_a zawartość objętościowa wolnej przestrzeni, % v/v,

Obliczenia odkształceń w konstrukcji przeprowadzono stosując program NOAH, przyjmując następujące założenia:

- nacisk osi obliczeniowej 100 kN (nacisk koła 50 kN),
- ciśnienie kontaktowe $q = 650$ kPa,
- temperatura 10°C ,
- pełne połączenie między warstwami asfaltowymi,
- grubości warstw asfaltowych według KTKNPiP [3] jak dla konstrukcji nawierzchni podatnej dla poszczególnych kategorii ruchu,
- założono, że warstwa wiążąca i podbudowa charakteryzują się tym samym modułem sztywności, który jest obliczany na podstawie właściwości asfaltu,
- parametry wytrzymałościowe poszczególnych warstw podano w tablicy 19.

Tablica 19. Parametry wytrzymałościowe poszczególnych warstw konstrukcji

	Moduł sztywności, MPa	Współczynnik Poissona
warstwa ścieralna	8000	0,3
warstwa wiążąca	wg obliczeń	0,3
podbudowa asfaltowa		0,3
podbudowa kruszywowa	400	0,3
podłoże gruntowe	100	0,3

W tablicach 20-22 oraz na rysunkach 57 - 58 przedstawiono wyniki obliczeń trwałości zmęczeniowej. W każdym przypadku o trwałości konstrukcji decydowało kryterium zmęczenia warstw asfaltowych.

Tablica 20. Trwałość nawierzchni z asfaltami D50 i 35/50, mln osi 100 kN

Asfalt	Kategoria ruchu				
	KR2	KR3	KR4	KR5	KR6
35/50P 2005	0,44	1,8	5,0	10,9	22,0
35/50G 2005	0,41	1,6	4,4	9,4	18,9
D50 2001	0,39	1,5	4,0	8,5	17,0
D50 2000	0,41	1,6	4,4	9,3	18,6
D50 1999	0,38	1,4	3,9	8,3	16,5
D50 1998	0,38	1,4	3,9	8,2	16,2
D50 1997	0,38	1,4	3,8	8,1	16,0

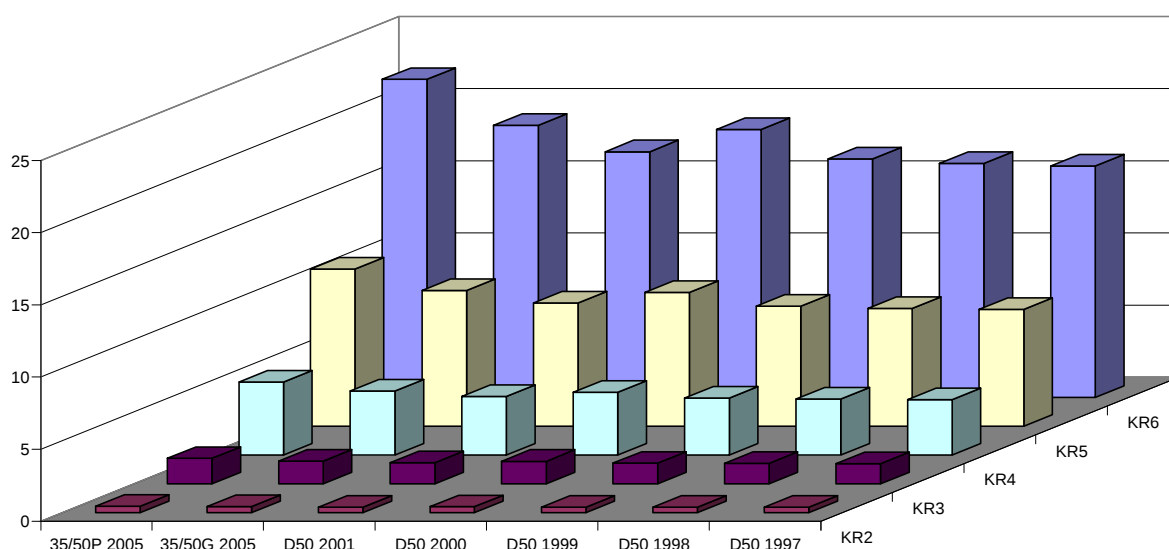
Tablica 21. Trwałość nawierzchni z asfaltami D70 i 50/70, mln osi 100 kN

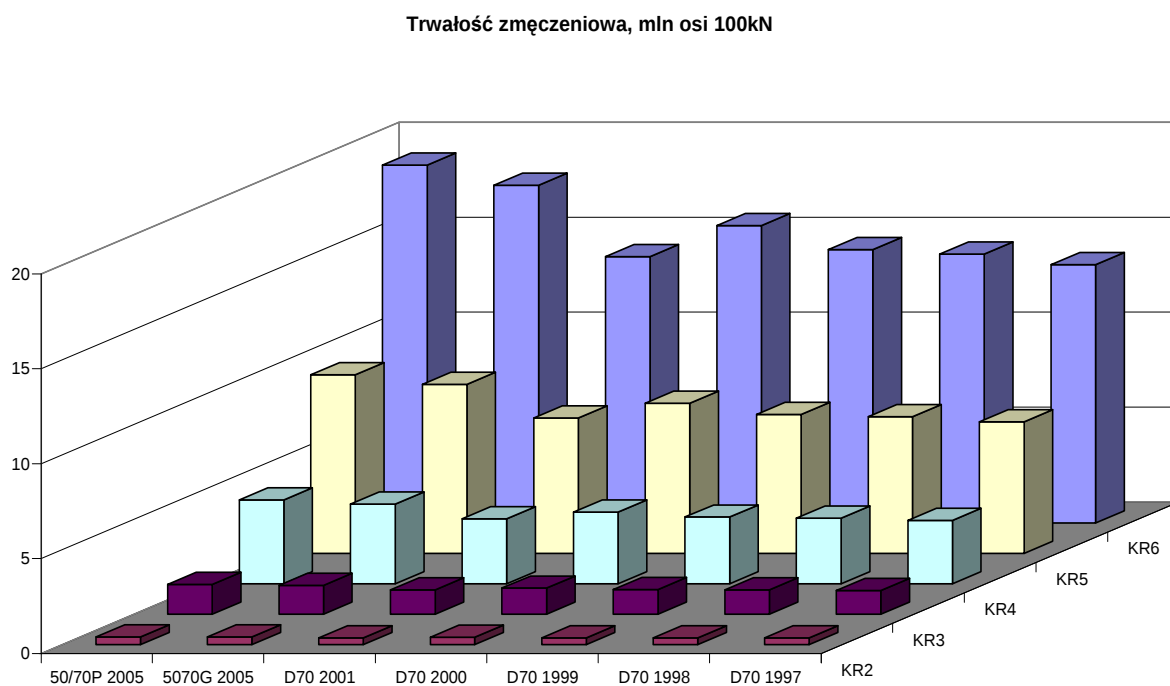
Asfalt	Kategoria ruchu				
	KR2	KR3	KR4	KR5	KR6
50/70P 2005	0,41	1,6	4,4	9,4	18,9
5070G 2005	0,40	1,5	4,2	8,9	17,8
D70 2001	0,35	1,3	3,4	7,1	14,0
D70 2000	0,37	1,4	3,8	7,9	15,7
D70 1999	0,35	1,3	3,5	7,3	14,4
D70 1998	0,35	1,3	3,5	7,2	14,2
D70 1997	0,34	1,2	3,3	6,9	13,6

Tablica 22. Trwałość nawierzchni z asfaltami D35 i 20/30, mln osi 100 kN

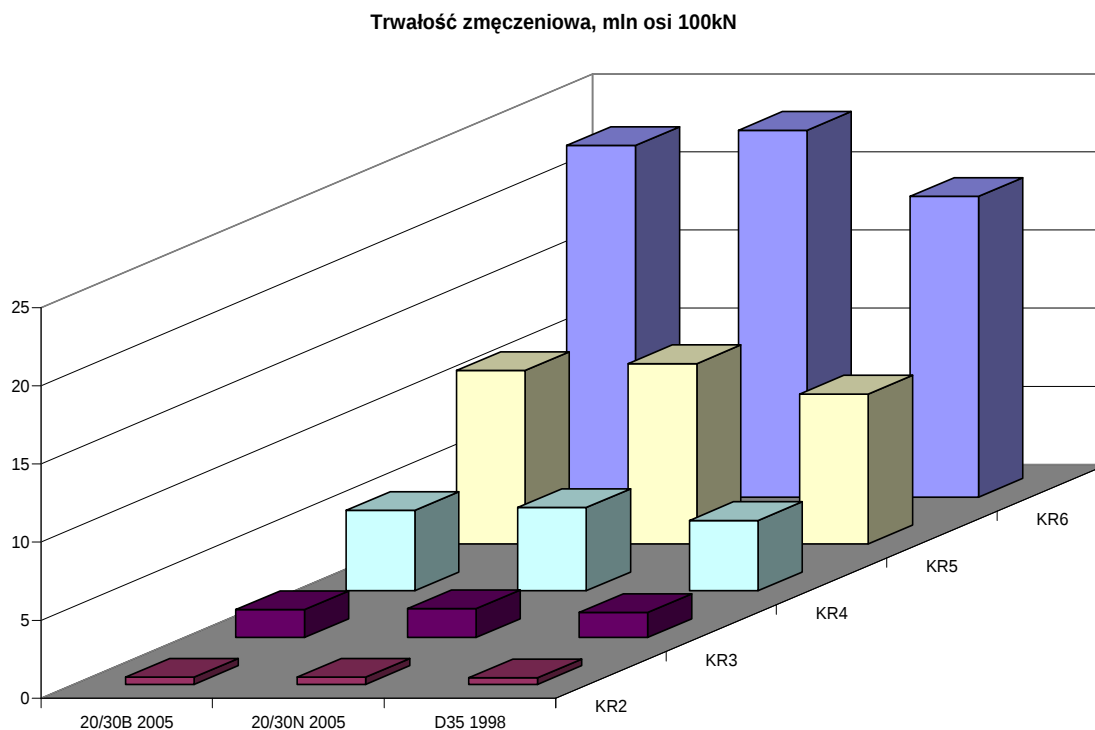
Asfalt	Kategoria ruchu				
	KR2	KR3	KR4	KR5	KR6
20/30B 2005	0,45	1,8	5,1	11,1	22,5
20/30N 2005	0,46	1,8	5,3	11,5	23,5
D35 1998	0,41	1,6	4,5	9,6	19,2

Trwałość zmęczeniowa, mln osi 100kN

**Rys. 55.** Porównanie trwałości zmęczeniowej konstrukcji z asfaltami D50 i 35/50 w zależności przeznaczonej od kategorii ruchu



Rys. 56. Porównanie trwałości zmęczeniowej konstrukcji z asfaltami D70 i 50/70 w zależności przeznaczonej od kategorii ruchu



Rys. 57. Porównanie trwałości zmęczeniowej konstrukcji z asfaltami D35 i 20/30 w zależności przeznaczonej od kategorii ruchu

9.1.5. Analiza wyników obliczeń trwałości konstrukcji nawierzchni drogowej

Przeprowadzone obliczenia modułu sztywności mieszanek mineralno-asfaltowych typu beton asfaltowy do podbudowy wskazują na to, że właściwości asfaltów produkowanych według nowej normy powodują zwiększenie modułu w stosunku do właściwości asfaltów z lat ubiegłych. Wzrost ten wynosi około 15-20% w przypadku asfaltu 35/50 i 50/70 oraz około 25% w przypadku asfaltu 20/30. Konsekwencją zwiększenia modułu sztywności jest zmniejszenie o około 5% wartości parametru ε_6 , który jest miarą odporności zmęczeniowej mieszanki mineralno-asfaltowej. Obliczenia trwałości zmęczeniowej konstrukcji wykazują jednak, że nieznacznie gorsza odporność zmęczeniowa mieszanki mineralno-asfaltowej jest rekompensowana w konstrukcji przez mniejsze odkształcenia rozciągające. Efektem są wyższe wyniki trwałości zmęczeniowej konstrukcji z asfaltami produkowanymi według nowej normy w porównaniu do asfaltów z przeszłości. Wzrost ten wynosi od około 10% (KR2, 20/30) do 25% (KR6, 50/70).

Podsumowując można stwierdzić, że przeprowadzone obliczenia trwałości konstrukcji pozwalają przypuszczać, że zmiany właściwości asfaltów na skutek wprowadzenia nowej normy powinny wpłynąć pozytywnie na trwałość zmęczeniową konstrukcji nawierzchni drogowych.

9.1.6. Podsumowanie

W ramach tej pracy wykonane zostały badania asfaltów produkowanych wg wymagań nowej normy. Badania zostały wykonane w bardzo szerokim zakresie, a następnie wyniki zostały porównane z wynikami archiwalnymi asfaltów.

Badane asfalty mieściły się w wymaganiach wg PN-EN 12591 z wyjątkiem asfaltu 20/30 B, w którym odnotowano temperaturę mięknięcia ($63,8^{\circ}\text{C}$) większą od górnej granicy wymagań normowych (63°C). Badania podstawowe wykazywały typowe zależności tj. im twardszy asfalt to wyższa temperatura mięknięcia, lepkość, temperatura łamliwości, większy przedział plastyczności PP i wyższe indeksy penetracji PI. Wszystkie asfalty po starzeniu (T) wykazywały niewielkie zmiany masy i podobne zależności jak w stanie (O). Największy spadek penetracji po starzeniu (T, E) wykazał asfalt 50/70, natomiast największy wzrost temperatury mięknięcia po starzeniu (T, E) wykazał asfalt 20/30B (tj. $20,4^{\circ}\text{C}$). Temperatura łamliwości kształtowała się na dobrym niskim poziomie, po starzeniu (T, E) zaobserwowano niewielki jej wzrost. Największe zmiany temperatury łamliwości wystąpiły w asfalcie 20/30 B. Wyniki dynamicznego modułu ścinania DSR zilustrowane na wykresach Blacka charakteryzują się regularnym przebiegiem, bez wyraźnego ekstremum, co świadczy o łagodnym przejściu od stanu sprężystego do lepkiego. Z wykorzystaniem wyników badań DSR i BBR zostały określone rodzaje funkcjonalne PG badanych asfaltów. Dolna granica PG kształtowała się na takim samym poziomie, górna granica PG była wyższa dla twardszych asfaltów 35/50. W badaniach ciągliwości z pomiarem siły występowała zależność, im twardszy asfalt tym większa ciągliwość w 25°C i tym mniejsza w 5°C . Po starzeniu (T) we wszystkich badanych asfaltach obserwowano wyraźny wzrost ciągliwości w 25°C i spadek w 5°C w odniesieniu do stanu (O). Po starzeniu technologicznym (T) asfalty wykazywały większe zmiany ciągliwości w zależności od temperatury - większą wrażliwość termiczną. Występowała podobna zależność jak w stanie (O), im twardszy asfalt tym większa ciągliwość w 25°C i tym mniejsza w 5°C . Po starzeniu eksploatacyjnym (E) wzrost ciągliwości w 25°C , w stosunku do stanu (T) wykazał tylko asfalt 50/70, a spadek ciągliwości asfalty 20/30 i 35/50.

Porównując uzyskane wyniki badań do wyników archiwalnych można stwierdzić, że asfalty produkowane wg nowej normy:

- o charakteryzują się niższą penetracją w 25°C (o ok. 12%),
- o temperatura mięknięcia została zachowana na zbliżonym poziomie,
- o posiadają korzystnie niższe temperatury łamliwości,
- o wykazują wyższe lepkości, mniejszy spadek penetracji w 25°C, szersze prze działy plastyczności PP,
- o po starzeniu (T, E) wykazują mniejsze zmiany penetracji, porównywalny wzrost temperatury mięknięcia, niższą temperaturę łamliwości i szerszy przedział plastyczności PP.
- o posiadają dużo niższą wyznaczoną górną granice rodzaju funkcjonalnego PG (wg Superpave), dolna kształtuje się na tym samym poziomie,
- o - w odniesieniu do asfaltów wg starej normy w składzie grupowym asfaltów zaobserwowano mniejszą zawartość związków nasyconych, żywic i większą zawartość związków aromatycznych; zawartość asfaltenów w asfalcie 35/50 była niższa, a w asfalcie 50/70 wyższa w odniesieniu do danych archiwalnych.
- o asfalt 35/50 w odniesieniu do asfaltu D50 w niższych temperaturach wykazuje większą ciągliwość i większą energię deformacji, natomiast w stanie (O) w temperaturze 25 °C odnotowano mniejszą ciągliwość. Po starzeniu (T, E) w każdej temperaturze asfalt 35/50 wykazuje lepsze cechy.
- o asfalt 50/70 w odniesieniu do asfaltu D70 w temperaturze 25°C (O, T) wykazuje mniejszą ciągliwość, natomiast zdecydowanie wyższe ciągliwości odnotowano w niskich temperaturach oraz po starzeniu (E, T) w każdej temperaturze.

Z uwagi na fakt, że polskie rafinerie od dłuższego czasu również we współpracy z IBDiM przygotowywały się do wdrożenia asfaltów wg nowej normy, różnice porównywanych wyników badań bieżących i archiwalnych nie są bardzo znaczące.

Od kilku lat asfalty D50 i D70 były poddawane ocenie według wymagań początkowo projektu, a po ustanowieniu normy europejskiej EN-12591: 1999. Norma ta w 2002 została ustanowiona metodą uznania do stosowania w Polsce, a w 2004 r. ostatecznie wdrożona. Uzgodnione przez producentów, administrację drogową i przedsiębiorstwa drogowe rodzaje asfaltu i wymagania krajowe przedstawia tablica 1, załącznik 5. Wymagania te stały się powszechnie obowiązujące w Polsce i według nich asfalty drogowe były produkowane przez krajowych producentów.

Można powiedzieć, że właściwości asfaltów drogowych produkowanych w latach 1997-2002 już pozwalały je sklasyfikować jako 35/50 lub 50/70 według nowej normy.

Zmiana normy asfaltowej, a wraz z tym zakresów klasyfikacyjnych twardości asfaltów drogowych w Polsce, spowodowała konieczność aktualizacji zaleceń doboru lepszycy asfaltowych do warstw nawierzchni według Katalogu Typowych Konstrukcji Nawierzchni Podatnych i Półsztywnych (KTKNPP, 1997). Uzgodnione z GDDKiA zalecenia przedstawia tablica 2 –załącznik 5.

Istotna zmiana dotyczyła warstwy ścieralnej dróg o największym obciążeniu ruchem KR5 i KR6. Do warstwy tej zalecane są obecnie wyłącznie elastomeroasfalty drogowe. Jest to konsekwencją z jednej strony zmiany twardości dostępnego asfaltu zwykłego (obecny asfalt 35/50 jest twardszy niż D50 i bardziej podatny na pękanie niskotemperaturowe, a asfalt 50/70 miękniejszy niż D50 i bardziej podatny na koleinowanie), a z drugiej strony obserwacją uszkodzeń nawierzchni wykonywanych w

ostatnich latach i potwierdzeniem skuteczności poprawy trwałości nawierzchni z zastosowaniem elastomeroasfaltu.

Obecne wyniki badań potwierdziły prawidłowość wprowadzenia zmian w stosunku do zastosowania odpowiedniego rodzaju asfaltu w różnych warstwach. Dotyczy to zwłaszcza zalecanego zastosowania asfaltu 35/50 do niższych warstw nawierzchni oraz zastosowania asfaltu 50/70 do warstw ścieralnych z wykluczeniem zastosowania dla ruchu KR5-KR6, gdzie przyjęto tylko możliwość zastosowania asfaltów modyfikowanych. Wykonane badania potwierdzają, że takie rozwiązanie jest uzasadnione. Asfalt 20/30 w wydanych w 2002 r. zaleceniach nie został przewidziany do zastosowania wg tablicy 2 – załącznik 5, jednak z uwagi na dobre właściwości oraz stosowane nowe rodzaje mieszanek mineralno-asfaltowych powinien znaleźć zastosowanie w dolnych warstwach nawierzchni drogowej.

Bez względu na zmianę rodzaju (klasyfikacji) asfaltów ich jakość nie tylko ze względu na spełnienie wymagań normowych, ale ze względu na poprawę jednorodności produkcji i poprawę jakości funkcjonalnej asfaltów [6] w ostatnich latach sukcesywnie się poprawiała, co odzwierciedlają wyniki badań bieżących.

Przy obniżonej penetracji w 25 °C nowych asfaltów, temperatura mięknięcia kształtuje się na zbliżonym poziomie, obserwuje się większe przedziały plastyczności, natomiast temperatura łamliwości jest zawsze korzystnie niższa. W takiej sytuacji również asfalt 20/30 powinien znaleźć zastosowanie, zwłaszcza do mieszanek typu BAWMS.

W podsumowaniu należy stwierdzić, że:

- asfalty drogowe obecnie produkowane spełniają wymagania obecnej normy PN-EN-12591 oraz wykazują właściwości funkcjonalne na poziomie bardzo dobrych asfaltów zagranicznych
- zmiana zaleceń doboru lepiszczy do warstw nawierzchni, która wprowadza stosowanie do warstwy ścieralnej nawierzchni autostrad i dróg o największym obciążeniu ruchem KR5 i KR6 wyłącznie asfalty modyfikowane jest uzasadniona
- asfalty 35/50 i 50/70 wykazując dobre właściwości użytkowe mogą być stosowane w warstwach podbudowy i wiążącej nawierzchni dróg wszystkich kategorii ruchu od KR1 do KR6, a w warstwie ścieralnej może być stosowany asfalt 50/70 do dróg o kategorii ruchu od KR1 do KR4 z ograniczeniem zastosowania w regionach, gdzie spodziewana minimalna temperatura nawierzchni wynosi -34°C (region północno – wschodni i tereny podgórskie).
- asfalt 20/30 z uwagi na dobre właściwości użytkowe może być stosowany w warstwach podbudowy i wiążącej nawierzchni dróg wszystkich kategorii ruchu od KR1 do KR6 do wykonywania betonu asfaltowego o wysokim module sztywności BAWMS
- na podstawie oceny wyników badań asfaltów, analizy porównawczej i przeprowadzonych obliczeń trwałości konstrukcji można założyć, że zmiany właściwości asfaltów na skutek wprowadzenia nowej normy powinny wpłynąć pozytywnie na trwałość zmęczeniową konstrukcji nawierzchni drogowych

-
- [1] PN-EN 12591:2004 Asfalty i produkty asfaltowe. Wymagania dla asfaltów drogowych
 - [2] Pfeiffer J.P., van Doormaal P.M.: Journal of Institute of Petroleum. Vol. 22/1936
 - [3] Praca zbiorowa: "Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych" – GDDP/IBDiM 1997
 - [4] „Katalog wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych”, GDDP/IBDiM 2001;
 - [5] Thickness design – asphalt pavements for highways and streets, The Asphalt Institute, MS-1, 1981;
 - [6] Sybilski D., Horodecka R., Wróbel A.: *Zmiany w produkcji asfaltów drogowych w PKN Orlen w latach 1993-2000*. Polskie Drogi 2, 2000, s. 33-38