



POLITECHNIKA GDAŃSKA
Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
Katedra Inżynierii Drogowej

ul. G. Narutowicza 11
80-233 GDAŃSK

Tel: (0-58) 347 13 47
Fax: (0-58) 347 10 97

**BADANIA MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH O
OBNIŻONEJ TEMPERATURZE OTACZANIA**

RAPORT Z DRUGIEGO ETAPU BADAŃ

Opracowano na zlecenie:
Generalna Dyrekcja Dróg
Krajowych i Autostrad
ul. Żelazna 59
00-848 WARSZAWA

Opracowali:

Prof. dr hab. inż. Józef Judycki – autor kierujący

Mgr inż. Marcin Stienss

Kierownik Katedry Inżynierii Drogowej - Prof. dr hab. inż. Józef Judycki

Gdańsk, listopad 2010

BADANIA MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH O OBNIŻONEJ TEMPERATURZE OTACZANIA – II ETAP

SPIS TREŚCI

1. PODSTAWA OPRACOWANIA	5
2. CEL OPRACOWANIA	5
3. ZAKRES OPRACOWANIA.....	6
4. ZAPROJEKTOWANIE SKŁADU MIESZANKI MINERALNO-ASFALTOWEJ PRZEZNACZONEJ DO BADAŃ	7
5. BADANIA CECH LEPISZCZA PRZED I PO STARZENIU TFOT	12
6. BADANIA STABILNOŚCI MARSHALLA	20
7. BADANIA ODPORNOŚCI MIESZANEK NA DZIAŁANIE WODY I MROZU	22
7.1. METODYKA BADANIA	22
7.1.1. Przygotowanie próbek	22
7.1.1.1. Zagęszczanie.....	22
7.1.1.2. Kondycjonowanie.....	22
7.1.2. Opis badania.....	23
7.1.2.1. Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie	23
7.1.2.2. Moduł sztywności sprężystej przy pośrednim rozciąganiu	24
7.1.3. Ocena i kryteria odporności mieszanek na działanie wody i mrozu	26
7.2. WYNIKI BADAŃ.....	26
7.3. ANALIZA WYNIKÓW.....	30
8. BADANIA WPŁYWU STARZENIA NA PARAMETRY BETONU ASFALTOWEGO.....	31
8.1. METODYKA BADANIA	31
8.1.2. Ocena odporności na starzenie	33
8.2. WYNIKI BADAŃ.....	34
8.3. ANALIZA WYNIKÓW.....	40
9. BADANIA ODPORNOŚCI NA KOLEINOWANIE	41
9.1. METODYKA BADANIA	41
9.1.1. Przygotowanie próbek	41
9.1.2. Opis badania.....	42
9.1.3. Kryteria oceny.....	43
9.2. WYNIKI BADAŃ.....	43
9.3. ANALIZA WYNIKÓW.....	50
10. PODSUMOWANIE.....	50

BADANIA MIESZANEK MINERALNO-ASFALTOWYCH O OBNIŻONEJ TEMPERATURZE OTACZANIA – II ETAP

1. Podstawa opracowania

Opracowanie wykonano na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad w Warszawie (GDDKiA w Warszawie) w ramach umowy nr 2572/2009 z dnia 10 grudnia 2009 r. dotyczącej badań mieszanek mineralno-asfaltowych (m.m.a.) o obniżonej temperaturze otaczania.

2. Cel opracowania

Celem opracowania jest ocena wpływu wybranych środków do obniżania temperatury produkcji i wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych na parametry fizykomechaniczne mieszanek wyprodukowanych w warunkach laboratoryjnych.

Badania przeprowadzono na mieszance betonu asfaltowego do warstwy ścieralnej 0/12,8 przeznaczonej dla ruchu KR3-KR6.

Zastosowano dwa rodzaje lepiszcza:

- asfalt zwykły rodzaju 50/70 wyprodukowany przez firmę Lotos Asfalt,
- asfalt modyfikowany polimerami MODBIT rodzaju 45/80-55 wyprodukowany również przez firmę Lotos Asfalt.

W badaniach wykorzystano następujące środki do obniżania temperatury produkcji i wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych:

- Sasobit
- Licomont BS 100
- Rediset WMX
- Ceca Base RT
- Zeolit

W dalszej części pracy zastosowano dla poszczególnych mieszanek mineralno-asfaltowych lub lepiszcz z różnymi środkami następujące oznaczania literowe:

- | | |
|--|-------|
| • Asfalt zwykły 50/70 bez dodatku | – „A” |
| • Asfalt zwykły 50/70 + Sasobit | – „B” |
| • Asfalt zwykły 50/70 + Licomont BS100 | – „C” |
| • Asfalt zwykły 50/70 + Rediset WMX | – „D” |
| • Asfalt zwykły 50/70 + Ceca Base RT | – „E” |
| • Asfalt zwykły 50/70 + Zeolit | – „F” |
| | |
| • Asfalt modyfikowany 45/80-55 bez dodatku | – „G” |
| • Asfalt modyfikowany 45/80-55 + Sasobit | – „H” |
| • Asfalt modyfikowany 45/80-55 + Licomont | – „I” |
| • Asfalt modyfikowany 45/80-55 + Rediset WMX | – „K” |

- Asfalt modyfikowany 45/80-55 + Ceca Base RT – „L”
- Asfalt modyfikowany 45/80-55 + Zeolit – „M”

Dla mieszanek mineralno-asfaltowych przygotowanych z wymienionymi asfaltami i środkami określono szereg cech betonu asfaltowego w celu porównania wpływu rodzaju środka obniżającego temperaturę produkcji mieszanki mineralno-asfaltowej na parametry betonu asfaltowego. Wykonano również badania cech samych lepiszcz.

W niniejszym opracowaniu dla każdego środka obniżającego temperaturę przyjmowano jedną zawartość procentową w stosunku do masy lepiszcza lub – tylko w przypadku zeolitu – jedną zawartość procentową w stosunku do masy mieszanki mineralno-asfaltowej. Optymalne zawartości procentowe przyjęto na podstawie studiów literatury. Wynoszą one (poniższy schemat dotyczy również samych lepiszcz):

- **Mieszanka B – Asfalt zwykły 50/70 + 3% środka Sasobit,**
- **Mieszanka C – Asfalt zwykły 50/70 + 3% środka Licomont BS100,**
- **Mieszanka D – Asfalt zwykły 50/70 + 2% środka Rediset WMX,**
- **Mieszanka E – Asfalt zwykły 50/70 + 0,35% środka Ceca Base RT,**
- **Mieszanka F – Asfalt zwykły 50/70 + 0,30% środka Zeolit (w stosunku do m.m.a).**
- **Mieszanka H – Asfalt modyfikowany 45/80-55 + 3% środka Sasobit,**
- **Mieszanka I – Asfalt modyfikowany 45/80-55 + 3% środka Licomont,**
- **Mieszanka K – Asfalt modyfikowany 45/80-55 + 2% środka Rediset WMX,**
- **Mieszanka L – Asfalt modyfikowany 45/80-55 + 0,35% środka Ceca Base RT,**
- **Mieszanka M – Asfalt modyfikowany 45/80-55 + 0,30% środka Zeolit (w stosunku do m.m.a).**

Mieszanki/lepiszcza A i G – bez dodatku środków obniżających temperaturę – są we wszystkich badaniach mieszanek i lepiszcz uznane za punkty odniesienia.

Z uwagi na charakter działania środka Zeolitu – spienianie asfaltu poprzez wodę przechodzącą w parę przy zetknięciu się kryształów zeolitu z gorącym kruszywem – nie przeprowadzano dla mieszanek (lub samego lepiszcza) rodzaju F i M badań właściwości asfaltu oraz badania starzenia krótkoterminowego.

3. Zakres opracowania

Zakres badań lepiszcz oraz mieszanek mineralno-asfaltowych obejmował:

1. Zaprojektowanie składu mieszanki mineralno-asfaltowej przeznaczonej do badań według metody empirycznej,
2. Badania cech lepiszcza:
 - penetracji wg normy PN-EN 1426:2001 „Asfalty i produkty asfaltowe. Oznaczanie penetracji igłą.”,
 - temperatury mięknięcia wg normy PN-EN 1424:2007 „Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie temperatury mięknięcia. Metoda Pierścienia i Kula.”,

- lepkości wg normy PN-EN 13702-2:2005 „Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie lepkości dynamicznej modyfikowanych asfaltów. Część 2: Metoda współosiowych cylindrów”.

Powyższe cechy określono dla lepiszcz przed i po starzeniu w cienkiej warstwie TFOT.

3. Badanie stabilności Marshalla,
4. Badania odporności mieszanek na działanie wody i mrozu wg normy PN-EN12697-12,
5. Badania wpływu starzenia na parametry betonu asfaltowego. Badania przeprowadzone metodą ITSM (IT-CY) w przedziale temperatur -10°C, 0°C, +10°C, +20°C dla betonu asfaltowego z asfaltem zwykłym oraz. -20°C, -10°C, 0°C, +10°C i +20°C dla betonu asfaltowego z asfaltem modyfikowanym. Badaniom poddano próbki po starzeniu krótko i długoterminowym.
6. Badania odporności na koleinowanie według normy PN-EN 12697-22 w małym aparacie (metoda B, w powietrzu) oraz według normy brytyjskiej BS598,
7. Opracowanie i analizę wyników badań.

4. Zaprojektowanie składu mieszanki mineralno-asfaltowej przeznaczonej do badań

Do celów badań zaprojektowano mieszankę betonu asfaltowego 0/12,8 mm do warstwy ścieralnej z zastosowaniem asfaltów: zwykłego 50/70 oraz modyfikowanego 45/80-55. Przyjęto uziarnienie według normy PN-S-96025:2000.

Do zaprojektowania i produkcji mieszanek mineralno-asfaltowych użyto grysów granitowych ze Szwecji i Norwegii. Ponadto zastosowano piasek łamany z Norwegii oraz wypełniacz wapienny firmy Nordkalk. Do asfaltów nie dodawano środka adhezyjnego, aby nie miały one wpływu na wyniki badań.

W początkowej fazie planowano przeprowadzić badania na mieszance betonu asfaltowego AC 11S dla ruchu KR3-KR4. Jednakże po trzykrotnych nieudanych próbach zaprojektowania składu i wykonania próbnych zarobów według wymagań podanych w Wymaganiach Technicznych „WT-2. Nawierzchnie asfaltowe na drogach publicznych 2008” zdecydowano o zaprojektowaniu tradycyjnego betonu asfaltowego 0/12,8 do warstwy ścieralnej dla ruchu KR3-KR6 według normy PN-S-96025:2000. Badania odporności na działanie wody i mrozu oraz koleinowania przeprowadzono jednak zgodnie z normami serii PN-EN.

Zaprojektowaną mieszankę mineralną do warstwy ścieralnej przedstawiono w tablicy 4.1.

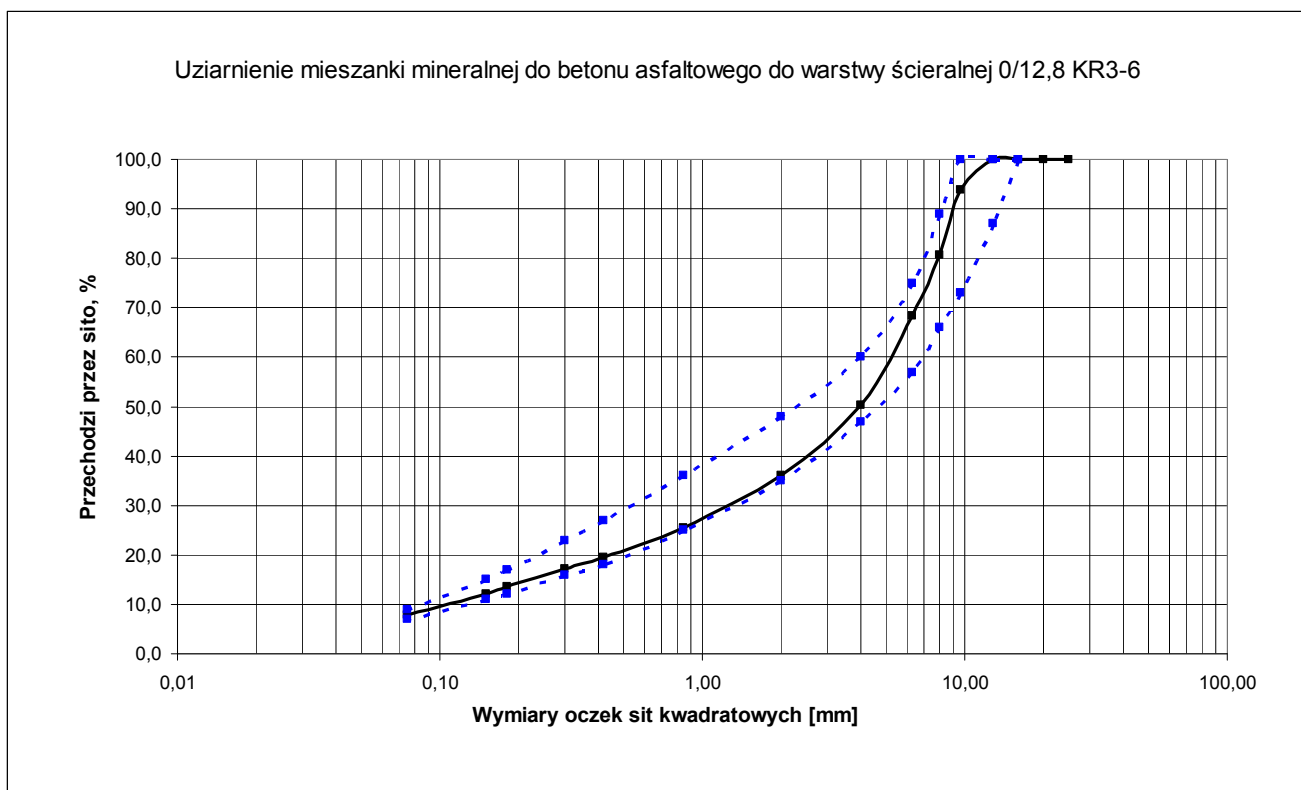
Tablica 4.1 Uziarnienie mieszanki mineralnej 0/12,8 mm do warstwy ścieralnej z betonu asfaltowego wg normy PN-S-96025:2000

Sito # [mm]	Dolna krzywa graniczna wg normy PN-S-96025:2000	Górna krzywa graniczna wg normy PN-S-96025:2000	Rzędne krzywej uziarnienia
25,0	100	100	100,0
20,0	100	100	100,0
16,0	100	100	100,0
12,8	87	100	100,0
9,6	73	100	93,8
8,0	66	89	80,6
6,3	57	75	68,4
4,0	47	60	50,2
2,0	35	48	36,1
0,85	25	36	25,6
0,42	18	27	19,5
0,30	16	23	17,2
0,18	12	17	13,6
0,15	11	15	12,0
0,075	7	9	7,8

Zawartości poszczególnych materiałów mineralnych w mieszance mineralnej przedstawiono w tablicy 4.2, zaś krzywą uziarnienia na rysunku 4.1.

Tablica 4.2 Zawartość procentowa materiałów mineralnych w betonie asfaltowym 0/12,8 mm do warstwy ścieralnej

Materiał	Zawartość [%]
Grys 8/11	22
Grys 5/8	22
Grys 2/5	24
Piasek łamany 0/2	26
Mączka	6
Suma	100



Rysunek 4.1 Krzywa uziarnienia mieszanki mineralnej betonu asfaltowego 0/12,8 KR3-KR6

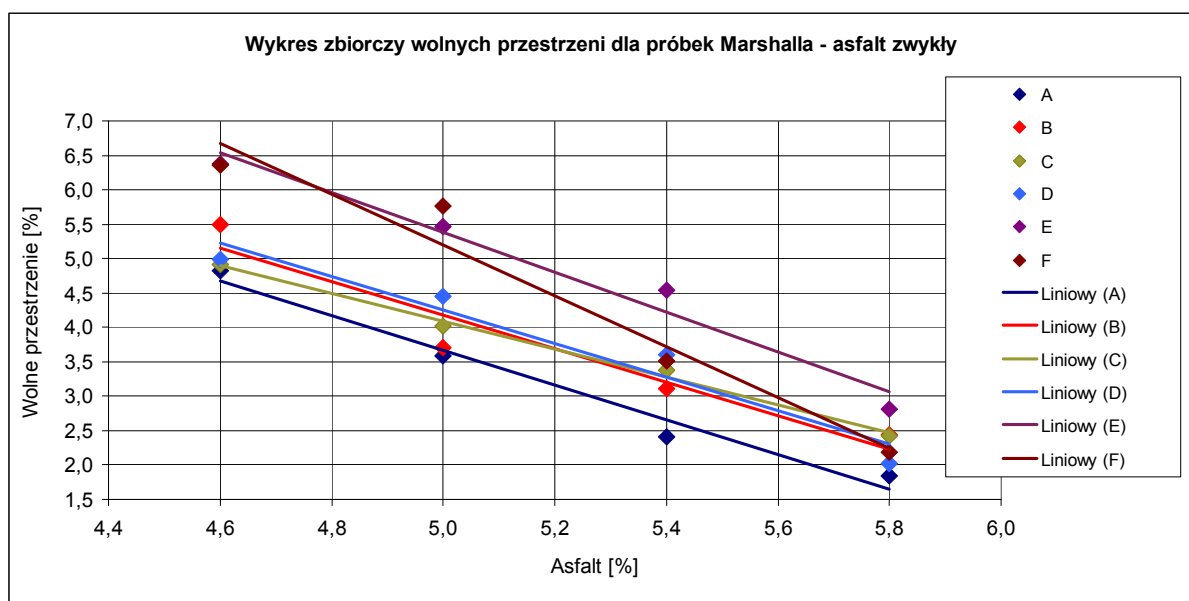
Następnie wykonano zaroby próbne dla mieszanek bez dodatków oraz z dodatkami. Zastosowano 4 różne zawartości asfaltu:

- 4,60%
- 5,00%
- 5,40%
- 5,80%.

Po wykonaniu próbek zbadano zawartość wolnych przestrzeni oraz stabilność (por. rozdział 6). W tablicach 4.3 oraz 4.4 przedstawiono zawartości wolnych przestrzeni w zależności od ilości asfaltu. Zależności graficzne dotyczące tych wielkości przedstawiono na rysunkach 4.2 oraz 4.3

Tablica 4.2 Zawartość wolnych przestrzeni w próbkach Marshalla dla różnych zawartości asfaltu – mieszanki z asfaltem zwykłym

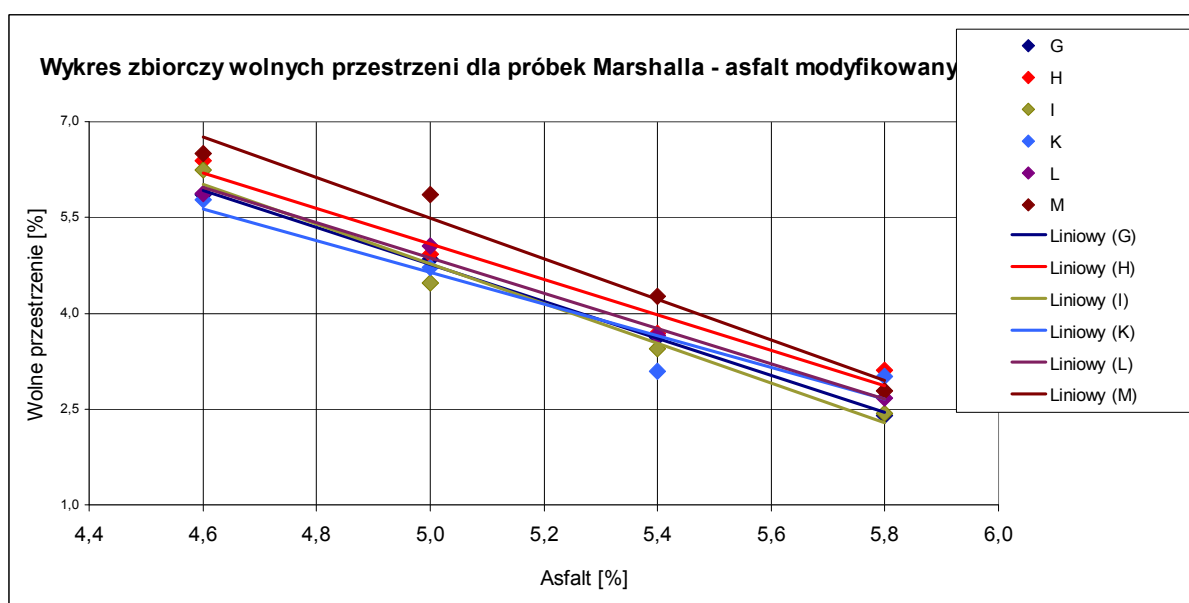
Rodzaj asfaltu	Zawartość wolnych przestrzeni przy zawartości asfaltu [%]:			
	4,60	5,00	5,40	5,80
A	4,8	3,6	2,4	1,8
B	5,5	3,7	3,1	2,4
C	4,9	4,0	3,4	2,4
D	5,0	4,5	3,6	2,0
E	6,4	5,5	4,5	2,8
F	6,4	5,8	3,5	2,2



Rysunek 4.2 Wykres zawartości wolnych przestrzeni w próbkach Marshalla – mieszanka z asfaltem zwykłym

Tablica 4.3 Zawartość wolnych przestrzeni w próbkach Marshalla dla różnych zawartości asfaltu – mieszanki z asfaltem modyfikowanym

Rodzaj asfaltu	Zawartość wolnych przestrzeni przy zawartości asfaltu [%]:			
	4,60	5,00	5,40	5,80
G	5,9	4,8	3,6	2,4
H	6,4	4,9	3,7	3,1
I	6,2	4,5	3,5	2,4
K	5,8	4,7	3,1	3,0
L	5,9	5,0	3,6	2,7
M	6,5	5,9	4,3	2,8



Rysunek 4.3 Wykres zawartości wolnych przestrzeni w próbkach Marshalla –asfalt modyfikowany

Optymalną zawartość asfaltu dla mieszanek produkowanych w dalszym etapie badań przyjęto na podstawie zawartości wolnych przestrzeni. Kierowano się zasadą, że ilość asfaltu powinna zapewniać w mieszance odniesienia zawartość wolnych przestrzeni na poziomie 3-4%. Przyjęte ilości asfaltu są następujące:

- dla mieszanek z asfaltem zwykłym – 5,3 %
- dla mieszanek z asfaltem modyfikowanym – 5,4%

Powyższe zawartości asfaltu występują we wszystkich dalszych etapach badań.

5. Badania cech lepiszcza przed i po starzeniu TFOT

Celem badań asfaltów było określenie ich podstawowych właściwości takich jak penetracja, temperatura mięknięcia PiK oraz lepkość. Badania te przeprowadzono dla próbek asfaltów bez dodatków środków obniżających temperaturę. Badania przeprowadzono według następujących metod:

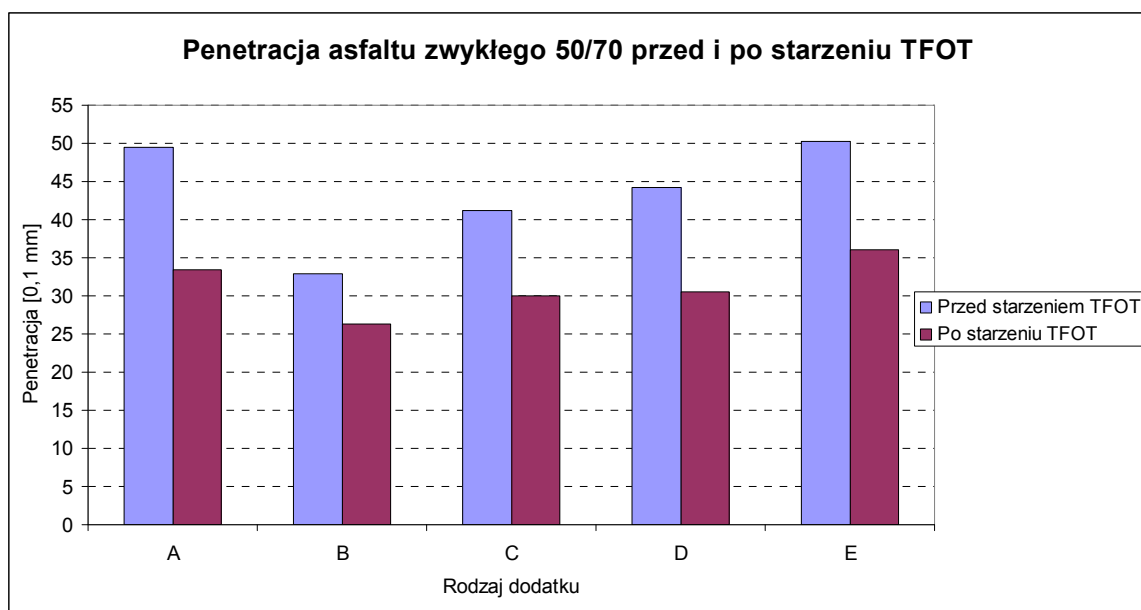
1. Penetrację według normy PN-EN 1426:2001 „Asfalty i produkty asfaltowe. Oznaczanie penetracji igłą.”
2. Temperaturę mięknięcia według normy PN-EN 1424:2007 „Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie temperatury mięknięcia. Metoda Pierścień i Kula”.
3. Lepkość według normy PN-EN 13702-2:2005 „Asfalty i lepiszcza asfaltowe. Oznaczanie lepkości dynamicznej modyfikowanych asfaltów. Część 2: Metoda współosiowych cylindrów”. Lepkość dynamiczną badano w lepkościomierzu firmy „Brookfield Engineering Labs, współpracującym z programem komputerowym Rheocalc, pozwalającym na określenie lepkości asfaltów. Badanie lepkości polega na pomiarze oporu badanej cieczy podczas obracania w niej wrzeciona. Badania lepkości asfaltów prowadzono używając następujących wrzecion:
 - a. SC4-28, w temperaturze 90°C,
 - b. SC4-27, w temperaturze 90°C,
 - c. SC4-21, w temperaturze 135 i 160°C.

Powyższe cechy określono dla lepiszcz przed i po starzeniu w cienkiej warstwie TFOT.

Wyniki badania penetracji, temperatury mięknięcia PiK oraz lepkości przedstawiono w tablicach 5.1 – 5.7. Zależności graficzne dotyczące niniejszych parametrów pokazano na rysunkach 5.1 – 5.8

Tablica 5.1 Wyniki badania penetracji asfaltu zwykłego 50/70 przed i po starzeniu TFOT

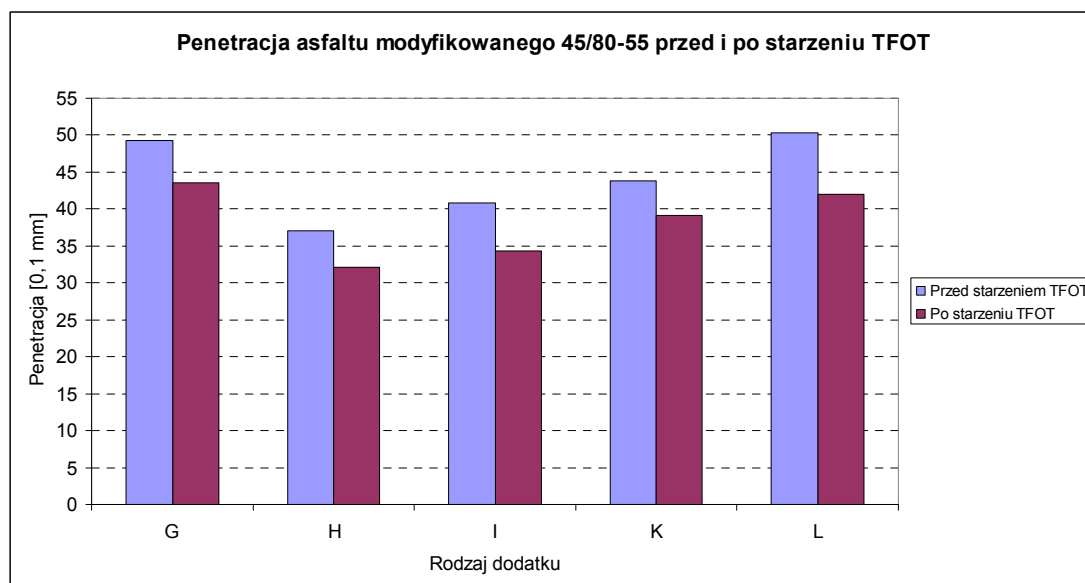
Rodzaj asfaltu i dodatku	Penetracja przed starzeniem TFOT [0,1 mm]	Penetracja po starzeniu TFOT [0,1 mm]	Spadek [%]
A	49,4	33,4	32,4%
B	32,9	26,3	19,9%
C	41,2	30,0	27,1%
D	44,2	30,6	30,8%
E	50,2	36,0	28,3%



Rysunek 5.1 Wyniki badania penetracji asfaltu zwykłego 50/70 przed i po starzeniu TFOT

Tablica 5.2 Wyniki badania penetracji asfaltu modyfikowanego 45/80-55 przed i po starzeniu TFOT

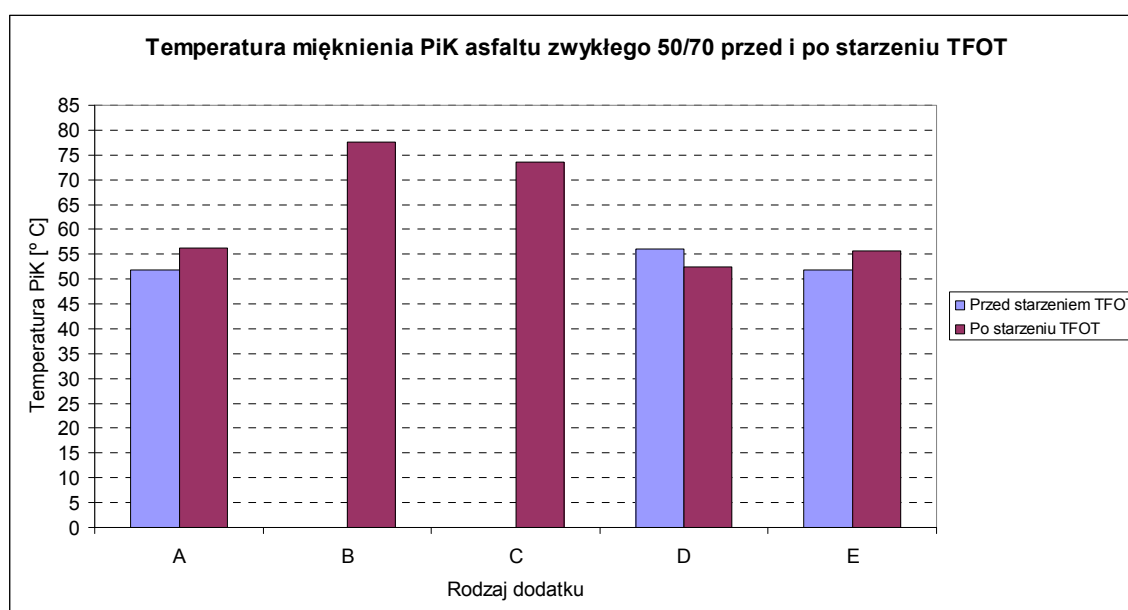
Rodzaj asfaltu i dodatku	Penetracja przed starzeniem TFOT	Penetracja po starzeniu TFOT	Spadek [%]
G	49,3	43,6	11,7%
H	37,0	32,2	13,1%
I	40,8	34,3	15,9%
K	43,8	39,1	10,7%
L	50,3	41,9	16,7%



Rysunek 5.2 Wyniki badania penetracji asfaltu modyfikowanego 45/80-55 przed i po starzeniu TFOT

Tablica 5.3 Wyniki badania temperatury mięknięcia PiK asfaltu zwykłego 50/70 przed i po starzeniu TFOT

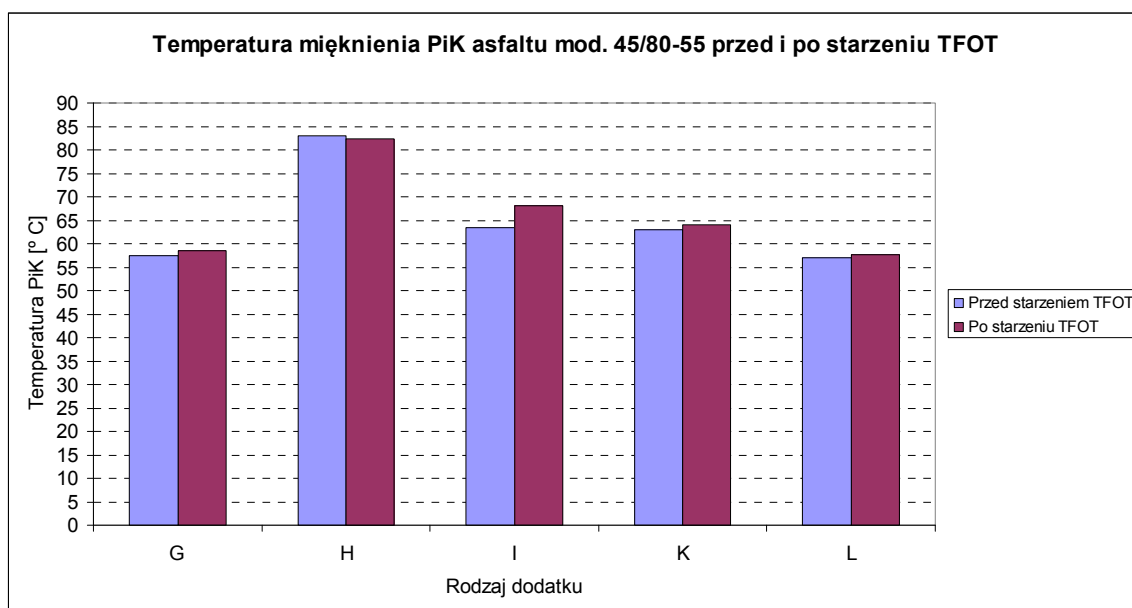
Rodzaj asfaltu i dodatku	Temperatura PiK przed starzeniem TFOT	Temperatura PiK po starzeniu TFOT	Wzrost [%]
A	51,8	56,3	8,7%
B	zerwanie	77,5	-
C	zerwanie	73,5	-
D	56,0	52,5	-6,3%
E	51,8	55,8	7,7%



Rysunek 5.3 Wyniki badania temperatury mięknięcia PiK asfaltu zwykłego 50/70 przed i po starzeniu TFOT

Tablica 5.4 Wyniki badania temperatury mięknięcia PiK asfaltu modyfikowanego 45/80-55 przed i po starzeniu TFOT

Rodzaj asfaltu i dodatku	Temperatura PiK przed starzeniem TFOT	Temperatura PiK po starzeniu TFOT	Wzrost [%]
G	57,5	58,5	1,7%
H	83,0	82,3	-0,9%
I	63,5	68,0	7,1%
K	63,0	64,0	1,6%
L	57,0	57,8	1,3%



Rysunek 5.4 Wyniki badania temperatury mięknięcia PiK asfaltu modyfikowanego 45/80-55 przed i po starzeniu TFOT

Tablica 5.5 Wyniki badania lepkości dynamicznej asfaltu zwykłego 50/70 i modyfikowanego 45/80-55 przed starzeniem TFOT

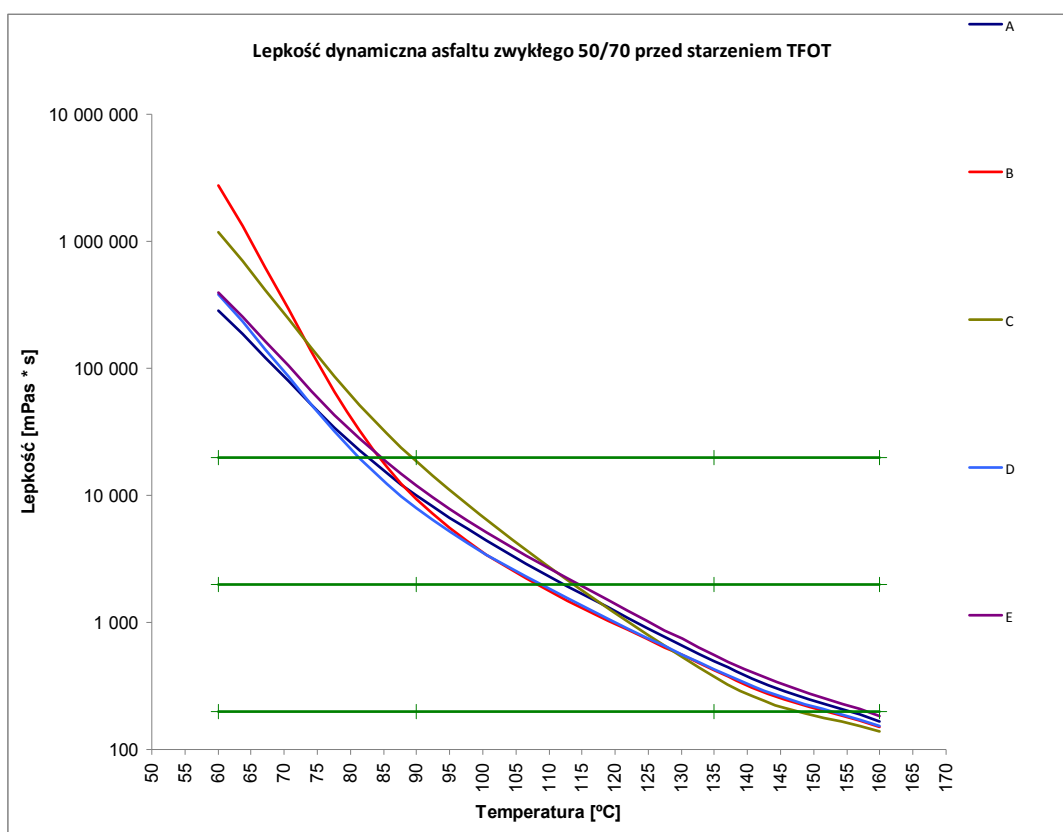
Rodzaj asfaltu	Lepkość dynamiczna w temperaturze [mPas * s] – przed TFOT			
	60	90	135	160
A	283 743	10 005	495	165
B	2 757 273	9 380	418	151
C	1 171 394	18 600	377	138
D	383 258	7 923	426	153
E	394 945	11 946	557	182
G	2 176 667	29 720	1 225	407
H	*	35 110	929	299
I	1 511 591	47 483	820	302
K	4 932 273	30 903	1 161	401
L	2 424 091	24 000	1 048	361

Tablica 5.6 Wyniki badania lepkości dynamicznej asfaltu zwykłego 50/70 i modyfikowanego 45/80-55 po starzeniu TFOT

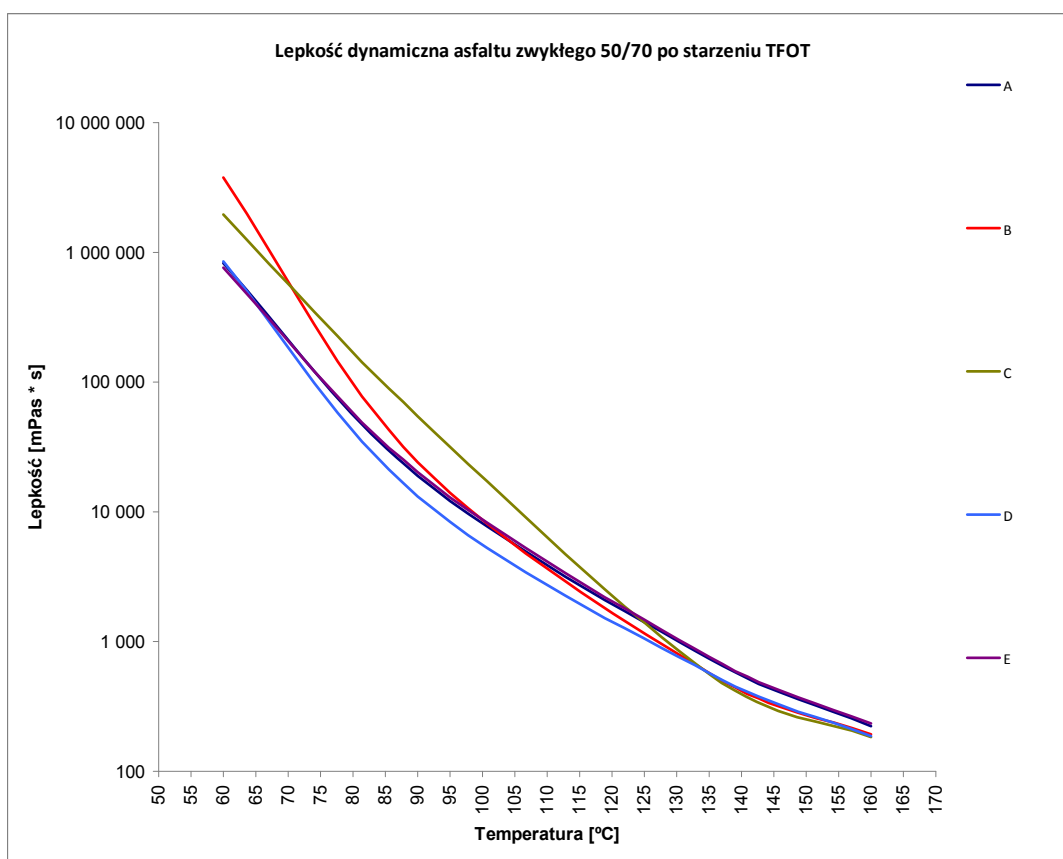
Rodzaj asfaltu	Lepkość dynamiczna w temperaturze [mPas * s] – po TFOT			
	60	90	135	160
A	825 091	18 962	736	224
B	3 796 364	23 949	568	192
C	1 956 136	54 121	565	184
D	857 934	13 203	576	185
E	758 333	20 091	760	232
G	1 280 909	26 997	1 045	327
H	*	47 741	1 181	350
I	7 819 091	76 908	951	316
K	3 216 364	34 260	1 463	454
L	1 392 045	30 167	1 228	379

Tablica 5.6 Procentowa zmiana lepkości dynamicznej asfaltu zwykłego 50/70 i modyfikowanego 45/80-55 przed i po starzeniu TFOT

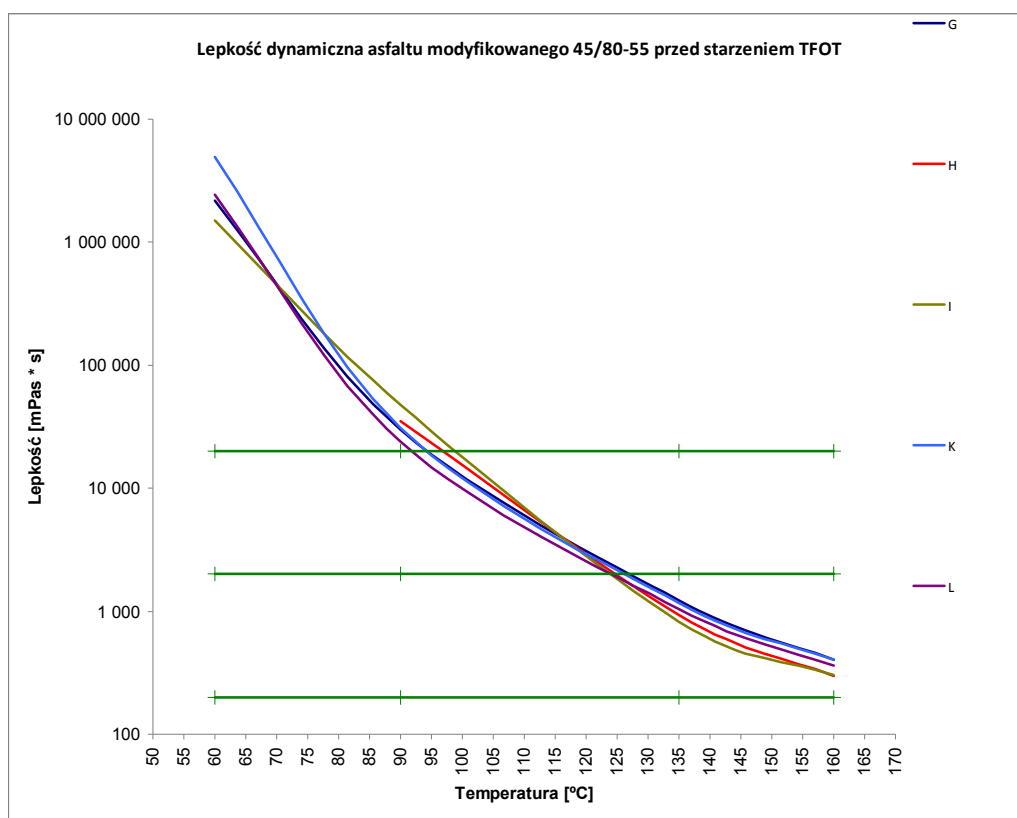
Rodzaj asfaltu	Procentowa zmiana lepkości dynamicznej po starzeniu TFOT [%]			
	60	90	135	160
A	291%	190%	149%	136%
B	138%	255%	136%	126%
C	167%	291%	150%	134%
D	224%	167%	135%	121%
E	192%	168%	137%	127%
G	59%	91%	85%	80%
H	*	136%	127%	117%
I	517%	162%	116%	105%
K	65%	111%	126%	113%
L	57%	126%	117%	105%



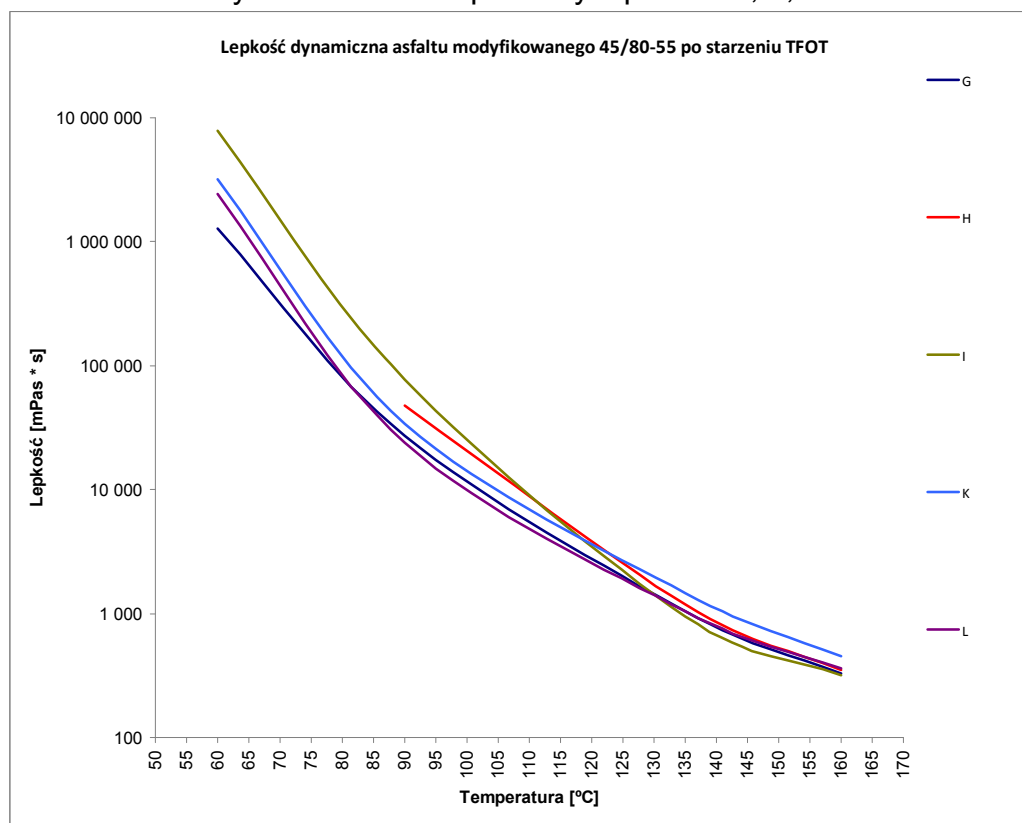
Rysunek 5.5 Lepkość dynamiczna asfaltu zwykłego 50/70 przed starzeniem TFOT.
Liniami zielonymi zaznaczono poziomy lepkości: 0,2 , 2 oraz 20 Pas.



Rysunek 5.6 Lepkość dynamiczna asfaltu zwykłego 50/70 po starzeniu TFOT



Rysunek 5.7 Lepkość dynamiczna asfaltu modyfikowanego przed starzeniem TFOT. Liniami zielonymi zaznaczono poziomy lepkości: 0,2 , 2 oraz 20 Pas.



Rysunek 5.8 Lepkość dynamiczna asfaltu modyfikowanego po starzeniu TFOT

Wnioski z przeprowadzonych badań:

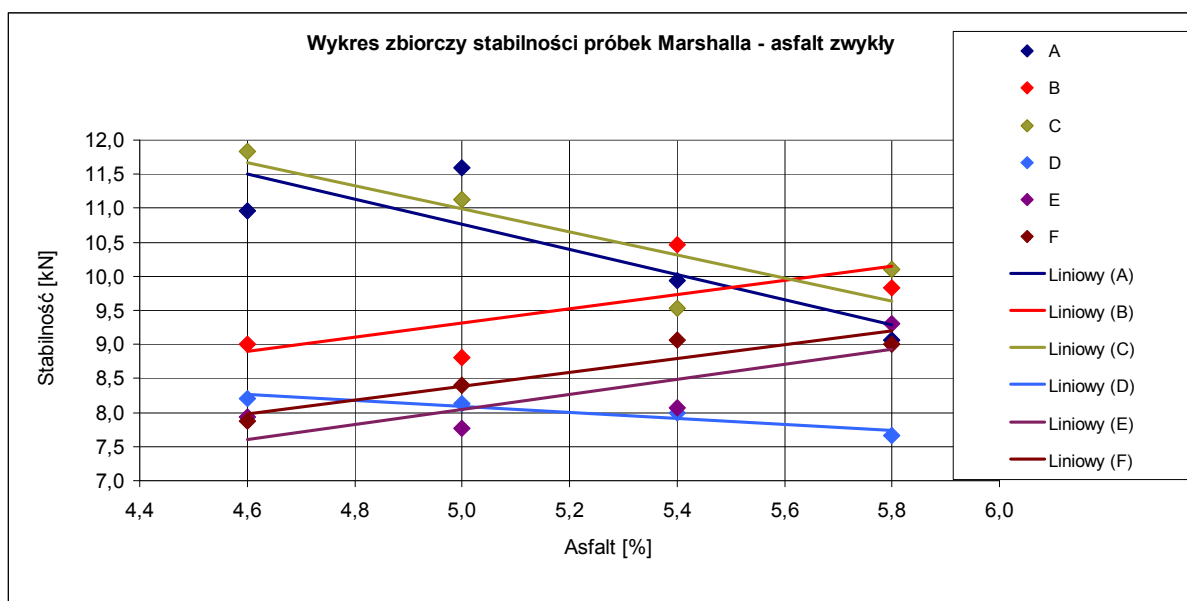
- środki obniżające temperaturę produkcji m.m.a. wpływają na badane parametry asfaltu. Większy wpływ zauważono przy środkach z grupy wosków (Sasobit, Licomont BS 100, Rediset WMX),
- nie zaobserwowano znaczącego wpływu środków obniżających temperatury na starzenie asfaltów w teście TFOT. Obserwowane zmiany mieszczą się w granicach błędu pomiaru,
- z analizy zmian lepkości asfaltów po dodaniu środków obniżających temperaturę produkcji m.m.a wynika, że temperatury produkcji różnią się w niewielkim stopniu od asfaltów bez dodatków. Nie pokrywa się to z doświadczeniami w pełnej skali, gdzie na wytwórniach otaczano kruszywo asfaltem z dodatkami w wyraźnie niższych temperaturach. Zjawisko to zostanie zweryfikowane w kolejnym etapie prac.

6. Badania stabilności Marshalla

Do analizy wyników badań stabilności Marshalla wykorzystano wyniki uzyskane w trakcie wykonywania pierwszych próbnych zarobów mieszanek, które wykonano z różnymi zawartościami asfaltów. Osiągnięte stabilności próbek wykonanych z asfaltem zwykłym 50/70 i odpowiednimi dodatkami zamieszczono w tablicy 6.1 oraz na rysunku 6.1. Stabilności próbek wykonanych z asfaltem modyfikowanym 45/80-55 znajdują się tablicy 6.2 oraz na rysunku 6.2

Tablica 6.1 Stabilność próbek Marshalla wykonanych z asfaltem zwykłym 50/70

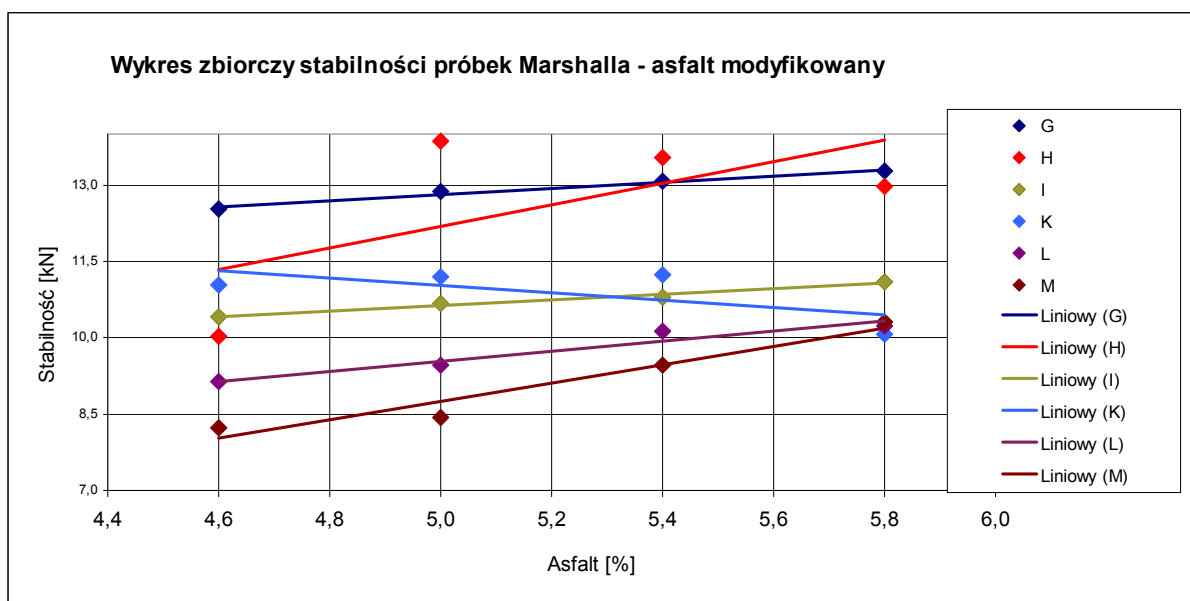
Rodzaj asfaltu	Stabilność przy zawartości asfaltu [kN]:			
	4,60	5,00	5,40	5,80
A	11,0	11,6	9,9	9,1
B	9,0	8,8	10,5	9,8
C	11,8	11,1	9,5	10,1
D	8,2	8,1	8,0	7,7
E	7,9	7,8	8,1	9,3
F	7,9	8,4	9,1	9,0



Rysunek 6.1 Wykres stabilności próbek Marshalla wykonanych z asfaltem zwykłym 50/70

Tablica 6.2 Stabilność próbek Marshalla wykonanych z asfaltem modyfikowanym 45/80-55

Rodzaj asfaltu	Stabilność przy zawartości asfaltu [kN]:			
	4,60	5,00	5,40	5,80
G	12,5	12,9	13,1	13,3
H	10,0	13,9	13,5	13,0
I	10,4	10,7	10,8	11,1
K	11,0	11,2	11,2	10,1
L	9,1	9,5	10,1	10,2
M	8,2	8,4	9,5	10,3



Rysunek 6.2 Wykres stabilności próbek Marshalla wykonanych z asfaltem modyfikowanym 45/80-55

Wnioski z przeprowadzonych badań:

- wpływ środków obniżających temperaturę produkcji m.m.a. jest niejednoznaczny,
- uzyskane wartości są mniejsze od wymagań określonych w normie PN-S 96025:2000, co nie dyskwalifikuje badanych mieszanek. Dalsze badania zweryfikują wpływ dodatków na parametry m.m.a.

7. Badania odporności mieszanek na działanie wody i mrozu

Niszczące oddziaływanie wody i mrozu powoduje przedwczesne zniszczenia nawierzchni asfaltowych. Konsekwencją tych zniszczeń jest odmywanie asfaltu z powierzchni kruszywa, które powoduje odrywanie się ziaren kruszywa, łuszczenie i rozluźnienie się mieszanki mineralno-asfaltowej. Niekiedy zniszczenia te przyjmują postać nieregularnych spękań lub deformacji, prowadząc do całkowitej degradacji nawierzchni.

Badanie odporności betonów asfaltowych na działanie wody oraz łącznie wody i mrozu polegało na określeniu i ocenie wybranych cech mechanicznych po przejściu odpowiednich cykli kondycjonowania, symulujących warunki atmosferyczne panujące na drodze. Dla betonów asfaltowych wykonanych z zastosowaniem ocenianych asfaltów zbadano moduły sztywności sprężystej i wytrzymałość na pośrednie rozciąganie przed i po poddaniu niszczącemu oddziaływaniu wody i mrozu.

Badania odporności betonów asfaltowych na działanie wody i mrozu przeprowadzono opierając się na procedurach normy europejskiej PN-EN 12697-12.

Miarą odporności betonu asfaltowego na działanie wody i mrozu są zmiany wytrzymałości na pośrednie rozciąganie oraz modułu sztywności sprężystej po przejściu cykli kondycjonowania w laboratorium w stosunku do wytrzymałości na pośrednie rozciąganie i modułu sztywności bez kondycjonowania.

Kondycjonowanie, symulujące warunki atmosferyczne, panujące na drodze w laboratorium, polegało na nasycaniu próbek betonu asfaltowego wodą, poddawaniu go cyklowi zamrażania i odmrażania oraz poddaniu przedłużonemu oddziaływaniu wody w podwyższonej temperaturze.

7.1. Metodyka badania

7.1.1. Przygotowanie próbek

7.1.1.1. Zagęszczanie

Mieszankę wytwarzano w mechanicznej mieszarce, w temperaturze 160°C (mieszanki A i G bez dodatków środków obniżających temperaturę) oraz 135°C w przypadku mieszanek z dodatkiem środków obniżających temperaturę. Następnie formowano próbki jak do badania Marshalla (D=101 mm, H=63,5 mm), używając normowego ubijaka Marshalla. Ilość uderzeń wynosiła 35 uderzeń na stronę.

Uformowane próbki dzielono na dwie grupy, tak by każda miała zbliżoną średnią gęstość pozorną i zbliżoną zawartość wolnych przestrzeni. Każdą grupę próbek (minimum 3 próbki) poddawano odpowiednim metodom przygotowania - kondycjonowania próbek.

7.1.1.2. Kondycjonowanie

Bez kondycjonowania

Próbki kontrolne, bez kondycjonowania były przechowywane w laboratorium w warunkach pokojowych, do czasu pierwszego badania modułu sztywności sprężystej

i wytrzymałości na pośrednie rozciąganie, które odbywało się po zakończeniu kondycjonowania wszystkich próbek z danej serii, po około 180 godz. Wg PN-EN12697-12.

Kondycjonowanie (odporność na działanie wody i mrozu)

Procedura kondycjonowania składa się z trzech etapów: próżniowego nasycania próbek wodą, poddania próbek przedłużonemu oddziaływaniu wody w podwyższonej temperaturze i 1 cykl zamrożenia-odmrożenia. Próbki zalane wodą o temperaturze 20°C przechowywano w komorze próżniowej o ciśnieniu bezwzględnym 67 hPa, przez 30 min. Następnie próbki obmierzone (wysokość i średnicę) i sprawdzono czy próbki nie zwiększyły swojej objętości. Jeżeli zwiększyły swoją objętość o więcej niż 2%, takie próbki odrzucano. Kolejnym etapem było umieszczenie próbek w łaźni wodnej o temperaturze 40°C i przechowywanie przez 68 godz. Następnie wybrane próbki poddano 1-krotnemu zamrożeniu (-18°C przez 16 godz.) i odmrożeniu w łaźni wodnej w temperaturze 40°C w ciągu 68 godzin.

7.1.2. Opis badania

Bezpośrednio przed każdym badaniem wszystkie próbki przechowywano w kąpieli wodnej przez 2 godziny w temperaturze 20°C.

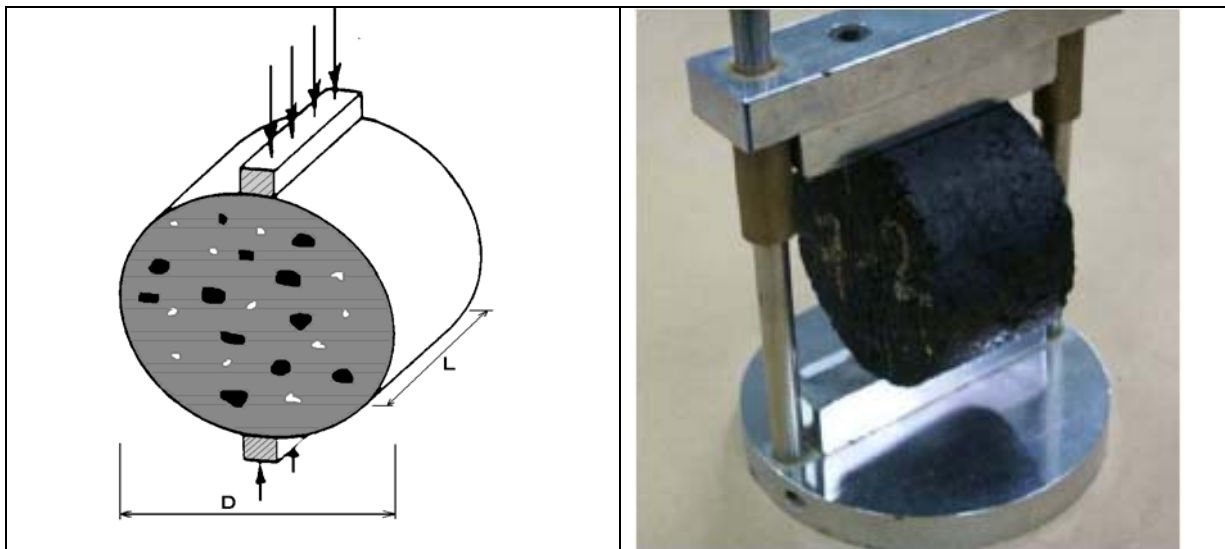
Każdą próbkę badano dwukrotnie:

- wykonując nieniszczące badanie modułu sztywności sprężystej przy pośrednim rozciąganiu,
- wykonując niszczące badanie wytrzymałości na pośrednie rozciąganie.

W sumie przebadano dla jednego typu mieszanki 9 próbek (3 próbki niekondycjonowane + 3 próbki kondycjonowane bez cykli zamrażania + 3 próbki kondycjonowane z cyklem zamrażania).

7.1.2.1. Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie

Badanie wytrzymałości na pośrednie rozciąganie przeprowadzono w prasie do badania Marshalla, o przesuwie tłoka 50 mm/min. Obciążenie było przekazywane przez przekładki o szerokości 12 mm i krzywiznie o promieniu 50,5 mm. Próbkę obciążano aż do zniszczenia. Podczas badania monitorowano siłę obciążającą. Schemat badania przedstawiono na rys. 7.1.



Rysunek 7.1. Schemat i widok badania wytrzymałości przy rozciąganiu pośrednim.

Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie wyznaczano na podstawie zależności:

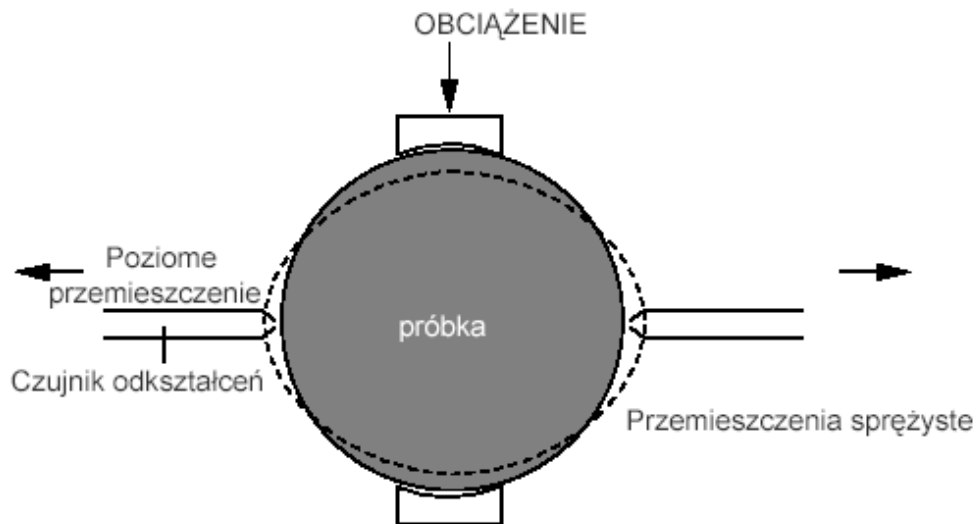
$$R = \frac{2 * P}{\pi * D * h}$$

gdzie:

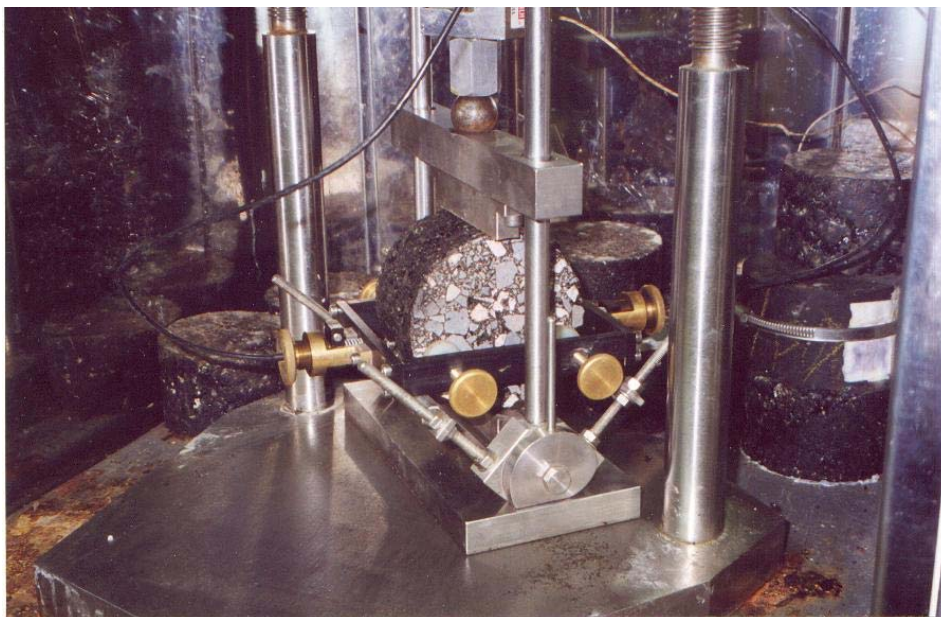
- R – wytrzymałość na pośrednie rozciąganie [MPa],
- P – siła niszcząca [MN],
- D – średnica próbki [m],
- h – wysokość próbki [m].

7.1.2.2. Moduł sztywności sprężystej przy pośrednim rozciąganiu

Badanie modułu sztywności sprężystej przy pośrednim rozciąganiu przeprowadzono w urządzeniu Nottingham Asphalt Tester (NAT) zgodnie instrukcją urządzenia i z BSI DD 231:1993. Wykonywano test przy kontrolowanym naprężeniu. Podczas pięciokrotnego dynamicznego obciążenia próbek $\phi 100$ i $h=60-65$ mm mierzone są przemieszczenia wzdłuż osi poziomej próbki, na poziomie płaszczyzny poziomej przechodzącej przez oś próbki prostopadłą do kierunku obciążenia. Obciążenie polegało na wywarciu stałego naprężenia poziomego 250 kPa w czasie 0,124 s i przy długości cyklu 3s. Temperatura badania wynosiła 15°C. Schemat badanej próbki przedstawiono na rys. 7.2.



Rysunek 7.2. Schemat badania modułu sztywności sprężystej przy pośrednim rozciąganiu.



Rysunek 7.3. Widok próbki podczas badania modułu sztywności sprężystej

Moduł sztywności sprężystej S wyznaczano z następującej zależności:

$$S = \frac{P * (\nu + 0,2732)}{\delta_H * h}$$

gdzie:

S – moduł sztywności sprężystej [MPa],

P – siła pionowa [MN],

ν – współczynnik Poissona,

δ_H – przemieszczenie poziome [m],

h – wysokość próbki [m].

Moduł sztywności sprężystej jest określany automatycznie przez urządzenie badawcze. Dla każdej próbki badanie wykonywano dwukrotnie, drugie badanie wykonano po obrocie próbki o 90°. Miarodajny modułu dla każdej próbki był średnią z dwóch pomiarów.

7.1.3. Ocena i kryteria odporności mieszanek na działanie wody i mrozu

Odporność na działanie wody i mrozu charakteryzowana jest przez utrzymany moduł sztywności oraz wytrzymałość na pośrednie rozciąganie, określane przez:

- wskaźnik modułu sztywności sprężystej (ang. *Resilient Moduluj Ratio* - RMR),
- wskaźnik wytrzymałości na pośrednie rozciąganie (ang. *Indirect Tensile Strength Ratio* - ITSr).

Wskaźnik modułu sztywności sprężystej (RMR) zdefiniowano jako:

$$RMR = \frac{S_2}{S_1} * 100\%$$

gdzie:

S_2 – średni moduł sztywności sprężystej próbek kondycjonowanych,
 S_1 – średni moduł sztywności sprężystej próbek bez kondycjonowania.

Wskaźnik wytrzymałości na pośrednie rozciąganie (ITSr) zdefiniowano jako:

$$ITSr = \frac{R_2}{R_1} * 100\%$$

gdzie:

R_2 – średnia wytrzymałość próbek kondycjonowanych,
 R_1 – średnia wytrzymałość próbek bez kondycjonowania.

Im mieszanka uzyskuje mniejsze wartości RMR i ITSr, tym jest bardziej wrażliwa na działanie wody i mrozu.

Według normy europejskiej kryterium podawane jest tylko dla wskaźnika wytrzymałości ITSr. Wymagania Techniczne „WT-2. Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych 2010” podają, że dla betonu asfaltowego do warstwy ścieralnej wskaźnik ITSr nie powinien być mniejszy niż 90%.

7.2. Wyniki badań

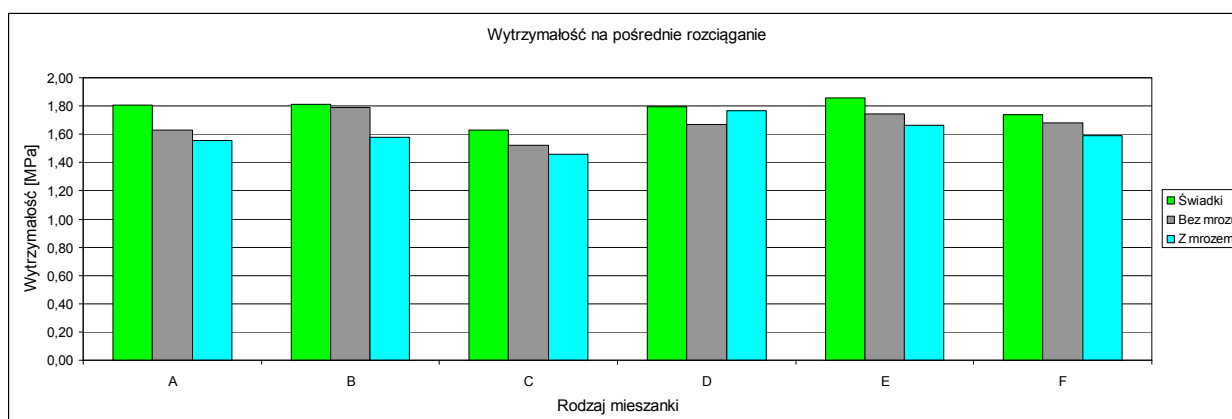
Wyniki badań wytrzymałości na pośrednie rozciąganie, modułów sztywności sprężystej i ich wskaźników przedstawiono w tablicach 7.1, 7.2, 7.3 i 7.4. oraz na rysunkach od 7.4 do 7.11.

Tablica 7.1 Zestawienie wyników badań wytrzymałości na pośrednie rozciąganie oraz wskaźników ITSR betonów asfaltowych z asfaltem zwykłym w badaniu odporności na działanie wody i mrozu wykonanym wg metody PN-EN 12697-12

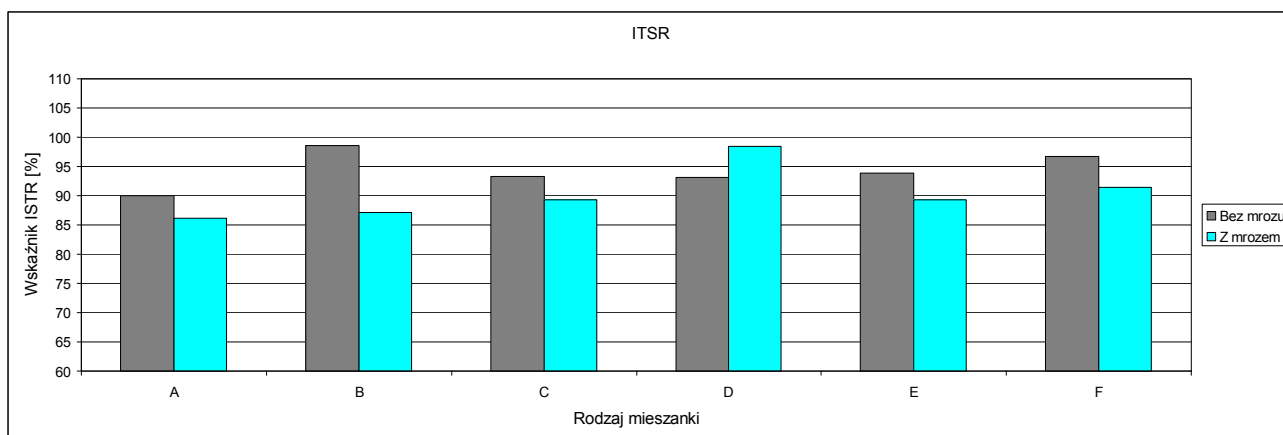
Rodzaj mieszanki	Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie świadków [MPa]	Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie próbek bez cyklu zamrażania [MPa]	Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie próbek z cyklem zamrażania [MPa]	Wskaźnik wytrzymałości ITSR dla próbek bez cyklu zamrażania	Wskaźnik wytrzymałości ITSR dla próbek z cyklem zamrażania
A	1,81	1,63	1,56	90,0%	86,1%
B	1,81	1,79	1,58	98,6%	87,1%
C	1,63	1,52	1,46	93,3%	89,2%
D	1,79	1,67	1,76	93,1%	98,4%
E	1,86	1,75	1,66	93,9%	89,3%
F	1,74	1,68	1,59	96,8%	91,5%

Tablica 7.2 Zestawienie wyników badań modułów sztywności sprężystej oraz wskaźników RMR betonów asfaltowych z asfaltem zwykłym w badaniu odporności na działanie wody i mrozu wykonanym wg metody PN-EN 12697-12

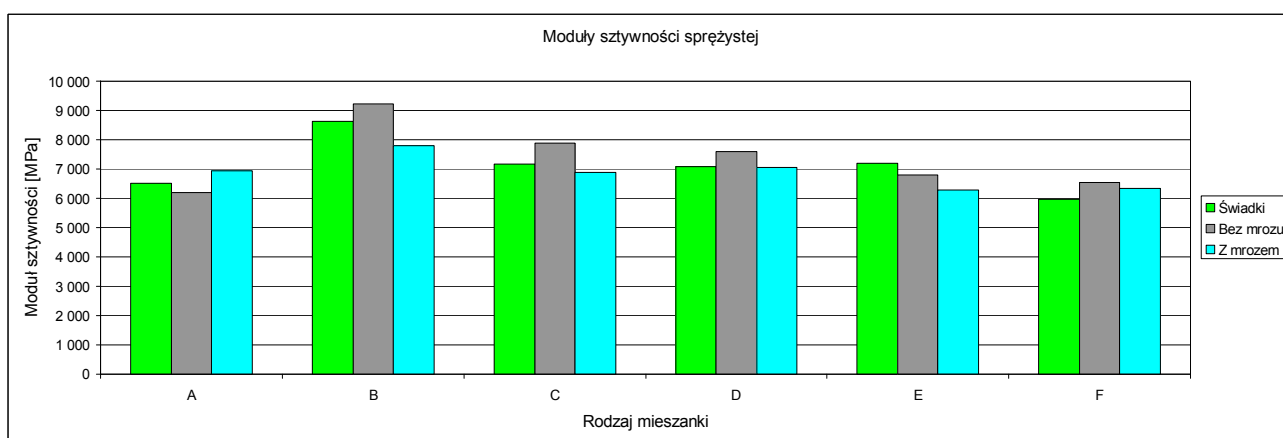
Rodzaj mieszanki	Moduł sztywności sprężystej świadków [MPa]	Moduł sztywności sprężystej próbek bez cyklu zamrażania [MPa]	Moduł sztywności sprężystej próbek z cyklem zamrażania [MPa]	Wskaźnik wytrzymałości RSR dla próbek bez cyklu zamrażania	Wskaźnik wytrzymałości RMR dla próbek z cyklem zamrażania
A	6500	6191	6952	95,2%	106,9%
B	8624	9225	7791	107,0%	90,3%
C	7172	7892	6896	110,0%	96,2%
D	7073	7587	7064	107,3%	99,9%
E	7210	6805	6279	94,4%	87,1%
F	5986	6537	6331	109,2%	105,8%



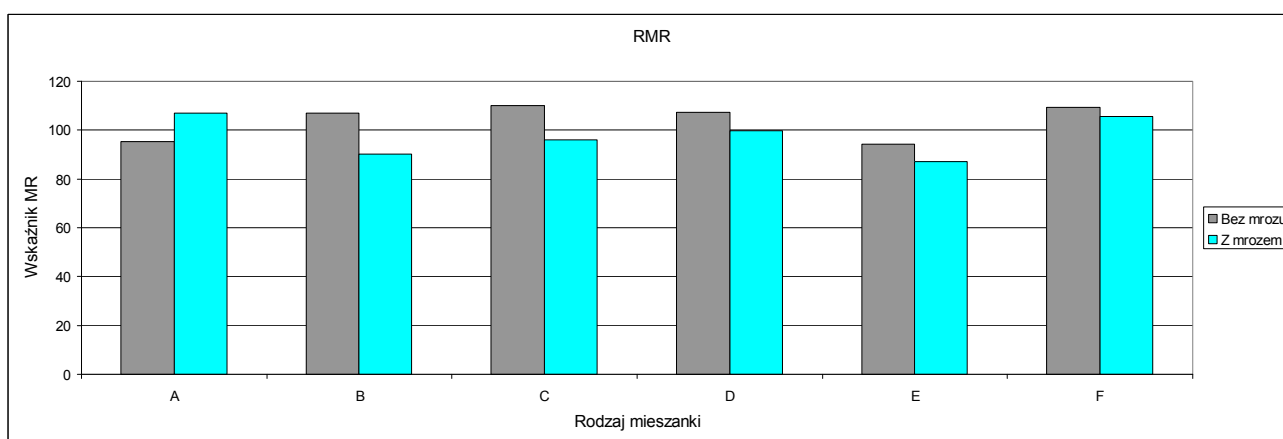
Rysunek 7.4 Wyniki badań wytrzymałości na pośrednie rozciąganie betonów asfaltowych z asfaltem zwykłym wg metody PN-EN 12697-12



Rysunek 7.5 Zestawienie wskaźników ITSR wytrzymałości na pośrednie rozciąganie betonów asfaltowych z asfaltem zwykłym wg metody PN-EN 12697-12



Rysunek 7.6 Wyniki badań modułów sztywności sprężystej betonów asfaltowych z asfaltem zwykłym wg metody PN-EN 12697-12



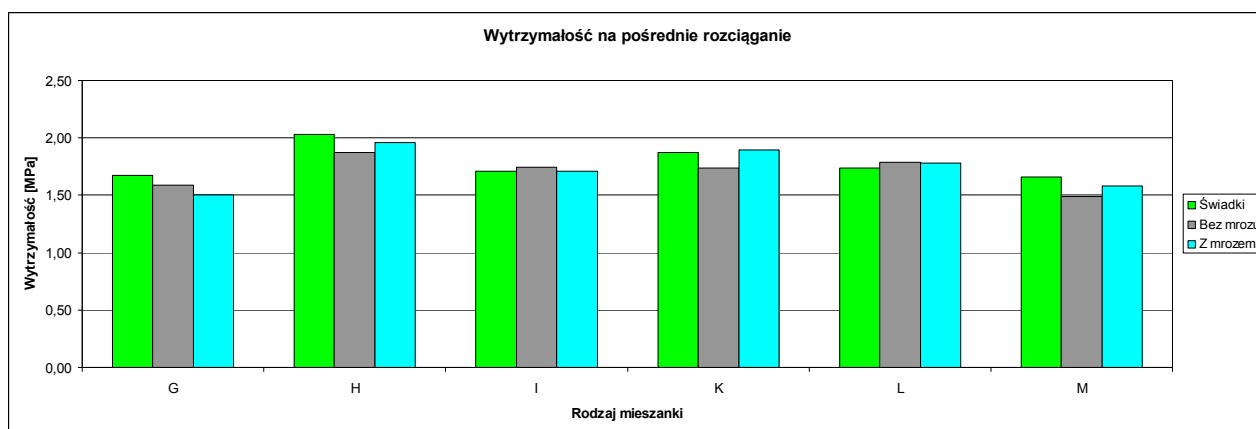
Rysunek 7.7 Zestawienie wskaźników RMR wytrzymałości na pośrednie rozciąganie betonów asfaltowych z asfaltem zwykłym wg metody PN-EN 12697-12

Tablica 7.3 Zestawienie wyników badań wytrzymałości na pośrednie rozciąganie oraz wskaźników ITSR betonów asfaltowych z asfaltem modyfikowanym w badaniu odporności na działanie wody i mrozu wykonanym wg metody PN-EN 12697-12

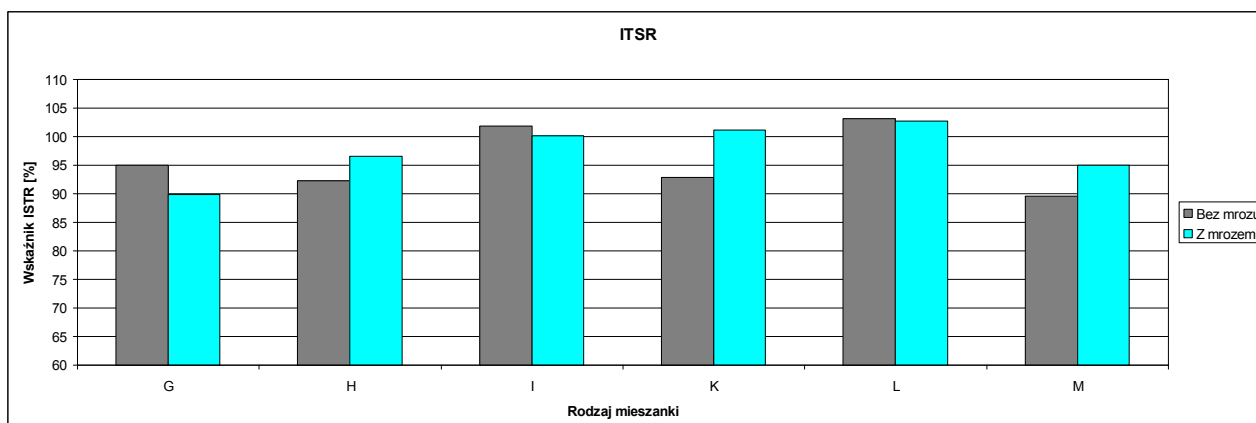
Rodzaj mieszanki	Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie świadków [MPa]	Wytrzymałość na pośrednie rozciąganie próbek bez cyklu zamrażania [MPa]	Wytrzymałość na pośrednie próbek z cyklem zamrażania [MPa]	Wskaźnik wytrzymałości ITSR dla próbek bez cyklu zamrażania	Wskaźnik wytrzymałości ITSR dla próbek z cyklem zamrażania
G	1,67	1,59	1,50	95,0%	89,9%
H	2,03	1,87	1,96	92,3%	96,5%
I	1,71	1,74	1,71	101,9%	100,1%
K	1,87	1,74	1,89	92,8%	101,1%
L	1,74	1,79	1,78	103,2%	102,7%
M	1,66	1,49	1,58	89,6%	95,0%

Tablica 7.4 Zestawienie wyników badań modułów sztywności sprężystej oraz wskaźników RMR betonów asfaltowych z asfaltem modyfikowanym w badaniu odporności na działanie wody i mrozu wykonanym wg metody PN-EN 12697-12

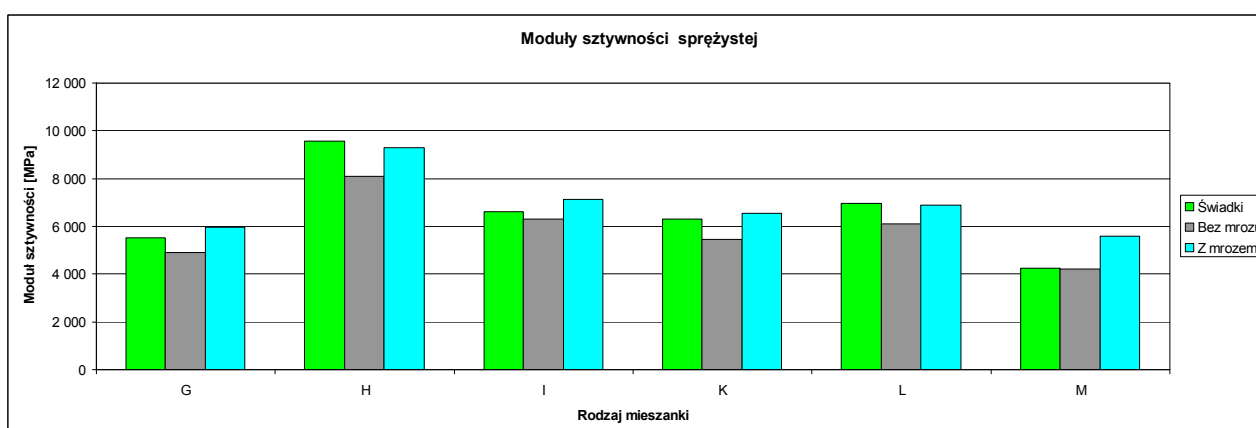
Rodzaj mieszanki	Moduł sztywności sprężystej świadków [MPa]	Moduł sztywności sprężystej próbek bez cyklu zamrażania [MPa]	Moduł sztywności sprężystej próbek z cyklem zamrażania [MPa]	Wskaźnik wytrzymałości RSR dla próbek bez cyklu zamrażania	Wskaźnik wytrzymałości RMR dla próbek z cyklem zamrażania
G	5506	4914	5979	89,2%	108,6%
H	9578	8107	9276	84,6%	96,9%
I	6622	6299	7125	95,1%	107,6%
K	6321	5440	6559	86,1%	103,8%
L	6973	6115	6899	87,7%	98,9%
M	4266	4217	5587	98,9%	131,0%



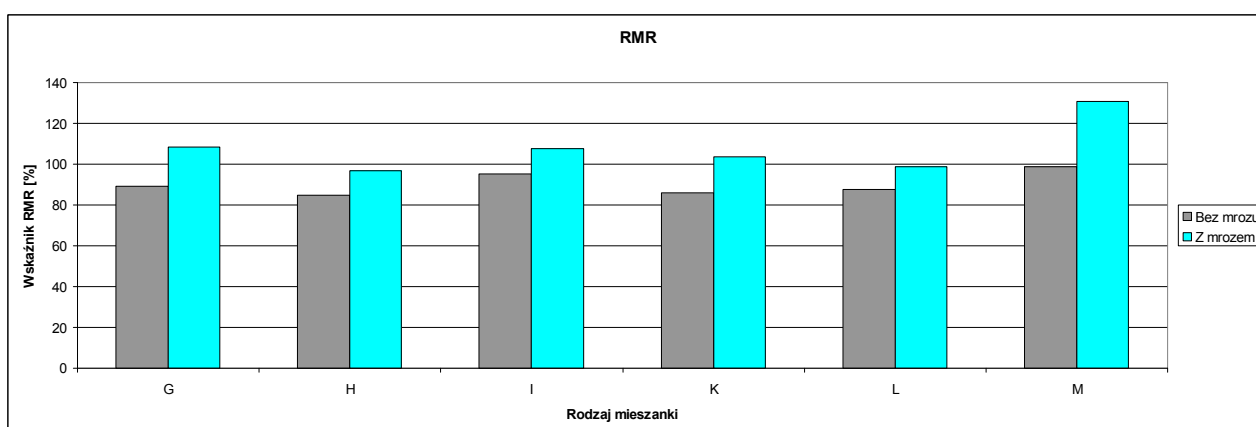
Rysunek 7.8 Wyniki badań wytrzymałości na pośrednie rozciąganie betonów asfaltowych z asfaltem modyfikowanym wg metody PN-EN 12697-12



Rysunek 7.9 Zestawienie wskaźników ITSR wytrzymałości na pośrednie rozciąganie betonów asfaltowych z asfaltem zwykłym wg metody PN-EN 12697-12



Rysunek 7.10 Wyniki badań modułów sztywności sprężystej betonów asfaltowych z asfaltem modyfikowanym wg metody PN-EN 12697-12



7.3. Analiza wyników

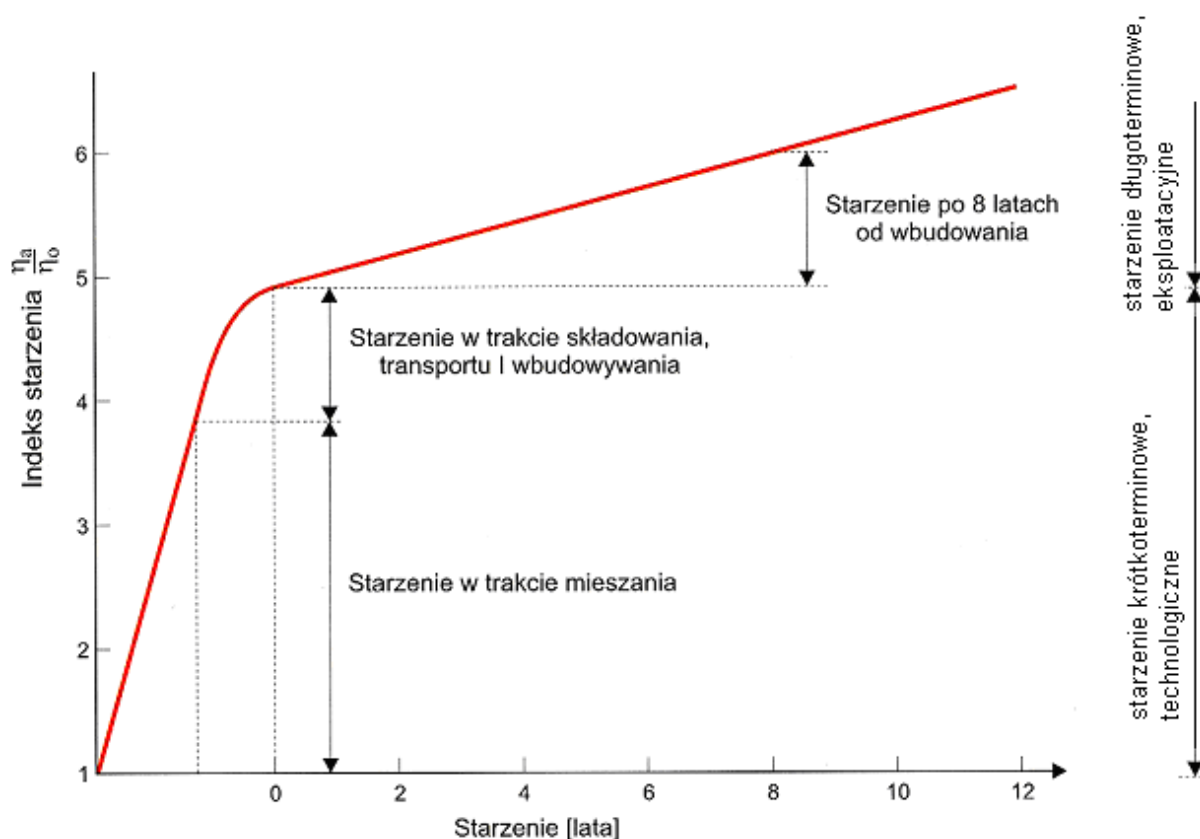
- środki obniżające temperaturę produkcji m.m.a nie wpływają negatywnie na zachowanie mieszanek pod kątem odporności na działanie wody i mrozu,
- dodatek środków obniżających temperaturę w mniejszym stopniu wpływa na wytrzymałość na pośrednie rozciąganie, w większym na wartość modułów sztywności sprężystej. W przypadku obu parametrów zmiany się relatywnie niewielkie.

8. Badania wpływu starzenia na parametry betonu asfaltowego

Starzenie mieszanek mineralno-asfaltowych jest procesem dość skomplikowanym. Wiąże się ono ze zmianą właściwości asfaltu w wyniku działania podwyższonej temperatury, promieni ultrafioletowych oraz czasu. W wyniku zmian właściwości asfaltu zmieniają się również cechy mieszanek mineralno asfaltowych. Mieszanki mineralno-asfaltowe stają się sztywniejsze i bardziej kruche, przez co stają się bardziej podatne na spękania, mniej odporne na działanie niskich temperatur oraz podatne na uszkodzenia powierzchniowe.

Proces starzenia mieszanek mineralno-asfaltowych można podzielić na dwa etapy. Etap pierwszy to starzenie podczas wytwarzania, transportu i wbudowywania mieszanek mineralno-asfaltowych. Nosi on nazwę starzenia krótkoterminowego. Etap drugi to starzenie mieszanek mineralno-asfaltowych podczas eksploatacji nawierzchni. Nosi on nazwę starzenia długoterminowego.

Proces starzenia mieszanek mineralno-asfaltowych ilustruje rysunek 8.1.



Rysunek 8.1. Proces starzenie asfaltu w mieszance mineralno-asfaltowej w czasie wytwarzania, wbudowywania i eksploatacji.

8.1. Metodyka badania

Do badań przygotowano próbki betonu asfaltowego według trzech schematów:

Próbki niestarzone (N.S) – próbki niepoddane procesowi starzenia. Wyniki uzyskane dla tych próbek były poziomem odniesienia w stosunku do jakiego porównywano wyniki uzyskane dla próbek poddanych procesowi starzenia. W dalszej części pracy próbki takie oznaczono jako próbki bez starzenia (NS).

Próbki po starzeniu krótkoterminowym w suszarce (S.K.S) – próbki z betonu asfaltowego poddanego procesowi starzenia krótkoterminowego według procedury podanej w dalszej części tego punktu. Próbki te w pracy oznaczono jako próbki po starzeniu krótkoterminowym (S.K.S). Starzenie krótkoterminowe mieszanki mineralno-asfaltowej symuluje zmiany, jakie zachodzą podczas produkcji, transportu, wbudowania i zagęszczania mieszanki mineralno-asfaltowej

Próbki po starzeniu długoterminowym w suszarce (S.D.S) – próbki wykonane z betonu asfaltowego poddanego procesowi starzenia krótkoterminowego a po nim dodatkowo procesowi starzenia długoterminowego. Przebieg tych procesów opisano w dalszej części tego punktu. W pracy próbki te oznaczono jako po starzeniu długoterminowym (S.D.S). Starzenie długoterminowe mieszanki mineralno-asfaltowej symuluje zmiany, jakie zachodzą podczas eksploatacji nawierzchni.

Starzenie krótkoterminowe i długoterminowe przeprowadzono według procedury, opracowanej w Katedrze Inżynierii Drogowej Politechniki Gdańskiej przez Ar-Rabtiego i Judyckiego, na podstawie badań prowadzonych w ramach amerykańskiego programu badawczego SHRP (Strategic Highway Research Program).

Starzenie krótkoterminowe (S.K.S) przeprowadzono wg następującej procedury:

1. Mieszanek wytwarzano w mechanicznej mieszarce, w temperaturze odpowiadającej temperaturze otoczenia przez dany rodzaj asfaltu. W przypadku mieszanek z asfaltami bez dodatków środków obniżających temperaturę (mieszanki A i G) było to 160 °C, natomiast w przypadku mieszanek ze środkami obniżającymi temperaturę było to 135 °C.
2. Luźną (niezagęszczoną) mieszanek mineralno-asfaltową rozkładano w formach tak, aby grubość warstwy wynosiła około 1,5 cm.
3. Formy z mieszanek przetrzymywano w suszarce z wymuszonym nawiewem, w temperaturze +135°C, przez 4 godziny.
4. Po zakończeniu tego okresu mieszanek A i G (bez dodatku środków obniżających temperaturę) podgrzewano do temperatury zagęszczenia i formowano próbki do dalszych badań (próbki walcowe w ubijaku Marshalla). Dla mieszanek ze środkami obniżającymi temperaturę przystępowano od razu do formowania i zagęszczania próbek.

Starzenie długoterminowe (S.D.S) przeprowadzono wg następującej procedury:

1. Próbki przygotowano z betonu asfaltowego poddanego procesowi starzenia krótkoterminowego.
2. Próbki zabezpieczono przed rozpadnięciem się lub deformacjami pod własnym ciężarem drobnodziarnistą siatką miedzianą poprzez owinięcie próbek po bokach.
3. Umieszczono próbki w suszarce z wymuszonym nawiewem.
4. Próbki przetrzymywano przez 5 dni w temperaturze +85°C.
5. Po tym czasie próbki poddano badaniom laboratoryjnym.

Z uwagi na charakter działania zeolitu (mieszanki o literach F i M) – spieniania asfaltu poprzez wodę zawartą w porach minerału jakim jest zeolit – i ryzyko utraty stanu spienienia w trakcie 4 godzinowego starzenia krótkoterminowego próbki mieszanek wykonanych z użyciem zeolitu poddawano tylko starzeniu długoterminowemu.

Widok próbek przygotowanych do starzenia długoterminowego przedstawiono na rysunku 8.2.



Rysunek 8.2. Widok próbek walcowych przygotowanych do starzenia długoterminowego

8.1.2. Ocena odporności na starzenie

Wpływ starzenia w pośrednim rozciąganiu określono poprzez wyznaczenie wskaźnika modułu sztywności. Wskaźnik ten miał posłużyć do porównania zmian zachodzących w badanych betonach asfaltowych podczas procesów starzenia. Wskaźnik ten zdefiniowano następująco:

Wskaźnik modułu sztywności sprężystej:

$$W_s = \frac{S_s}{S_{NS}}$$

gdzie:

W_s - wskaźnik modułu sztywności,

S_s - moduł sztywności sprężystej po starzeniu krótkoterminowym lub długoterminowym,

S_{NS} - moduł sztywności sprężystej próbek nie starzonych.

Badania modułów sztywności sprężystej wykonywano dla 4 temperatur: -10, 0, +10 oraz +20 °C. Dla każdej kombinacji 3 zmiennych – temperatury , rodzaju starzenia oraz danego składu – badano 3 próbki.

8.2. Wyniki badań

Tablica 8.1 Zestawienia średnich wartości modułów sztywności sprężystej w różnych temperaturach dla próbek z betonu asfaltowego z asfaltem zwykłym

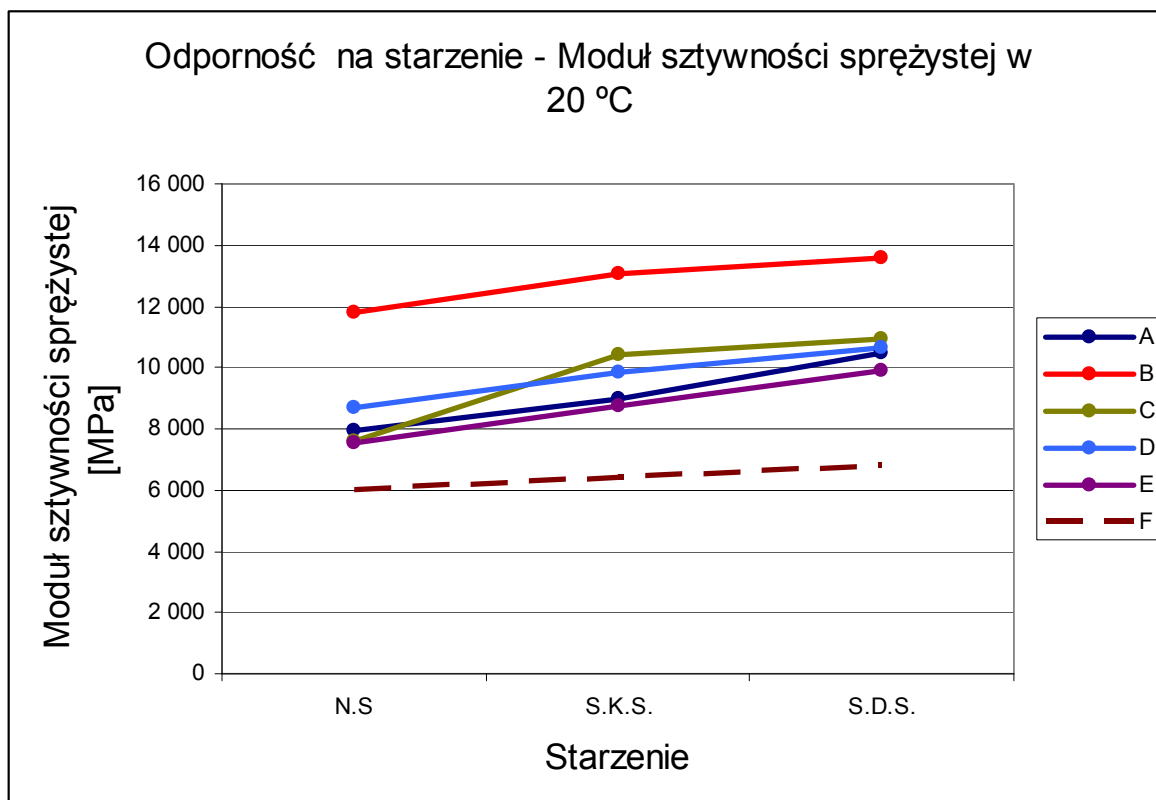
		Moduł sztywności sprężystej dla danego rodzaju asfaltu					
Rodzaj próbek	Temperatura badania modułu sztywności [°C]	A	B	C	D	E	F
Grupa kontrolna N.S.	20	7 939	11 803	7 584	8 703	7 565	5 995
	10	14 168	17 473	13 717	13 621	11 574	11 281
	0	19 901	21 081	20 771	21 572	22 491	23 095
	-10	24 540	27 400	22 618	25 121	22 336	22 771
Starzenie krótkoterm. S.K.S.	20	8 992	13 088	10 428	9 824	8 768	-
	10	13 365	16 909	14 252	14 226	15 355	-
	0	20 094	24 843	24 521	23 382	20 247	-
	-10	25 525	25 388	24 560	26 347	25 855	-
Starzenie długoterm. S.D.S.	20	10 502	13 562	10 916	10 633	9 899	6 812
	10	15 467	18 161	17 271	16 496	15 549	13 269
	0	16 783	20 129	19 979	18 366	17 548	16 287
	-10	22 438	23 117	15 041	14 342	21 918	22 183

N.S – nie starzone S.K.S - starzenie krótkoterminowe w suszarce S.D.S- starzenie długoterminowe w suszarce

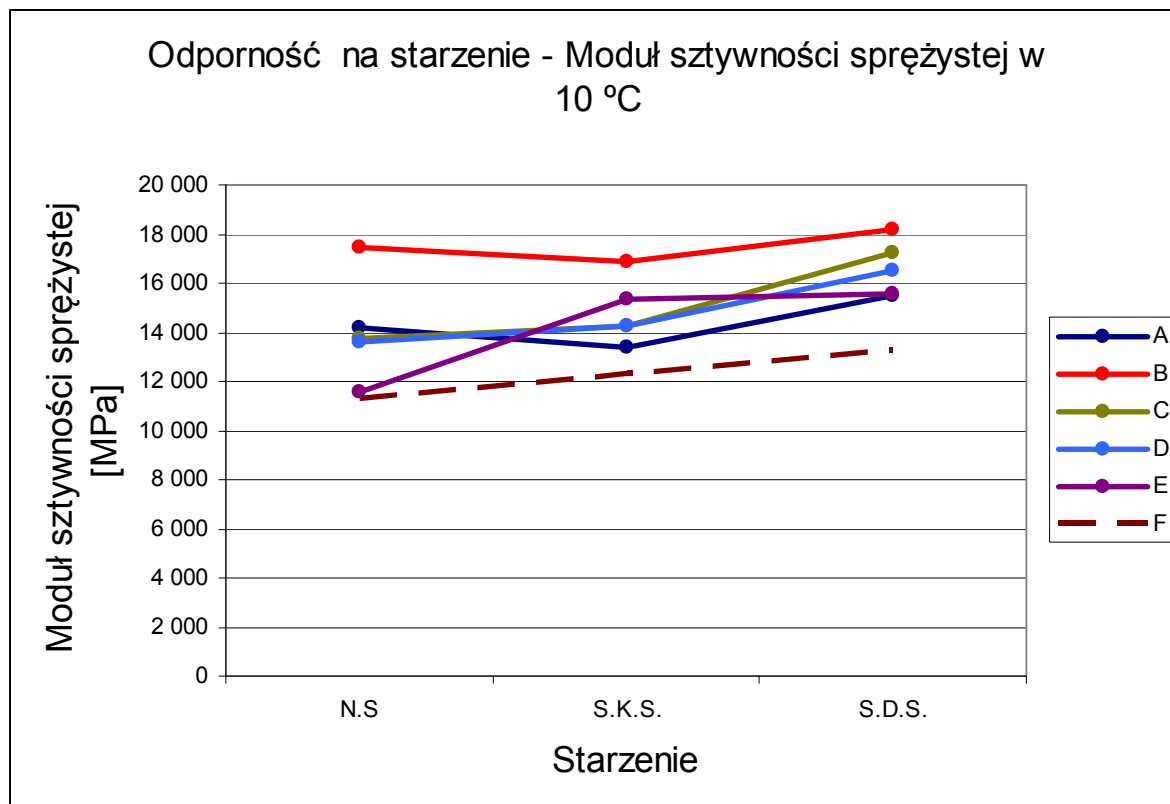
Tablica 8.2 Zestawienia średnich wartości wskaźników wartości modułów sztywności sprężystej w różnych temperaturach dla próbek z betonu asfaltowego z asfaltem zwykłym

		Wskaźnik WS dla danego rodzaju asfaltu					
Rodzaj wskaźnika WS	Temperatura badania modułu sztywności [°C]	A	B	C	D	E	F
Starzenie krótkoterminowe S.K.S./N.S.	20	1,13	1,11	1,37	1,13	1,16	-
	10	0,94	0,97	1,04	1,04	1,33	-
	0	1,01	1,18	1,18	1,08	0,90	-
	-10	1,04	0,93	1,09	1,05	1,16	-
Starzenie całkowite S.D.S./N.S.	20	1,32	1,15	1,44	1,22	1,31	1,14
	10	1,09	1,04	1,26	1,21	1,34	1,18
	0	0,84	0,95	0,96	0,85	0,78	0,71
	-10	0,91	0,84	0,67	0,57	0,98	0,97
Starzenie długoterminowe S.D.S./S.K.S.	20	1,17	1,04	1,05	1,08	1,13	-
	10	1,16	1,07	1,21	1,16	1,01	-
	0	0,84	0,81	0,81	0,79	0,87	-
	-10	0,88	0,91	0,61	0,54	0,85	-

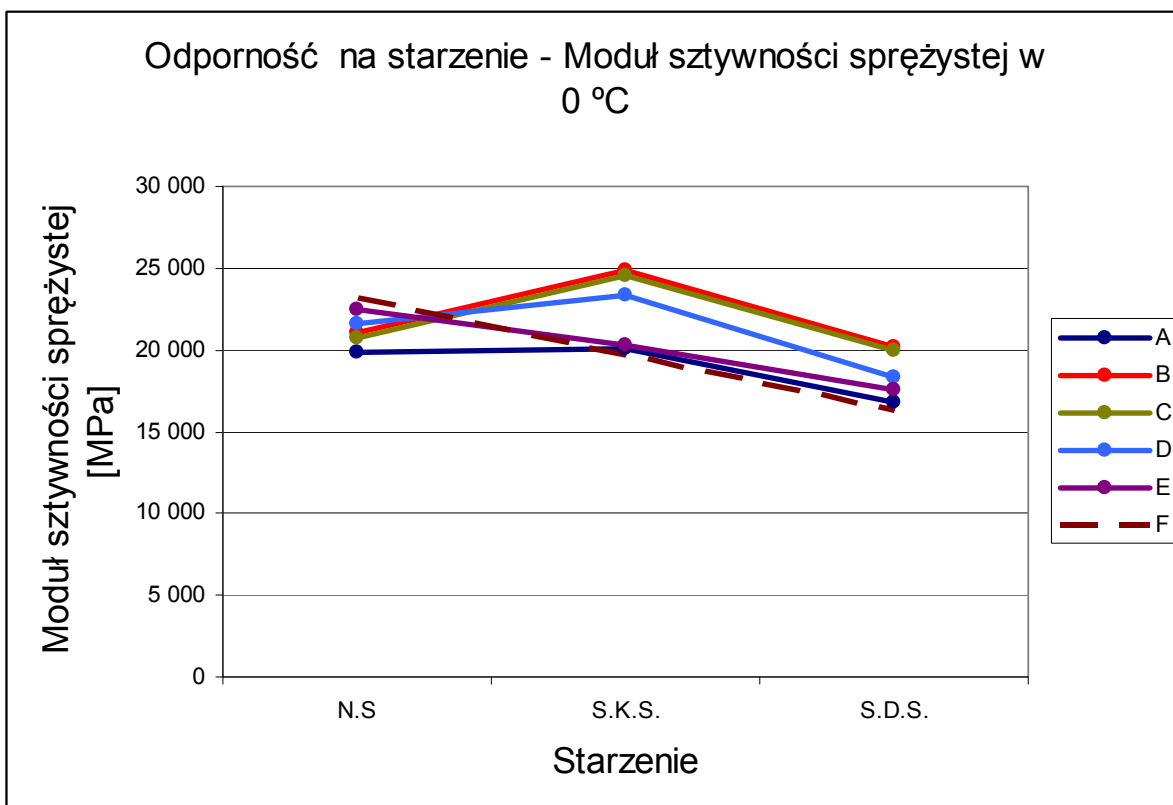
N.S. – nie starzone S.K.S. – starzenie krótkoterminowe w suszarce S.D.S. – starzenie długoterminowe w suszarce



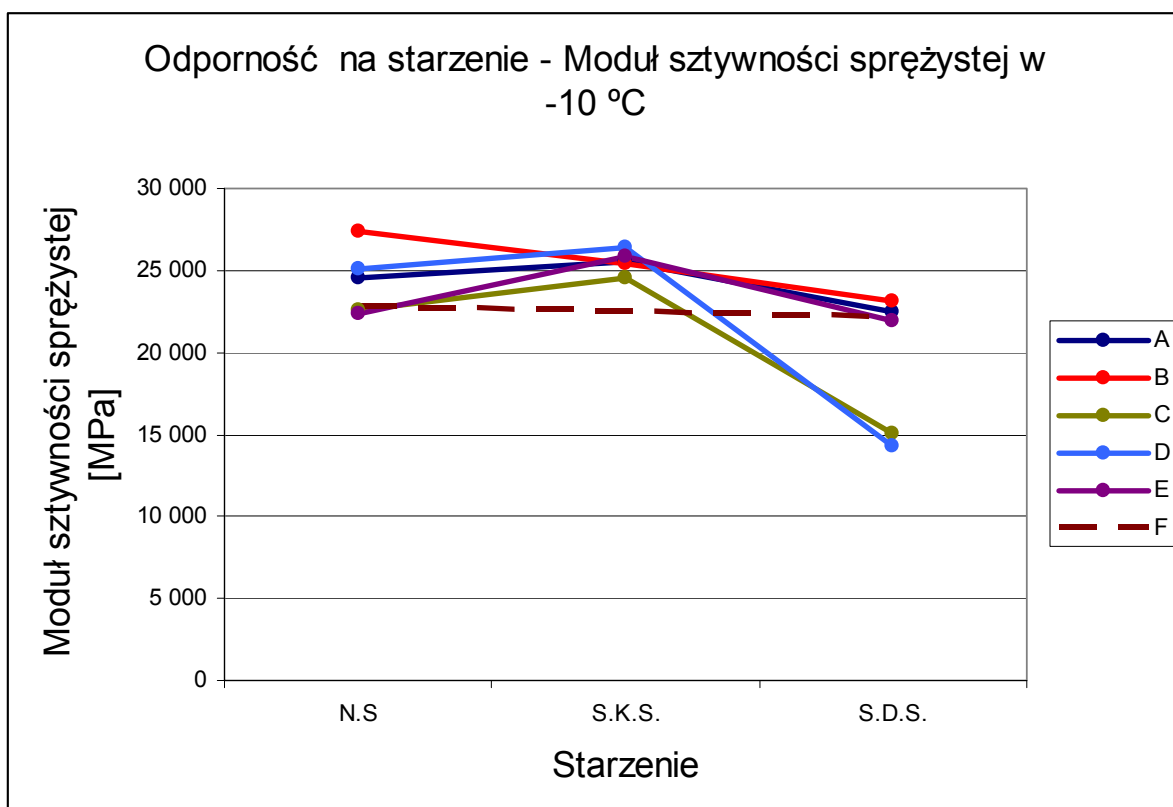
Rysunek 8.2. Zestawienie średnich wartości modułów sztywności próbek z betonu asfaltowego z asfaltem zwykłym w temperaturze 20 °C



Rysunek 8.3. Zestawienie średnich wartości modułów sztywności próbek z betonu asfaltowego z asfaltem zwykłym w temperaturze 10 °C



Rysunek 8.4. Zestawienie średnich wartości modułów sztywności próbek z betonu asfaltowego z asfaltem zwykłym w temperaturze 0 °C



Rysunek 8.5. Zestawienie średnich wartości modułów sztywności próbek z betonu asfaltowego z asfaltem zwykłym w temperaturze -10 °C

Tablica 8.3 Zestawienia średnich wartości modułów sztywności sprężystej w różnych temperaturach dla próbek z betonu asfaltowego z asfaltem modyfikowanym

		Moduł sztywności sprężystej dla danego rodzaju asfaltu					
Rodzaj próbek	Temperatura badania modułu sztywności [°C]	G	H	I	K	L	M
N.S	20	4 162	6 890	5 494	4 407	4 436	*
	10	8 224	11 068	10 114	8 657	7 965	*
	0	13 372	15 659	15 231	14 295	14 351	*
	-10	17 731	19 170	19 361	18 100	18 397	*
S.K.S.	20	4 704	6 573	5 064	5 003	4 286	-
	10	8 244	11 208	9 211	8 879	8 472	-
	0	13 989	15 964	14 617	14 212	13 956	-
	-10	17 253	19 433	19 384	18 569	18 213	-
S.D.S.	20	5 977	8 963	6 326	5 836	4 967	*
	10	9 198	9 321	9 326	9 055	7 707	*
	0	14 616	16 255	14 699	13 767	13 158	*
	-10	18 090	18 440	17 557	17 289	16 754	*

N.S – nie starzone S.K.S - starzenie krótkoterminowe w suszarce S.D.S- starzenie długoterminowe w suszarce

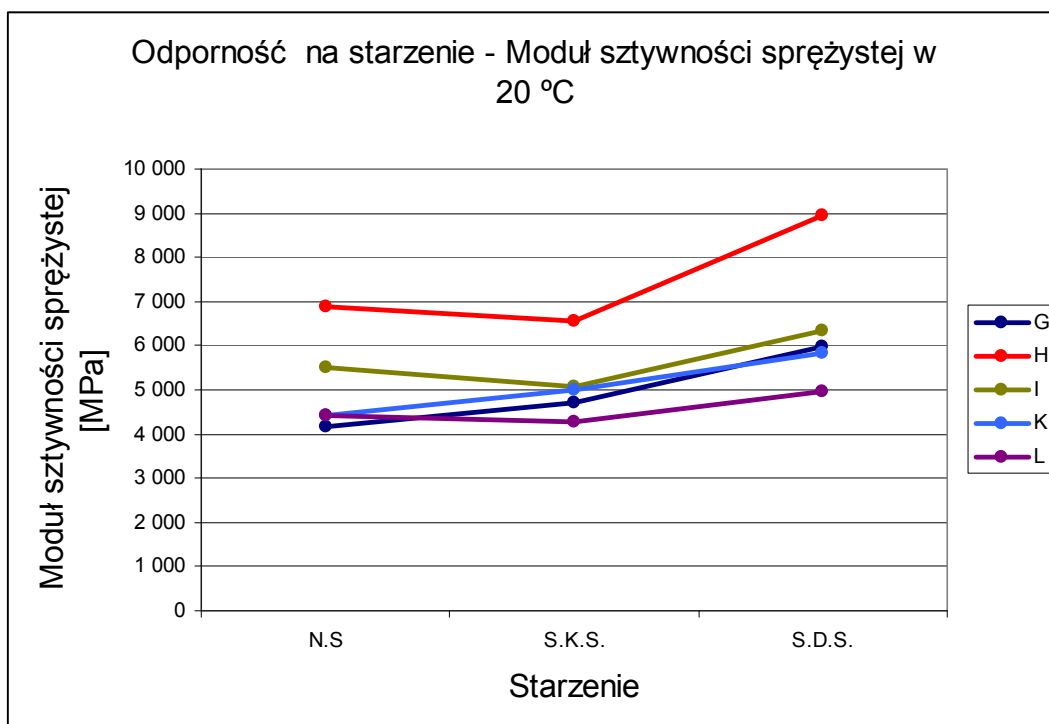
* - wyniki w trakcie weryfikacji

Tablica 8.4 Zestawienia średnich wartości wskaźników wartości modułów sztywności sprężystej w różnych temperaturach dla próbek z betonu asfaltowego z asfaltem modyfikowanym

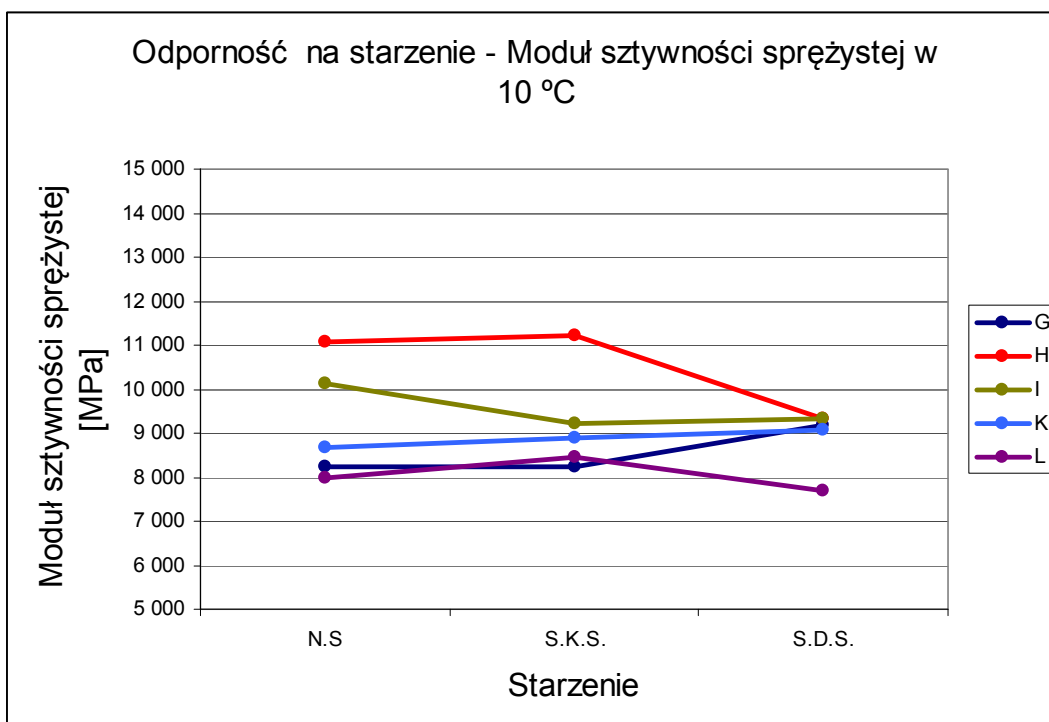
		Wskaźnik WS dla danego rodzaju asfaltu					
Rodzaj wskaźnika WS	Temperatura badania modułu sztywności [°C]	G	H	I	K	L	M
Starzenie krótkoterminowe S.K.S./N.S.	20	1,13	0,95	0,92	1,14	0,97	*
	10	1,00	1,01	0,91	1,03	1,06	*
	0	1,05	1,02	0,96	0,99	0,97	*
	-10	0,97	1,01	1,00	1,03	0,99	*
Starzenie całkowite S.D.S./N.S.	20	1,44	1,30	1,15	1,32	1,12	-
	10	1,12	0,84	0,92	1,05	0,97	-
	0	1,09	1,04	0,97	0,96	0,92	-
	-10	1,02	0,96	0,91	0,96	0,91	-
Starzenie długoterminowe S.D.S./S.K.S.	20	1,27	1,36	1,25	1,17	1,16	*
	10	1,12	0,83	1,01	1,02	0,91	*
	0	1,04	1,02	1,01	0,97	0,94	*
	-10	1,05	0,95	0,91	0,93	0,92	*

N.S – nie starzone S.K.S - starzenie krótkoterminowe w suszarce S.D.S- starzenie długoterminowe w suszarce

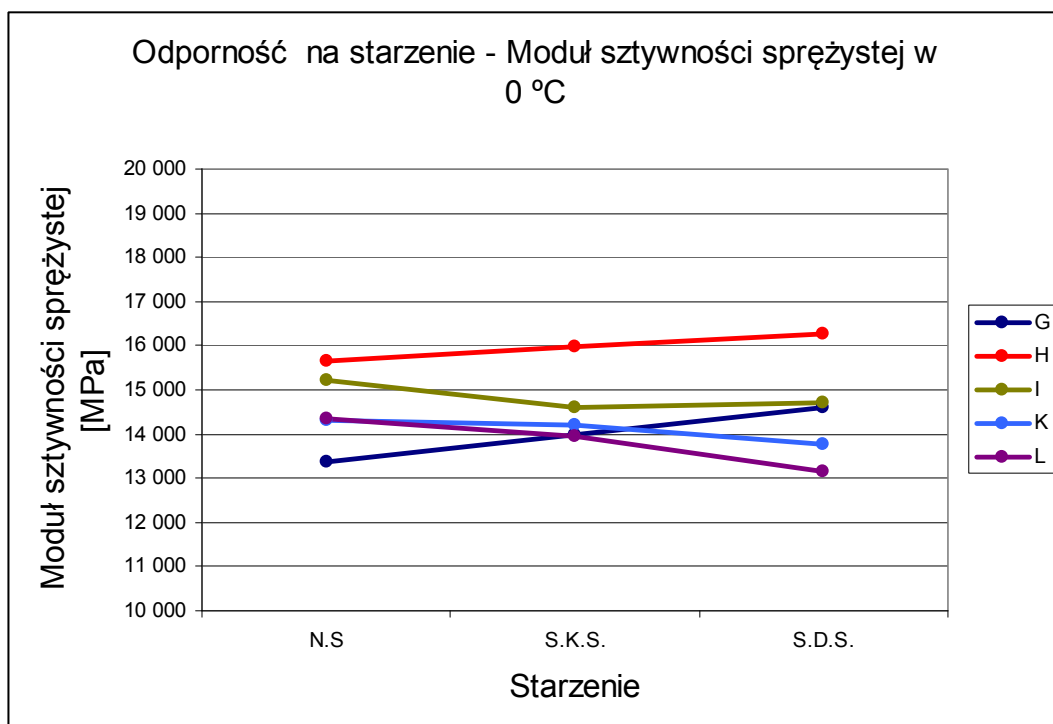
* - wyniki w trakcie weryfikacji



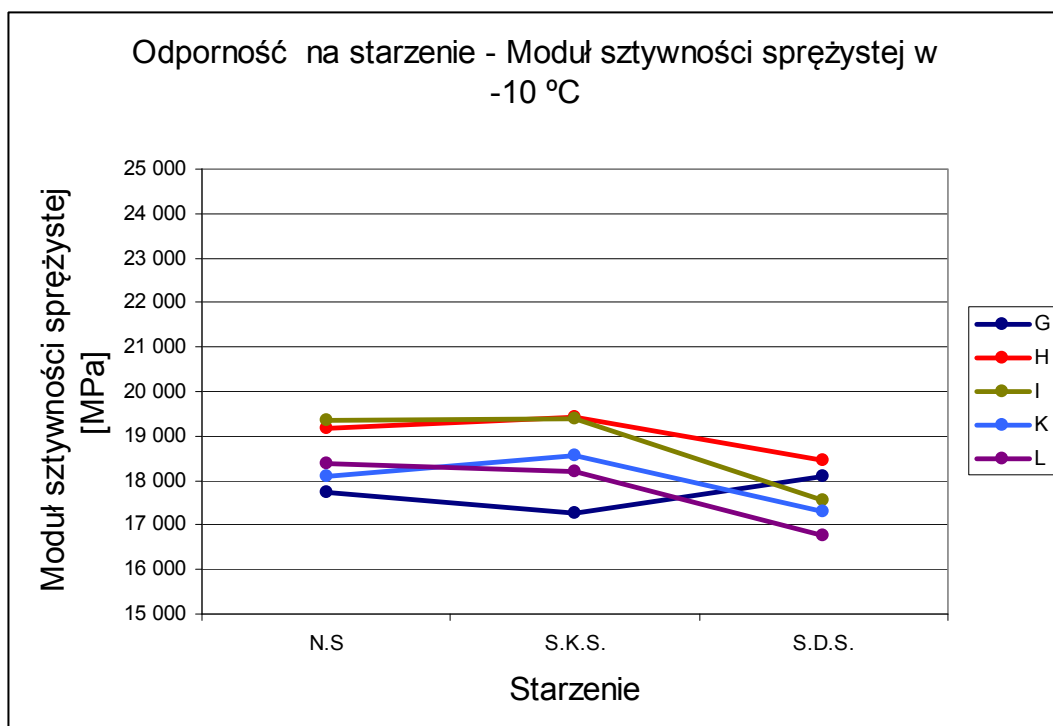
Rysunek 8.6. Zestawienie średnich wartości modułów sztywności próbek z betonu asfaltowego z asfaltem modyfikowanym w temperaturze 20 °C



Rysunek 8.7. Zestawienie średnich wartości modułów sztywności próbek z betonu asfaltowego z asfaltem modyfikowanym w temperaturze 10 °C



Rysunek 8.8. Zestawienie średnich wartości modułów sztywności próbek z betonu asfaltowego z asfaltem modyfikowanym w temperaturze 0 °C



Rysunek 8.9. Zestawienie średnich wartości modułów sztywności próbek z betonu asfaltowego z asfaltem modyfikowanym w temperaturze -10 °C

8.3. Analiza wyników

- nie zaobserwowano znaczącego wpływu starzenia na zmiany parametrów betonów asfaltowych z poszczególnymi środkami.
- największy wpływ starzenia na wartości modułów sztywności sprężystej zaobserwowano w wyższych temperaturach: 20 i 10°C. Przy temperaturze 0 i -10 °C wpływ jest mniej wyraźny.
- we wszystkich temperaturach najbardziej sztywną mieszanką okazał się beton asfaltowy zawierający Sabit (mieszanka B i H). Najmniej sztywne okazały się mieszanki zawierające Zeolit.

9. Badania odporności na koleinowanie

Brak odporności mieszanek mineralno-asfaltowych na deformacje trwałe objawia się koleinami lepkoplastycznymi w nawierzchni. Mieszanki mineralno-asfaltowe odporne na deformacje trwałe muszą charakteryzować się odpowiednią sztywnością w podwyższonych temperaturach pracy nawierzchni.

9.1. Metodyka badania

Badanie odporności betonu asfaltowego na koleinowanie polegało na określeniu następujących cech w koleinomierzu kołowym:

a) brytyjskim wg normy BS598:

- głębokości koleiny po 1900 cyklach przejść koła w 60°C,

b) europejskim wg normy PN-EN 12697-22:

- głębokości koleiny po 10000 cyklach przejść koła w 60°C,
- proporcjonalnej głębokości koleiny w 60°C,
- prędkości przyrostu koleiny w 60°C,

9.1.1. Przygotowanie próbek

Mieszanek mineralno-asfaltową wytwarzano w mieszarce mechanicznej i nie poddawano starzeniu krótkoterminowemu.

Do badania koleinowania w koleinomierzu kołowym wg normy BS598 i wg normy PN-EN 12697-22 wykonano próbki o wymiarach 305x305x40 mm, które zagęszczano w formie stalowej zautomatyzowaną zagęszczarką walcową (rys. 9.1). W każdym badaniu koleinowania zbadano po 2 próbki dla każdego rodzaju betonu asfaltowego z danym dodatkiem (2 próbki wg normy BS598 i 2 próbki wg normy PN-EN 12697-22).



Rysunek 9.1 Zagęszczarka walcowa wykorzystana do wykonania próbek do koleinowania (na zdjęciu brak formy)

9.1.2. Opis badania

Koleinowanie w koleinomierzu brytyjskim wg BS598

Badanie koleinowania przeprowadzono w koleinomierzu *Wheel Tracker* produkcji angielskiej firmy Cooper Research Ltd. Badanie wykonano zgodnie z normą BS598 „Sampling and examination of bituminous mixtures for roads and other paved areas: Part 110, Methods of test for the determination of wheel tracking rate, 1996”. Badanie polegało na pomiarze głębokości koleiny, wywołanej przemieszczaniem się stalowego koła w gumowej osłonie o znormalizowanych wymiarach i obciążeniu, po tym samym śladzie. Warunki badania były następujące:

- | | |
|--|---------------|
| • Szerokość koła | 50 mm, |
| • Średnica zewnętrzna | 200 mm, |
| • Obciążenie kołem | 520 N, |
| • Częstotliwość | 21 cykli/min, |
| • Całkowita droga przejścia koła po próbce | 230 mm, |
| • Czas trwania badania | 45 min, |
| • Temperatura badania | 60°C. |



Rysunek 9.2 Widok próbki podczas badania koleinowania (w pracy badano próbki prostopadłościennie, inne niż fotografii)

Koleinowanie w koleinomierzu europejskim wg PN-EN 12697-22

Badanie koleinowania przeprowadzono w tym samym koleinomierzu produkcji angielskiej firmy Cooper Research Ltd. po dostosowaniu go do wymagań normy PN-EN 12697-22. Badanie wykonano zgodnie z normą PN-EN12697-22, metoda B, w powietrzu. Badanie polegało na pomiarze stopnia przyrostu koleiny oraz maksymalnej głębokości koleiny, wywołanej przemieszczaniem się stalowego koła w gumowej osłonie o znormalizowanych wymiarach i obciążeniu, po tym samym śladzie. Warunki badania były następujące:

- | | |
|--|---------------|
| • Szerokość koła | 50 mm, |
| • Średnica zewnętrzna | 200 mm, |
| • Obciążenie kołem | 700 N, |
| • Częstotliwość | 27 cykli/min, |
| • Całkowita droga przejścia koła po próbce | 230 mm, |
| • Czas trwania badania 10000 cykli | 370 minut, |
| • Temperatura badania | 60°C. |

9.1.3. Kryteria oceny

Koleinowanie wg normy BS598

Specyfikacje brytyjskie z 1998 „*Specification for Highway Works (MCHW1) and Notes for Guidance on the Specification for Highway – Clause 943*” podają, że dla ruchu ciężkiego i bardzo ciężkiego maksymalna głębokość koleiny badanej w temperaturze 60°C nie może być większa od 7,0 mm.

Koleinowanie wg normy PN-EN 12697-22, metoda B, w powietrzu

Wymagania Techniczne „WT-2. Nawierzchnie asfaltowe na drogach krajowych 2010” podają, że:

- dla betonu asfaltowego do warstwy ścieralnej dla ruchu ciężkiego KR3-KR4:
 - o prędkość przyrostu koleiny WTS_{AIR} nie powinna być większa niż 0,5 mm/1000 cykli,
 - o proporcjonalna głębokość koleiny PRD_{AIR} nie powinna być większa niż deklarowana przez producenta.
- dla betonu asfaltowego do warstwy ścieralnej dla ruchu ciężkiego KR5-KR6:
 - o prędkość przyrostu koleiny WTS_{AIR} nie powinna być większa niż 0,3 mm/1000 cykli,
 - o proporcjonalna głębokość koleiny PRD_{AIR} nie powinna być większa niż deklarowana przez producenta.

9.2. Wyniki badań

W tablicy 9.1 przedstawiono wyniki badania koleinowania (głębokość koleiny) według brytyjskiej normy BS598 dla mieszanki z asfaltem zwykłym. Graficznie przedstawiono je na rysunku 9.3.

W tablicy 9.2 przedstawiono wyniki badania koleinowania (głębokość koleiny) według brytyjskiej normy BS598 dla mieszanki z asfaltem modyfikowanym. Graficznie przedstawiono je na rysunku 9.4.

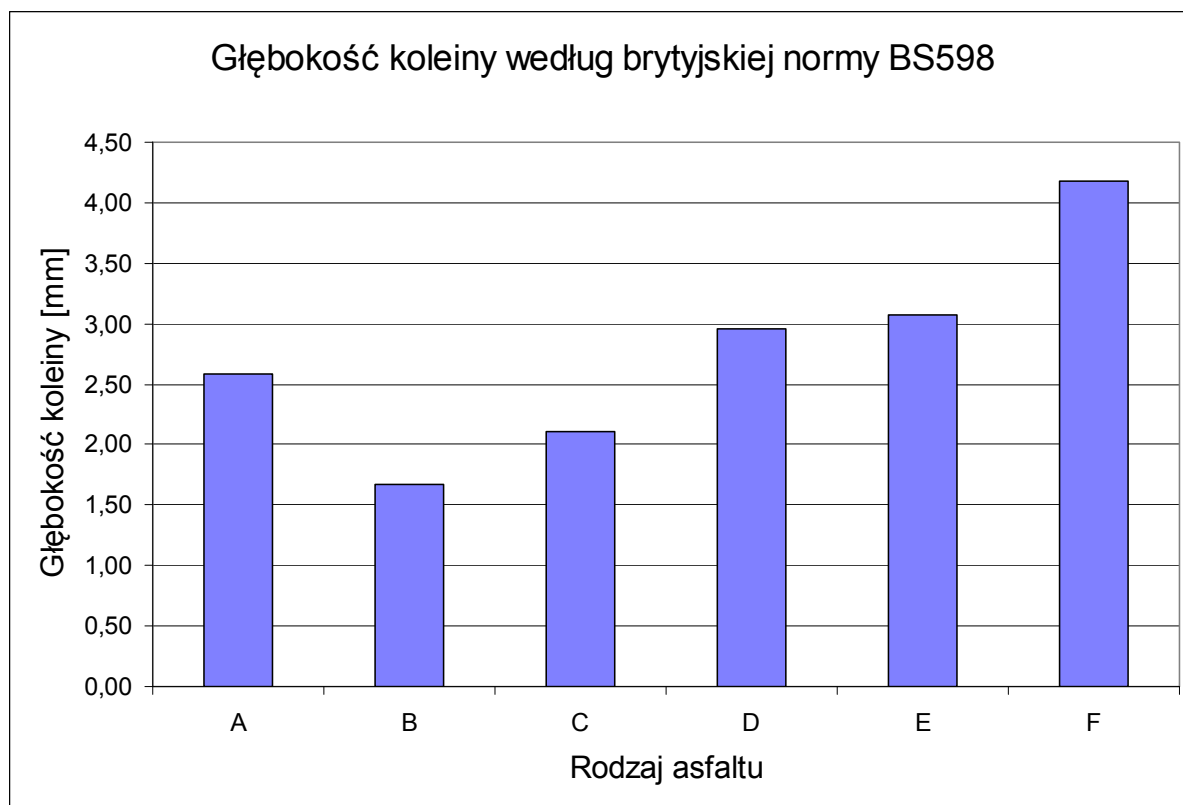
W tablicy 9.3 przedstawiono wyniki badania koleinowania (głębokość koleiny, procentowa głębokość koleiny, prędkość przyrostu koleiny) według normy PN-EN 12697-22 dla mieszanki z asfaltem zwykłym. Graficznie przedstawiono je na rysunkach 9.5 – 9.7

W tablicy 9.4 przedstawiono wyniki badania koleinowania (głębokość koleiny, procentowa głębokość koleiny, prędkość przyrostu koleiny) według normy PN-EN

12697-22 dla mieszanki z asfaltem modyfikowanym. Graficznie przedstawiono je na rysunkach 9.8 – 9.10.

Tablica 9.1 Wyniki badań z brytyjskiego koleinomierza kołowego w temperaturze 60°C, wg BS598 dla próbek mieszanki z asfaltem zwykłym

Asfalt	Nr próbki	Głębokość koleiny po 1900 przejściach [mm]	
		Wyniki	Średnia
A	A/1	2,56	2,59
	A/2	2,61	
B	B/1	1,65	1,68
	B/2	1,70	
C	C/1	2,21	2,12
	C/2	2,02	
D	D/1	2,75	2,96
	D/2	3,17	
E	E/1	2,79	3,07
	E/2	3,35	
F	F/1	4,11	4,18
	F/2	4,25	

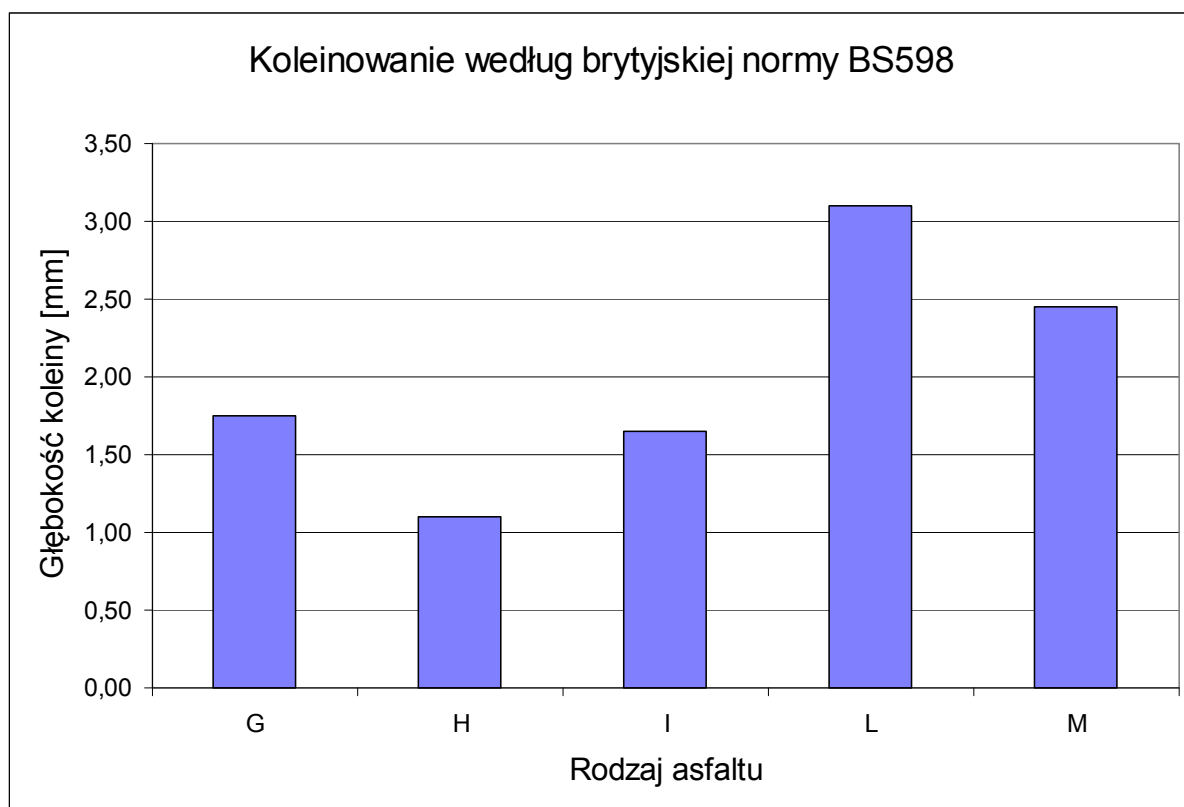


Rysunek 9.3 Wyniki badań głębokości koleiny z brytyjskiego koleinomierza kołowego dla próbek mieszanki z asfaltem zwykłym, temperatura 60°C, wg BS598

Tablica 9.2 Wyniki badań z brytyjskiego koleinomierza kołowego w temperaturze 60°C, wg BS598 dla próbek z mieszanki z asfaltem modyfikowanym

Asfalt	Nr próbki	Głębokość koleiny po 1900 przejściach [mm]	
		Wyniki	Średnia
G	G/1	1,80	1,75
	G/2	1,70	
H	H/1	1,10	1,10
	H/2	1,10	
I	I/1	1,40	1,65
	I/2	1,90	
K	K/1	*	
	K/2	*	
L	L/1	3,00	3,10
	L/2	3,20	
M	M/1	2,50	2,45
	M/2	2,40	

* wynik w trakcie weryfikacji

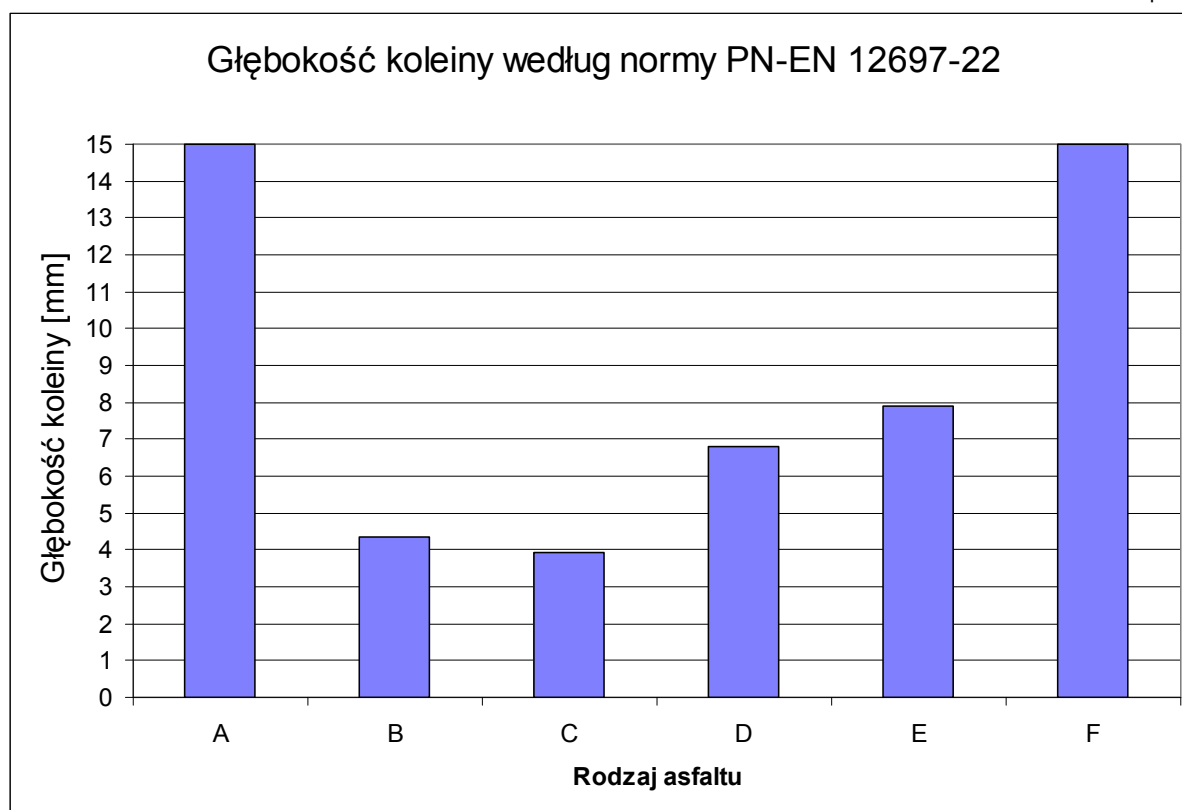


Rysunek 9.4 Wyniki badań głębokości koleiny z brytyjskiego koleinomierza kołowego dla próbek mieszanki z asfaltem modyfikowanym, temperatura 60°C, wg BS598

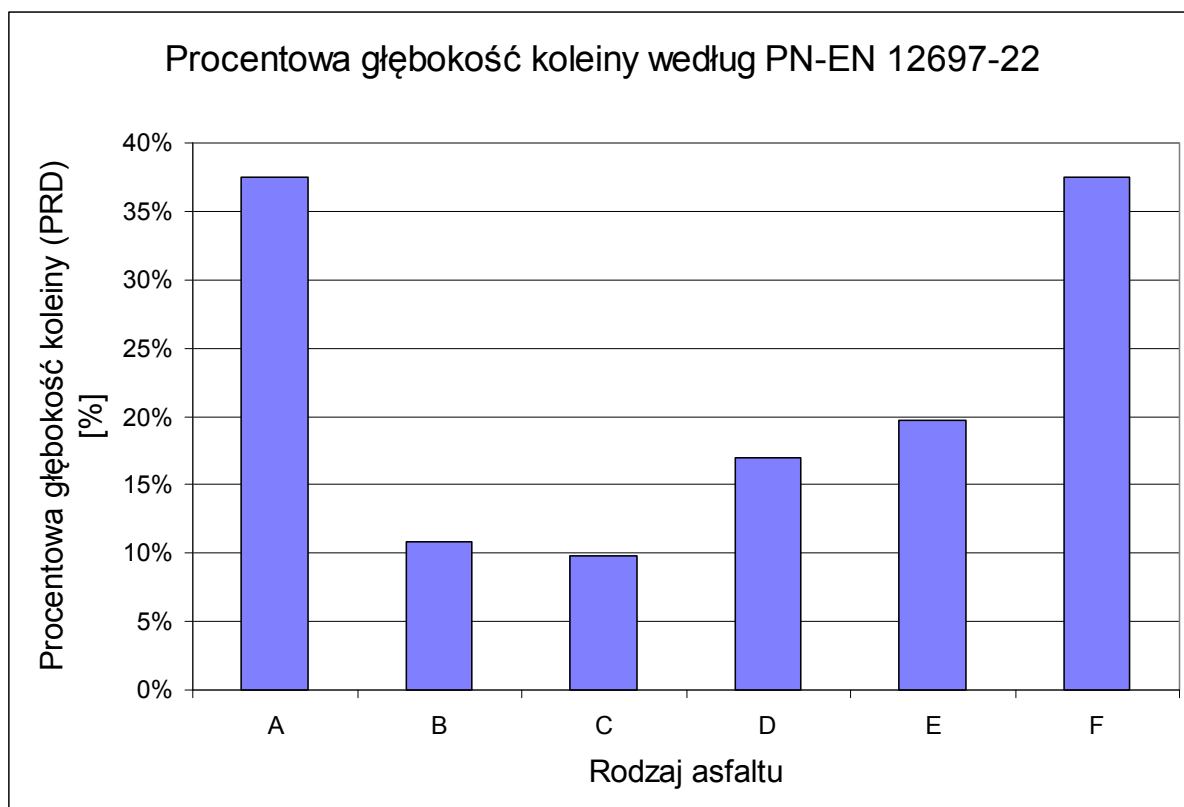
Tablica 9.3 Wyniki badań z europejskiego koleinomierza kołowego dla próbek mieszanki z asfaltem zwykłym, temperatura 60°C, wg PN-EN12697-22, metoda B

Asfalt	Nr próbki	Głębokość koleiny RD_{10000} [mm]		Prędkość przyrostu koleiny WTS_{AIR} [mm/1000/p]		Proporcjonalna głębokość koleiny PRD_{AIR} [%]	
		Wyniki	Średnia	Wyniki	Średnia	Wyniki	Średnia
A	A/3	15,01	15,01	0,88	0,83	38%	38%
	A/4	15,00		0,78		38%	
B	B/3	4,82	4,34	0,14	0,11	12%	11%
	B/4	3,85		0,08		10%	
C	C/3	4,29	3,92	0,13	0,10	11%	10%
	C/4	3,55		0,06		9%	
D	D/3	6,56	6,80	0,22	0,22	16%	17%
	D/4	7,04		*		18%	
E	E/3	5,70	7,91	0,19	0,28	14%	20%
	E/6	10,11		0,36		25%	
F	F/3	15,00	15,01	1,90	1,89	38%	38%
	F/4	15,01		1,88		38%	

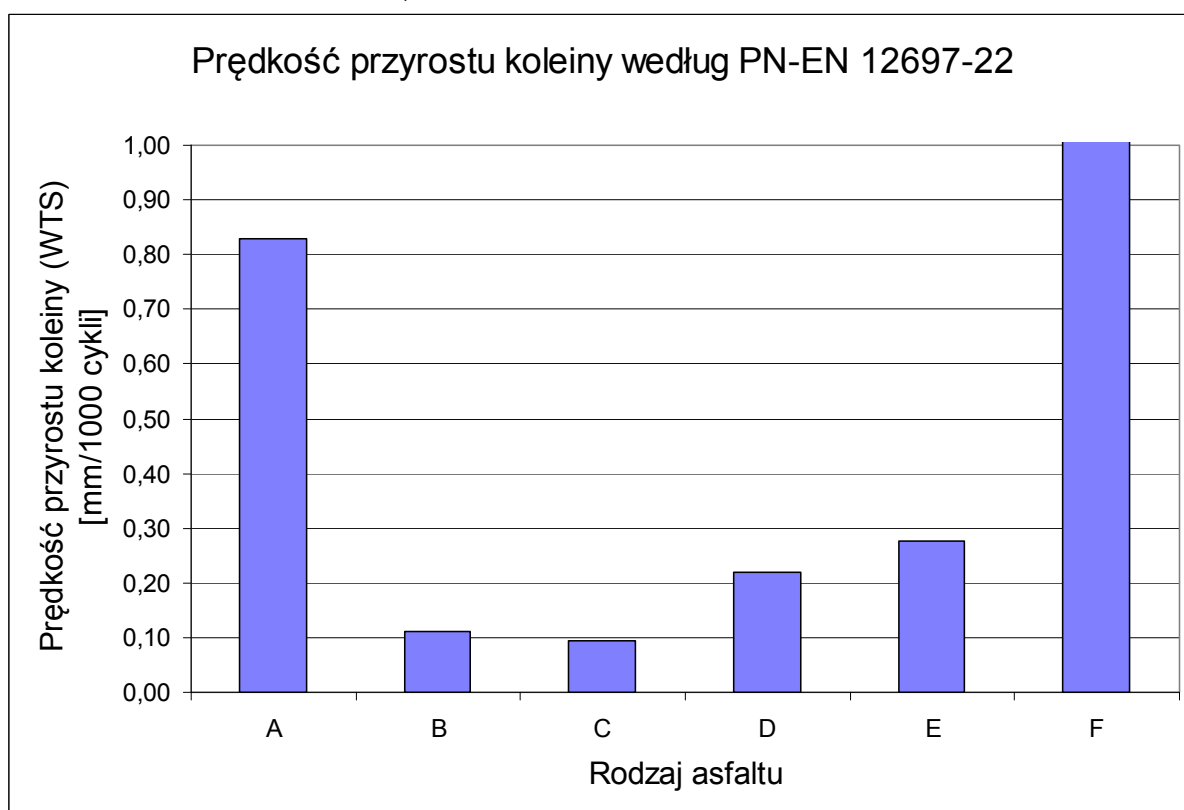
* awaria sprzętu



Rysunek 9.5 Wyniki badań głębokości koleiny z europejskiego koleinomierza kołowego dla próbek mieszanki z asfaltem zwykłym, temperatura 60°C, wg PN-EN12697-22, metoda B



Rysunek 9.6 Wyniki badań procentowej głębokości koleiny z europejskiego koleinomierza kołowego dla próbek mieszanki z asfaltem zwykłym, temperatura 60°C, wg PN-EN12697-22, metoda B

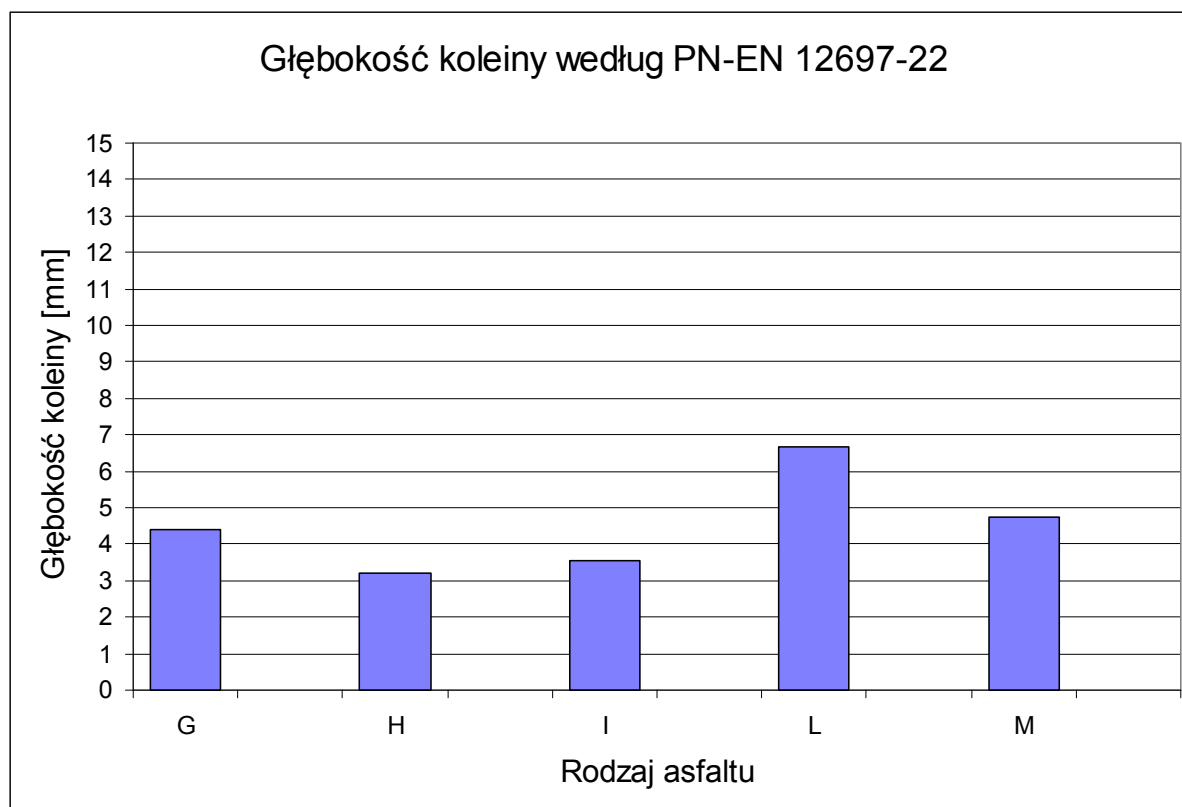


Rysunek 9.7 Wyniki badań prędkości przyrostu koleiny z europejskiego koleinomierza kołowego dla próbek mieszanki z asfaltem zwykłym, temperatura 60°C, wg PN-EN12697-22, metoda B

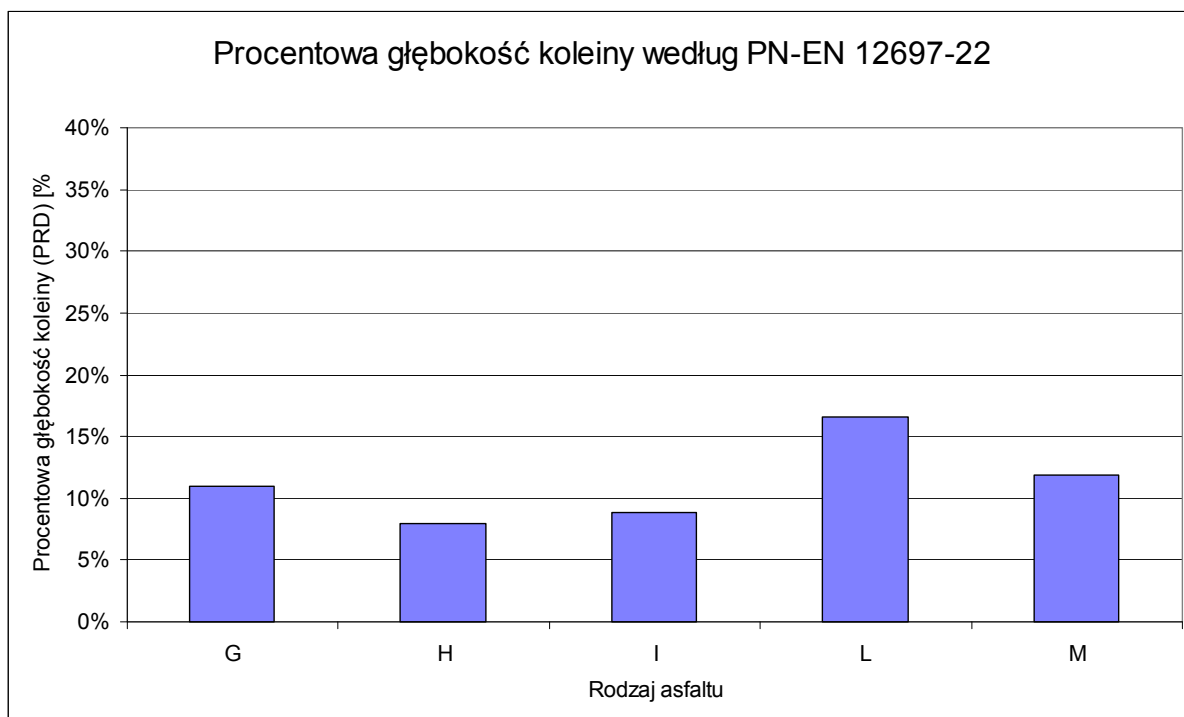
Tablica 9.4 Wyniki badań z europejskiego koleinomierza kołowego dla próbek mieszanki z asfaltem modyfikowanym, temperatura 60°C, wg PN-EN12697-22, metoda B

Asfalt	Nr próbki	Głębokość koleiny RD ₁₀₀₀₀ [mm]		Prędkość przyrostu koleiny WTS _{AIR} [mm/1000/p]		Proporcjonalna głębokość koleiny PRD _{AIR} [%]	
		Wyniki	Średnia	Wyniki	Średnia	Wyniki	Średnia
G	G/1	4,40	4,40	0,11	0,09	11%	11%
	G/2	4,40		0,06		11%	
H	H/1	3,40	3,20	0,08	0,08	9%	8%
	H/2	3,00		0,07		8%	
I	I/1	3,60	3,55	0,06	0,06	9%	9%
	I/2	3,50		0,05		9%	
K	I/3	*		*		*	
	I/4	*		*		*	
L	L/1	7,60	6,65	0,17	0,15	19%	17%
	L/4	5,70		0,12		14%	
M	M/3	5,00	4,75	0,17	0,13	13%	12%
	M/4	4,50		0,09		11%	

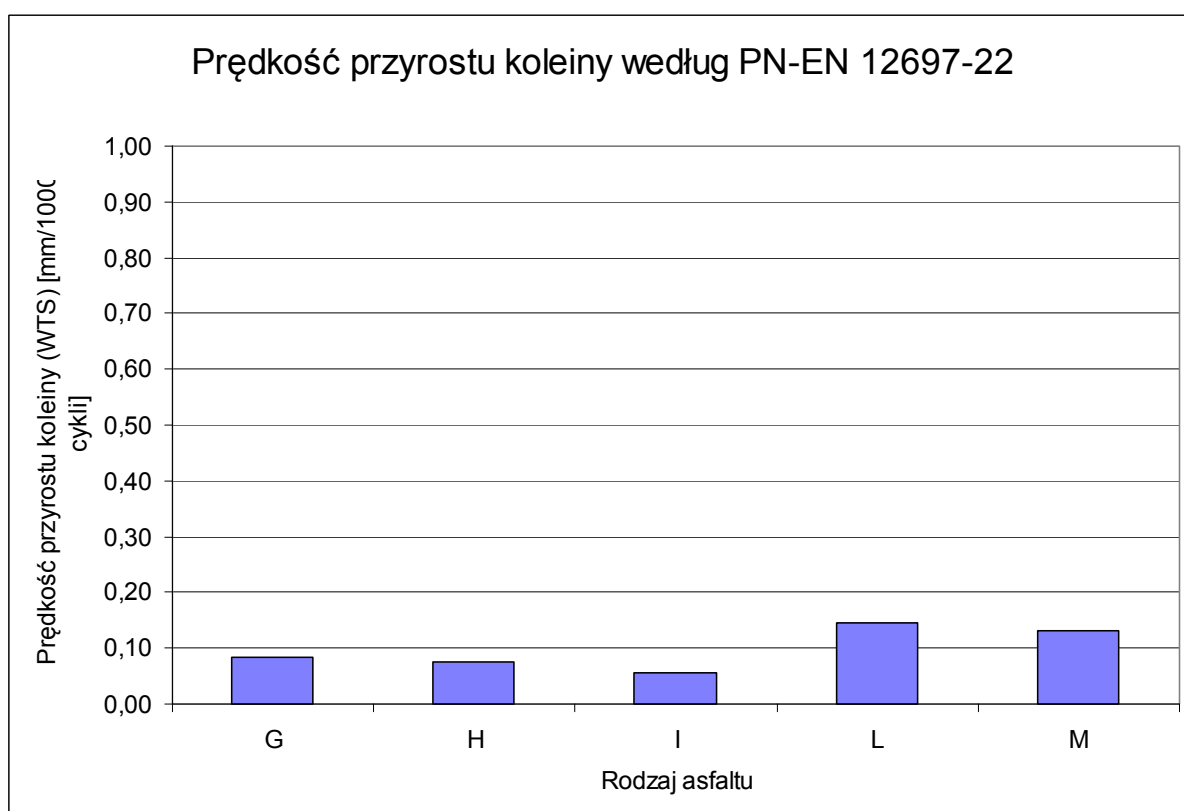
* wynik w trakcie opracowywania



Rysunek 9.8 Wyniki badań głębokości koleiny z europejskiego koleinomierza kołowego dla próbek mieszanki z asfaltem modyfikowanym, temperatura 60°C, wg PN-EN12697-22, metoda B



Rysunek 9.9 Wyniki badań procentowej głębokości koleiny z europejskiego koleinomierza kołowego dla próbek mieszanki z asfaltem modyfikowanym, temperatura 60°C, wg PN-EN12697-22, metoda B



Rysunek 9.10 Wyniki badań prędkości przyrostu koleiny z europejskiego koleinomierza kołowego dla próbek mieszanki z asfaltem modyfikowanym, temperatura 60°C, wg PN-EN12697-22, metoda B

9.3. Analiza wyników

- wyniki badań koleinowania (w obu przypadkach) pokazują wyraźny wpływ środków z grupy wosków na odporność na deformacje trwałe.
- w przypadku betonu asfaltowego z asfaltem 50/70 bez dodatków oraz z dodatkiem zeolitu badanie w koleinomierzu europejskim skończyło się przed czasem po osiągnięciu przez koleinę granicznej wartości 15 mm.
- w przypadku asfaltów modyfikowanych wpływ dodatków obniżających temperaturę na odporność na deformacje trwałe jest niewielki. W tym przypadku wpływ elastomeru wyraźnie zdominował wpływ badanych dodatków.

10. Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań są efektem drugiego etapu pracy poświęconej wpływowi dodatków obniżających temperaturę produkcji na parametry mieszanek mineralno-asfaltowych. Badania będą kontynuowane w następnym etapie, który będzie zrealizowany w 2011 r. Przedstawione wnioski zostaną zweryfikowane i uzupełnione po przeprowadzeniu badań weryfikujących w pełnej skali.