

## **Modyfikowany asfalt**

Przedmiotem wynalazku jest modyfikowany asfalt używany przede wszystkim do produkcji wyrobów hydroizolacyjnych.

Asfalt, jako materiał budowlany ma wiele wad i niedoskonałości. Jest substancją organiczną, która łatwo ulega destrukcyjnemu działaniu atmosferycznych czynników zewnętrznych takich jak na przykład promieniowanie podczerwone i ultrafioletowe. Od początków stosowania asfaltów w budownictwie wiele ośrodków naukowych prowadzi badania, których celem jest znalezienie „idealnego” modyfikatora asfaltu. Poszukiwana jest technologia, która zmieni wybrane parametry asfaltu: zwiększy jego trwałość, poprawi odporności na ekstremalnie niskie i wysokie temperatury. Początkowo były to proste zabiegi polegające na stabilizowaniu właściwości asfaltu poprzez dodanie mączki mineralnej, mieszanii z siarką lub lateksem.

Przełom w sposobach modyfikacji asfaltu nastąpił w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Przyczynił się do niego kryzys naftowy oraz intensywny rozwój chemii polimerów. Początkowo, jako modyfikator asfaltu stosowano głównie APP (ataktyczny polipropylen). Wkrótce okazało się, że ma on wiele wad.

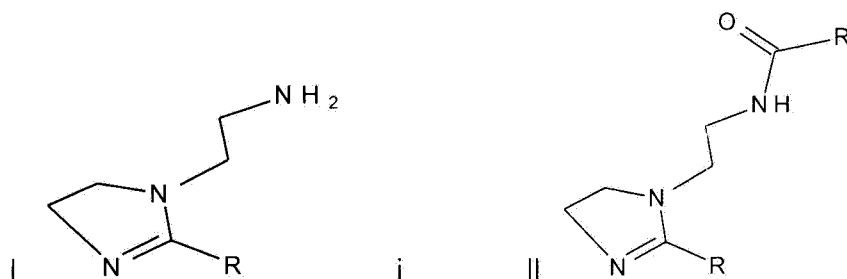
Obecnie najczęściej stosowanymi modyfikatorami asfaltów są różnego rodzaju polimery termoplastyczne, znane z następujących publikacji: Gawel I., Kalabińska M., Piłat J.: *Asfalty drogowe*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności Warszawa 2001, Radziszewski P., Kalabińska M., Piłat J.: *Materiały drogowe i nawierzchnie asfaltowe*, Białystok – Warszawa 1995, Błażejowski K., Styk S.: *Technologia warstw asfaltowych*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2004, Stefańczyk B., Mieczkowski P.: *Dodatki, katalizatory i emulgatory w mieszankach mineralno-asfaltowych*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010, Zieliński K.: *Rola kopolimeru SBS w kształtowaniu struktury i właściwości termomechanicznych asfaltów stosowanych w materiałach hydroizolacyjnych*, Poznań 2007, Radziszewski P. "Zmiana

właściwości lepkosprężystych lepiszczy modyfikowanych i mieszanek mineralno-asfaltowych w wyniku procesu starzenia”, Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 2001]. Najczęściej modyfikatorami asfaltów są związki wielkocząsteczkowe, otrzymywane przez modyfikację polimerów naturalnych, na przykład kauczuku, lub uzyskiwane na drodze syntezy związków małowcząsteczkowych. W wyniku ich działania korzystnie zmieniają się właściwości reologiczne asfaltu, takie jak: temperatura mięknięcia, elastyczność w niskiej temperaturze, wrażliwość termiczna oraz wytrzymałość na odkształcenia pod wpływem działania siły o czym piszą Stefańczyk B., Mieczkowski P.: Dodatki, katalizatory i emulgatory w mieszankach mineralno – asfaltowych, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010, Bagieńska K., Gawęł I.: Badania procesu starzenia asfaltu drogowego, II Konferencja Naukowa Opole-Krynica, 2002, Gawęł I., Bagieńska K., Bachórz J.: Zmiany właściwości, składu i struktury chemicznej asfaltów podczas symulowania starzenia w laboratorium, II Międzynarodowa Konferencja Naukowo – Techniczna, „Nowoczesne Technologie w Budownictwie Drogowym”, Poznań 2001, s. 318-326, Słowik M.: Wpływ modyfikacji polimerami na właściwości reologiczne asfaltów drogowych, rozprawa doktorska, Poznań 2001, Stefańczyk B.: Budownictwo ogólne, t.1, Materiały i wyroby budowlane, Arkady, Warszawa 2005, Gawęł I., Jerzykiewicz W., Niczke Ł.: Dodatki zwiększające odporność asfaltów na starzenie, Międzynarodowej Konferencji Technicznej Krynica 2004].

Spośród dostępnych substancji tylko niewielką część polimerów termoplastycznych można zastosować do modyfikacji asfaltów, co wynika z publikacji Sybilski D., Szczepaniak Z.: Modyfikacja asfaltu polimerem butadienowo – styrenowym, Prace IBDiM Nr 1/1991, s. 53-68, Warszawa 1991, Judycki J.: Badanie sprężystości asfaltów modyfikowanych elastomerami przy budowie nawierzchni mostowych, Drogownictwo 3/89, Warszawa 1989, Sybilski D.: Polimeroasfalty drogowe. Jakość funkcjonalna. Metoda i kryteria oceny. Studia i materiały, zeszyt 45, IBDiM, Warszawa 1996, Zieliński K., Babiak M.: Analiza możliwości spowolnienia procesów starzeniowych w asfaltach stosowanych do wyrobu materiałów hydroizolacyjnych, Materiały budowlane 06.2013, Zieliński K., Babiak M.: Starzenie asfaltów zawartych w hydroizolacyjnych wyrobach budowlanych”; Trwałość budynków i budowli; Praca zbiorowa pod redakcją Tomasz Błaszczyńskiego; Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne; Wrocław 2012, Zieliński K.: Wpływ starzenia technologicznego asfaltów modyfikowanych SBS na ich wybrane cechy techniczne II Konferencja naukowa: „Trwałość i skuteczność napraw obiektów budowlanych” 26-29.11.2008r. Sielinko, Zieliński K.: Wpływ zawartości elastomeru SBS w asfalcie na jego zdolność klejenia przed i po starzeniu termicznym, Effect of styrene–butadiene–styrene content on the adhesion

properties of bitumen before and after heat aging"- "Canadian Journal of Civil Engineering" 35(5)/08 p 454-560, Zieliński K.: Teoretyczne podstawy doboru asfaltu i SBS w wyrobach hydroizolacyjnych, Materiały budowlane 12/10].

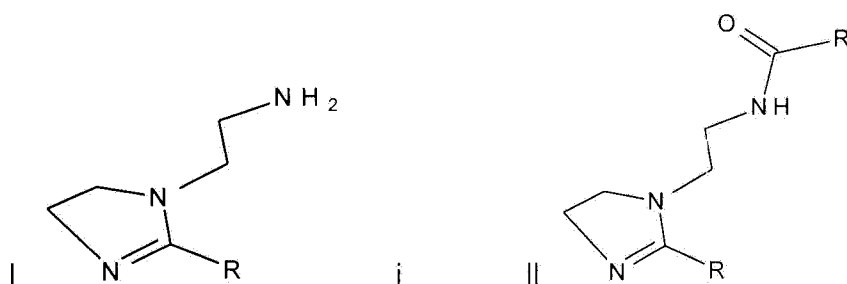
Z polskiego zgłoszenia P.401756 znany jest wielofunkcyjny dodatek do asfaltu zawierający 65-90% mieszaniny imidazolin o strukturze:



gdzie R=rodnik alkilowy o długości łańcucha 12-14 w proporcji 1:3 do 3:1, oraz amidoaminy zawierające rodnik R i alkilotriaminy z rodnikiem alkilowym  $C_2H_4$  oraz znany jest sposób otrzymywania tego dodatku.

Z polskiego zgłoszenia P.409543 znane są asfalty zawierające 0,1% - 50,0% modyfikatora imidazolinowego o składzie:

- od 0,1% do 100,0% imidazolin I i II w proporcji masowej 1:3 do 3:1 o strukturze:



gdzie  $R = C_nH_m$ ,  $n=15-20$ ,  $m=31-39$

- do 10,0% amidoamin,
- do 1,0% alkilotriamin,
- do 10,0% gliceryny.

Korzystne jest używanie modyfikatorów, które z asfaltami wchodzi w swoiste reakcje chemiczne (na przykład wulkanizacji) oraz wytwarzają homogeniczne struktury. Przykładem takiego związku jest obecnie stosowany kopolimer SBS (styren-butadien-styren). Współcześnie jest to podstawowy modyfikator asfaltów wykorzystywanych do produkcji materiałów hydroizolacyjnych. Na etapie wdrażania technologii uważano SBS za materiał idealny do modyfikacji asfaltów.

Twierdzono, że produkt ten blokuje proces starzenia asfaltu oraz zmniejsza jego podatność na zmiany temperatury. Obecnie z perspektywy prawie trzydziestu lat stosowania SBS, można obiektywnie zdefiniować wady i zalety modyfikatora. Okazało się, że kopolimer jest drogi (Kraton D1001 kosztuje około 10000zł za tonę), jego koszt to blisko 40% wartości produkowanego materiału. Aby asfalt stosowany do produkcji hydroizolacji jakie uzyskał zalecane właściwości termoplastyczne trzeba go dodać w ilości 10% – 12% względem masy mieszaniny. Finalną cenę gotowego produktu podnosi energochłonny i czasochłonny proces łączenia modyfikatora z asfaltem - wymaga użycia specjalnych młynów, przebiega w wysokiej temperaturze. Należy zwrócić uwagę, że podczas tych procesów asfalt narażony jest na starzenie technologiczne. Wysoka temperatura oraz intensywne mieszanie wzmagają i przyspieszają proces utleniania asfaltu. Liczne badania naukowe wskazują, że SBS w istotnym stopniu obniża adhezję asfaltu do podłoża, co ogranicza zakres stosowania modyfikowanych nim asfaltów.

Największy wpływ na trwałość budowlanych materiałów hydroizolacyjnych ma odporność asfaltu na starzenie. Starzenie jest procesem fizykochemicznym zachodzącym we wszystkich ciałach organicznych i nieorganicznych wraz z upływem czasu. Oddziaływanie czynników zewnętrznych, takich jak: woda, powietrze czy wysoka temperatura prowadzi do zmian właściwości użytkowych materiałów i wyrobów. Na skutek starzenia asfaltu obniża się jego trwałość, a cechy użytkowe wykonanego przy jego użyciu materiału hydroizolacyjnego w znacznym stopniu ulegają pogorszeniu. Przeciwdziałanie starzeniom lepszy jest istotnie dla poprawienia cech użytkowych wyrobów papowych.

Wyróżnia się dwa etapy starzenia asfaltów: starzenie krótkotrwałe, zwane starzeniem technologicznym zachodzi podczas produkcji i układania materiałów hydroizolacyjnych, oraz starzenie długotrwałe zwane starzeniem eksploatacyjnym, na które istotny wpływ mają warunki klimatyczne.

Starzenie asfaltu jest zagadnieniem złożonym, trudnym do oceny i nie w pełni rozpoznany. Zależy ono od struktury asfaltu oraz od czynników zewnętrznych. Efektem starzenia materiałów hydroizolacyjnych jest konieczność wykonania częstszych remontów, co skutkuje zwiększeniem kosztów eksploatacyjnych. W budownictwie problem ten dotyczy hydroizolacyjnych materiałów bitumicznych.

Modyfikacja asfaltu za pomocą kwasu polifosforowego znana jest od lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku (amerykański patent 3751278). Kwas polifosforowy (CAS 8017-16-1) jest produktem termicznej dehydratacji i polikondensacji kwasu ortofosforowego  $H_3PO_4$ . Jego

korzystne działanie polega przede wszystkim na podniesieniu temperatury mięknięcia asfaltu, natomiast wadą jest pogorszenie parametrów asfaltu w temperaturach niskich.

Do modyfikacji asfaltów najczęściej stosuje się kwas o stężeniu 75,9; 79,8 i 82,6%  $P_2O_5$ .

Celem wynalazku było opracowanie modyfikowanego asfaltu do wyrobów hydroizolacyjnych posiadającego zwiększoną odporność na spękanie indukowane termicznie, a przede wszystkim posiadającego zmniejszoną wrażliwość termiczną (charakteryzowaną wartością indeksu penetracji), zwiększoną odpornością na niskie, wysokie i zmienne temperatury, zwiększony przedział plastyczności, zwiększoną elastyczność i siłę rozciągającą, a także zwiększona odporność na spękanie indukowane termicznie i zmęczeniowe. Modyfikowany asfalt powinien być odporny termicznie (do około 300°C) i być tani w produkcji.

Okazało się, że asfalt do wyrobów hydroizolacyjnych modyfikowany kwasem polifosforowym i modyfikatorem na bazie imidazolin posiada zwiększoną odporność na spękanie indukowane termicznie. Asfalt do wyrobów hydroizolacyjnych modyfikowany kwasem polifosforowym oraz modyfikatorem zawierającym dwie różnych imidazoliny oraz amidoaminy i alkilotriaminy charakteryzuje się znacząco zwiększoną odpornością na spękania indukowane termicznie, oraz lepszymi właściwościami reologicznymi, takimi jak:

- niższą temperaturą łamliwości, badaną metodą Fraassa (według PN-EN 12593),
- wyższą temperaturą mięknięcia badaną metodą PIK (pierścień i kula - PN-EN 1427),
- większą wartością penetracji asfaltu (PN-EN 1426),
- większym przedziałem plastyczności,
- mniejszą lepkością dynamiczną w temperaturze 60°C (PN-EN 12596),
- zwiększoną siłą rozciągającą w temperaturze 10°C (PN-EN 13589),
- wyższą sztywnością (PN-EN 14771),

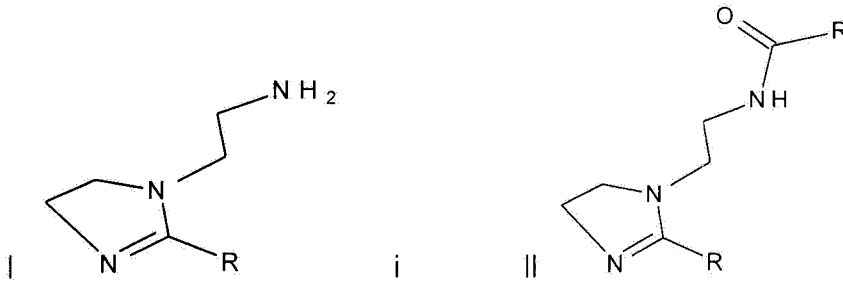
niż wynikałoby to z oddzielnego stosowania dodatku kwasu polifosforowego i oddzielnego stosowania dodatku modyfikatora na bazie imidazolin.

Okazało się, asfalt zawierający dodatek kwasu polifosforowego oraz modyfikatora imidazolinowego w sposób synergiczny poprawia jakość asfaltu; asfalt z dodatkiem tylko modyfikatora imidazolinowego, a także asfalt modyfikowany tylko kwasem polifosforowym

posiada znacząco gorsze parametry, niż asfalt modyfikowany kwasem polifosforowym oraz niż asfalt modyfikatorem imidazolinowym.

Modyfikowany asfaltu według wynalazku zawiera 50,0% - 99,8% wagowych asfaltu, 0,1% - 50,0% kwasu polifosforowego oraz 0,1% - 50,0% modyfikatora imidazolinowego zawierającego:

- od 0,1% do 100,0% imidazolin I i II w proporcji masowej 1:3 do 3:1 o strukturze:



gdzie  $R = C_nH_m$ ,  $n=15-20$ ,  $m=31-39$

- do 10,0% diamidoamin o wzorze  $ROC-NH-C_2H_4-NH-C_2H_4-NH-COR$  i/lub monoamidoamin o wzorze  $ROC-NH-C_2H_4-NH-C_2H_4-NH_2$ , gdzie  $R = C_nH_m$ ,  $n=15-20$ ,  $m=31-39$
- do 1,0% alkilotriamin,
- do 10,0% gliceryny.

Korzystnie jest, jeśli modyfikowany asfalt zawiera asfalt drogowy.

Korzystnie jest, jeśli modyfikowany asfalt zawiera asfalt utleniony.

Korzystnie jest, jeśli modyfikowany asfalt zawiera kwas polifosforowy o stężeniu 75,9%  $P_2O_5$ .

Korzystnie jest, jeśli modyfikowany asfalt zawiera kwas polifosforowy o stężeniu 79,8%  $P_2O_5$ .

Korzystnie jest, jeśli modyfikowany asfalt zawiera kwas polifosforowy o stężeniu 82,6%  $P_2O_5$ .

Korzystnie jest, jeśli modyfikator zawiera imidazolinę na bazie kwasu oleinowego.

Korzystnie jest, jeśli jako modyfikator zawiera imidazolinę na bazie oleju rzepakowego.

Korzystnie jest, jeśli jako modyfikator zawiera imidazolinę na bazie smalcu.

Korzystnie jest, jeśli jako modyfikator zawiera imidazolinę na bazie kwasu stearynowego.

Wprowadzenie 0,1% - 50% kwasu polifosforowego oraz 0,1% - 50% modyfikatora imidazolinowego do asfaltów drogowych (na przykład do asfaltu rodzaju 160/220 według PN-EN 12591), do asfaltów utlenionych (na przykład do asfaltu rodzaju 95/35 według PN-EN 13304:2009); do asfaltów utlenionych (na przykład do asfaltu rodzaju 40/175 według PN-EN

13305), służących do produkcji bitumicznych materiałów hydroizolacyjnych, w tym pap modyfikowanych, pap tradycyjnych i niskomodyfikowanych, do emulsji, past, lepików, czy polimeroasfaltów powoduje znaczne zwiększenie odporności asfaltu na spękania indukowane termicznie (do 60% w stosunku do asfaltów bez modyfikacji) oraz poprawę podstawowych właściwości reologicznych i termoplastycznych takich jak:

- obniżenie temperatury łamliwości badanej metodą Frassa,
- zwiększenie temperatury mięknięcia badanej metodą PiK (pierścienia i kuli),
- zwiększenie zakresu przedziału plastyczności asfaltu,
- zwiększenie adhezji do posypki mineralnej,
- zwiększenie adhezji do warstwy osnowy papy,
- zmniejszenie lepkości dynamicznej asfaltu w temperaturze 60°C,
- zwiększenie siły rozciągającej w temperaturze 10°C.

Modyfikowany asfalt może być wytwarzany u dotychczasowego wytwórcy asfaltu, a także u wytwórcy materiałów hydroizolacyjnych.

#### Przykłady

W przykładach stosuje się asfalty:

- asfalt rodzaju 160/220 drogowy (według PN-EN 12591) stosowany do produkcji emulsji asfaltowych i hydroizolacyjnych materiałów budowlanych. Jego właściwości przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Właściwości asfaltu 160/220.

| Właściwość                                 | Jednostka  | Metoda badania | Wartość   |
|--|------------|----------------|-----------|
| Penetracja w 25°C                          | 0,1 mm     | PN-EN 1426     | 160 - 220 |
| Temperatura mięknięcia                     | °C         | PN-EN 1427     | 35 - 43   |
| Temperatura łamliwości                     | °C         | PN-EN 12593    | ≤ -15     |
| Temperatura zapłonu                        | °C         | PN-EN ISO 2592 | ≥ 220     |
| Penetracja po starzeniu                    | %          | PN-EN 1426     | ≥ 37      |
| Zmiana masy po starzeniu                   | % wagowych | PN-EN 12607-1  | ≤ 1,0     |
| Wzrost temperatury mięknięcia po starzeniu | °C         | PN-EN 1427     | ≤ 11      |
| Rozpuszczalność                            | % wagowych | PN-EN 12592    | ≥ 99,0    |

- Asfalt utleniony 95/35 (według PN-EN 13304:2009). Asfalt utleniony 95/35 stosuje się do produkcji różnego rodzaju materiałów izolacyjnych a w szczególności do produkcji pap na wkładkach nie tekturowych o pogrubionej warstwie masy asfaltowej, które charakteryzują się polepszonymi właściwościami eksploatacyjnymi. Jego właściwości przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Właściwości asfaltu 95/35.

| Właściwość                                    | Jednostka  | Metoda badania | Wartość |
|---|------------|----------------|---------|
| Penetracja w 25°C                             | 0,1 mm     | PN-EN 1426     | 30-40   |
| Temperatura mięknięcia                        | °C         | PN-EN 1427     | 90-100  |
| Temperatura łamliwości                        | °C         | PN-EN 12593    | ≤ -120  |
| Temperatura zapłonu                           | °C         | PN-EN ISO 2592 | ≥ 250   |
| Zmiana masy po starzeniu                      | % wagowych | PN-EN 12607-1  | ≤ 0,5   |
| Wzrost temperatury mięknięcia<br>po starzeniu | °C         | PN-EN 1427     | ≤ 11    |

- Asfalt drogowy 50/70 (według PN-EN 13304:2009). Asfalt drogowy 50/70 stosuje się do produkcji różnego rodzaju materiałów izolacyjnych a w szczególności do produkcji pap na wkładkach nie tekturowych o pogrubionej warstwie masy asfaltowej, które charakteryzują się polepszonymi właściwościami eksploatacyjnymi. Jego właściwości przedstawia tabela 3.

Tabela 3. Właściwości asfaltu 50/70.

| Właściwość                                    | Jednostka  | Metoda badania | Wartość |
|---|------------|----------------|---------|
| Penetracja w 25°C                             | 0,1 mm     | PN-EN 1426     | 50-70   |
| Temperatura mięknięcia                        | °C         | PN-EN 1427     | 46-54   |
| Temperatura łamliwości                        | °C         | PN-EN 12593    | ≤ -8    |
| Temperatura zapłonu                           | °C         | PN-EN ISO 2592 | ≥ 230   |
| Zmiana masy po starzeniu                      | % wagowych | PN-EN 12607-1  | ≤ 0,5   |
| Wzrost temperatury mięknięcia<br>po starzeniu | °C         | PN-EN 1427     | ≤ 9     |

W przykładach stosuje się imidazoliny:

- imidazolinę oleinową: imidazolina na bazie kwasu oleinowego - ciecz barwy brązowej, słaby zapach, zasadowość 1,5 ml HCl/g, zawartość substancji kationowych około 88%, pH 10,9, temperatura krzepnięcia -21°C),
- imidazolinę rzepakową: imidazolina na bazie oleju rzepakowego - ciecz barwy brązowej, słaby zapach, zasadowość 1,5 ml HCl/g, zawartość substancji kationowych około 90%,
- imidazolinę smalcową: imidazolina na bazie smalcu - ciało stałe barwy jasnobrązowej, słaby zapach, zasadowość 1,6 ml HCl/g, zawartość substancji kationowych około 99%,
- imidazolinę stearynową: imidazolina na bazie kwasu stearynowego - ciało stałe barwy jasnobrązowej, słaby zapach, zasadowość 1,5 ml HCl/g, zawartość substancji kationowych około 98%.

W przykładach stosuje się kwas polifosforowy o stężeniu:

- 75,9% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,
- 79,8% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,
- 82,6% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Dla porównania modyfikowane asfalty przedstawione w przykładach poddaje się laboratoryjnemu starzeniu asfaltów metodą TFOT (Rolling Thin Film Oven Test) (PN-EN 12607-1, Asfalty i lepiszcza asfaltowe - Oznaczanie odporności na starzenie pod wpływem ciepła i powietrza).

#### Przykład 1

Modyfikowany asfalt zawiera: 350g asfaltu 160/220, 62,39g kwasu polifosforowego o stężeniu 82,6% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> oraz 3,54g modyfikatora imidazolinowego zawierającego:

- 70% imidazoliny I, na bazie kwasu oleinowego,
- 23% imidazoliny II, na bazie kwasu oleinowego,
- 4% diamidoaminy o wzorze C<sub>17</sub>H<sub>33</sub>OC-NH-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-NH-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-NH-CO C<sub>17</sub>H<sub>33</sub>,
- 2% monoamidoaminy o wzorze C<sub>17</sub>H<sub>33</sub>OC-NH-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-NH-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-NH<sub>2</sub>,
- 1% dietylenotriaminy,

Charakterystykę asfaltu przedstawia tabela 4.

Tabela 4. Charakterystyka asfaltu dla przykładu 1.

| Badane właściwości                                  | Zmiana parametru asfalt + modyfikator | Zmiana parametru asfalt + modyfikator + kwas polifosforowy |
|---|---------------------------------------|--|
| Temperatura mięknięcia (°C) PN-EN 1427              | Poprawa o 16%*                        | Poprawa o 30%*   |
| Penetracja w 25°C (mm) PN-EN 1426                   | Poprawa o 30%*                        | Poprawa o 34%*   |
| Temperatura łamliwości (°C) PN-EN 12593             | Poprawa o 33%*                        | Poprawa o 65%*   |
| Lepkość dynamiczna w 60°C (Pa×s) PN-EN 12596        | Poprawa o 25%*                        | Poprawa o 31%*   |
| Test rozciągania z rejestracją siły (N) PN-EN 13589 | Poprawa o 28%*                        | Poprawa o 33%*   |
| Przyczepność do powierzchni kruszywa PN-B-06714-22  | Poprawa o 55%*                        | Poprawa o 61%*   |

\* poprawa w stosunku do wyjściowego asfaltu 160/220

Dodatek kwasu polifosforowego prowadzi do ich korzystnych zmian właściwości reologicznych asfaltów. W zależności od stężenia kwasu uzyskuje się:

- zwiększoną odporność asfaltu na spękanie indukowane termicznie, zmęczeniowe oraz na działanie wilgoci,
- obniżenie temperatury łamliwości asfaltu,
- zwiększenie temperatury mięknięcia asfaltu.

Kwas polifosforowy jest kompatybilny z asfaltem. Wykazano brak rozwarstwienia mieszanki, łatwość mieszania oraz stabilność podczas przechowywania mieszaniny.

Tym niemniej asfalt modyfikowany tylko kwasem polifosforowym posiada znacząco gorsze parametry, niż asfalt modyfikowany kwasem polifosforowym i modyfikatorem imidazolinowym.

#### Przykład 2

Modyfikowany asfalt zawiera 350g asfaltu 95/35, 7,14g modyfikatora imidazolinowego o składzie jak w przykładzie 1 oraz 162,31g kwasu polifosforowego o stężeniu 79,8% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,

Charakterystykę asfaltu przedstawia tabela 5.

Tabela 5. Charakterystyka asfaltu dla przykładu 2.

| Badane właściwości                                  | Zmiana parametru asfalt + modyfikator | Zmiana parametru asfalt + modyfikator + kwas polifosforowy |
|---|---------------------------------------|--|
| Temperatura mięknięcia (°C) PN-EN 1427              | Poprawa o 15%*                        | Poprawa o 25%*   |
| Penetracja w 25°C (mm) PN-EN 1426                   | Poprawa o 23%*                        | Poprawa o 29%*   |
| Temperatura łamliwości (°C) PN-EN 12593             | Poprawa o 28%*                        | Poprawa o 56%*   |
| Lepkość dynamiczna w 60°C (Pa×s) PN-EN12596         | Poprawa o 35%*                        | Poprawa o 41%*   |
| Test rozciągania z rejestracją siły (N) PN-EN 13589 | Poprawa o 31%*                        | Poprawa o 39%*   |
| Przyczepność do powierzchni kruszywa PN-B-06714-22  | Poprawa o 60%*                        | Poprawa o 62%*   |

\* poprawa w stosunku do wyjściowego asfaltu 95/35.

### Przykład 3

Modyfikowany asfalt zawiera:

350g asfaltu 160/220, 120,27g polifosforowego o stężeniu 75,9% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> oraz 10,82g modyfikatora na bazie imidazoliny rzepakowej zawierającego:

- 40% imidazoliny I, w której R = C<sub>16-18</sub>H<sub>31-39</sub>,
- 45% imidazoliny II, w której R = C<sub>16-20</sub>H<sub>31-39</sub>,
- 4,5% diamidoaminy o wzorze C<sub>17</sub>H<sub>33</sub>OC-NH-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-NH-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-NH-CO C<sub>17</sub>H<sub>33</sub>,
- 0,5% dietylenotriaminy,
- 10% gliceryny.

Charakterystykę asfaltu przedstawia tabela 6.

Tabela 6. Charakterystyka asfaltu dla przykładu 3.

| Badane właściwości                                  | Zmiana parametru asfalt + modyfikator | Zmiana parametru asfalt + modyfikator + kwas polifosforowy |
|---|---------------------------------------|--|
| Temperatura mięknięcia (°C) PN-EN 1427              | Poprawa o 19%*                        | Poprawa o 29%*   |
| Penetracja w 25°C (mm) PN-EN 1426                   | Poprawa o 29%*                        | Poprawa o 35%*   |
| Temperatura łamliwości (°C) PN-EN 12593             | Poprawa o 29%*                        | Poprawa o 66%*   |
| Lepkość dynamiczna w 60°C (Pa×s) PN-EN 12596        | Poprawa o 27%*                        | Poprawa o 35%*   |
| Test rozciągania z rejestracją siły (N) PN-EN 13589 | Poprawa o 28%*                        | Poprawa o 38%*   |
| Przyczepność do powierzchni kruszywa PN-B-06714-22  | Poprawa o 55%*                        | Poprawa o 59%*   |

\* poprawa w stosunku do wyjściowego asfaltu 160/220.

Przykład 4

Modyfikowany asfalt zawiera 350g asfaltu 95/35, 10,82g modyfikatora na bazie imidazoliny rzepakowej takiej jak w przykładzie 3 oraz 240,55g kwasu polifosforowego o stężeniu 75,9% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Charakterystykę asfaltu przedstawia tabela 7.

Tabela 7. Charakterystyka asfaltu dla przykładu 4.

| Badane właściwości                                  | Zmiana parametru asfalt + modyfikator | Zmiana parametru asfalt + modyfikator + kwas polifosforowy |
|---|---------------------------------------|--|
| Temperatura mięknięcia (°C) PN-EN 1427              | Poprawa o 13%*                        | Poprawa o 21%*   |
| Penetracja w 25°C (mm) PN-EN 1426                   | Poprawa o 23%*                        | Poprawa o 29%*   |
| Temperatura łamliwości (°C) PN-EN 12593             | Poprawa o 19%*                        | Poprawa o 49%*   |
| Lepkość dynamiczna w 60°C (Pa·s) PN-EN 12596        | Poprawa o 17%*                        | Poprawa o 25%*   |
| Test rozciągania z rejestracją siły (N) PN-EN 13589 | Poprawa o 23%*                        | Poprawa o 35%*   |
| Przyczepność do powierzchni kruszywa PN-B-06714-22  | Poprawa o 57%*                        | Poprawa o 59%*   |

\* poprawa w stosunku do wyjściowego asfaltu 95/35.

Przykład 5

Modyfikowany asfalt zawiera: 350g asfaltu 160/220, 40,94g kwasu polifosforowego o stężeniu 79,8% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, oraz 18,42g modyfikatora na bazie imidazoliny smalcowej, zawierającego:

- 40% imidazoliny I, w której R=C<sub>16-20</sub>H<sub>31-39</sub>
- 45% imidazoliny II w której R=C<sub>16-20</sub>H<sub>31-39</sub>,
- 4,5% amidoamin,
- 0,5% dietylenotriaminy,
- 10% gliceryny.

Charakterystykę asfaltu przedstawia tabela 8

Tabela 8. Charakterystyka asfaltu dla przykładu 5.

| Badane właściwości                                  | Zmiana parametru asfalt + modyfikator | Zmiana parametru asfalt + modyfikator + kwas polifosforowy |
|---|---------------------------------------|--|
| Temperatura mięknięcia (°C) PN-EN 1427              | Poprawa o 21%*                        | Poprawa o 30%*   |
| Penetracja w 25°C (mm) PN-EN 1426                   | Poprawa o 37%*                        | Poprawa o 41%*   |
| Temperatura łamliwości (°C) PN-EN 12593             | Poprawa o 23%*                        | Poprawa o 65%*   |
| Lepkość dynamiczna w 60°C (Pa×s) PN-EN 12596        | Poprawa o 17%*                        | Poprawa o 25%*   |
| Test rozciągania z rejestracją siły (N) PN-EN 13589 | Poprawa o 41%*                        | Poprawa o 49%*   |
| Przyczepność do powierzchni kruszywa PN-B-06714-22  | Poprawa o 49%*                        | Poprawa o 55%*   |

\* poprawa w stosunku do wyjściowego asfaltu 160/220.

#### Przykład 6

Modyfikowany asfalt zawiera 350g asfaltu 95/35, 7,14g modyfikatora na bazie imidazoliny smalcowej o składzie jak w przykładzie 5, oraz 89,29g kwasu polifosforowego o stężeniu 82,6% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>,

Charakterystykę asfaltu przedstawia tabela 9

Tabela 9. Charakterystyka asfaltu dla przykładu 6.

| Badane właściwości                                  | Zmiana parametru asfalt + modyfikator | Zmiana parametru asfalt + modyfikator + kwas polifosforowy |
|---|---------------------------------------|--|
| Temperatura mięknięcia (°C) PN-EN 1427              | Poprawa o 23%*                        | Poprawa o 30%*   |
| Penetracja w 25°C (mm) PN-EN 1426                   | Poprawa o 31%*                        | Poprawa o 39%*   |
| Temperatura łamliwości (°C) PN-EN 12593             | Poprawa o 21%*                        | Poprawa o 55%*   |
| Lepkość dynamiczna w 60°C (Pa×s) PN-EN 12596        | Poprawa o 20%*                        | Poprawa o 31%*   |
| Test rozciągania z rejestracją siły (N) PN-EN 13589 | Poprawa o 27%*                        | Poprawa o 35%*   |
| Przyczepność do powierzchni kruszywa PN-B-06714-22  | Poprawa o 59%*                        | Poprawa o 62%*   |

\* poprawa w stosunku do wyjściowego asfaltu 95/35.

Przykład 7

Modyfikowany asfalt zawiera 350g asfaltu 160/220, 19,59g kwasu polifosforowego o stężeniu 82,6%  $P_2O_5$  oraz 22,34g modyfikatora na bazie imidazoliny stearynowej o składzie:

- 70% imidazoliny I, w której  $R=C_{17}H_{35}$ ,
- 19% imidazoliny II, w której  $R=C_{17}H_{35}$ ,
- 10% monoamidoaminy o wzorze  $C_{17}H_{33}OC-NH-C_2H_4-NH-C_2H_4-NH_2$ ,
- 1% dietylenotriaminy.

Charakterystykę asfaltu przedstawia tabela 10

Tabela 10. Charakterystyka asfaltu dla przykładu 7.

| Badane właściwości                                  | Zmiana parametru asfalt + modyfikator | Zmiana parametru asfalt + modyfikator + kwas polifosforowy |
|---|---------------------------------------|--|
| Temperatura mięknięcia (°C) PN-EN 1427              | Poprawa o 22%*                        | Poprawa o 33%*   |
| Penetracja w 25°C (mm) PN-EN 1426                   | Poprawa o 32%*                        | Poprawa o 41%*   |
| Temperatura tężliwości (°C) PN-EN 12593             | Poprawa o 21%*                        | Poprawa o 62%*   |
| Lepkość dynamiczna w 60°C (Pa×s) PN-EN 12596        | Poprawa o 22%*                        | Poprawa o 30%*   |
| Test rozciągania z rejestracją siły (N) PN-EN 13589 | Poprawa o 25%*                        | Poprawa o 31%*   |
| Przyczepność do powierzchni kruszywa PN-B-06714-22  | Poprawa o 56%*                        | Poprawa o 68%*   |

\* poprawa w stosunku do wyjściowego asfaltu 160/220.

Przykład 8

Modyfikowany asfalt zawiera 350g asfaltu 95/35, 38,89g modyfikatora na bazie imidazoliny stearynowej, takiej jak w przykładzie 7 oraz 259,26g kwasu polifosforowego o stężeniu 79,8%  $P_2O_5$ .

Charakterystykę asfaltu przedstawia tabela 11.

Tabela 11. Charakterystyka asfaltu dla przykładu 8.

| Badane właściwości                                  | Zmiana parametru asfalt + modyfikator | Zmiana parametru asfalt + modyfikator + kwas polifosforowy |
|---|---------------------------------------|--|
| Temperatura mięknięcia (°C) PN-EN 1427              | Poprawa o 25%*                        | Poprawa o 29%*   |
| Penetracja w 25°C (mm) PN-EN 1426                   | Poprawa o 25%*                        | Poprawa o 29%*   |
| Temperatura łamliwości (°C) PN-EN 12593             | Poprawa o 26%*                        | Poprawa o 58%*   |
| Lepkość dynamiczna w 60°C (Pa×s) PN-EN 12596        | Poprawa o 19%*                        | Poprawa o 25%*   |
| Test rozciągania z rejestracją siły (N) PN-EN 13589 | Poprawa o 30%*                        | Poprawa o 35%*   |
| Przyczepność do powierzchni kruszywa PN-B-06714-22  | Poprawa o 45%*                        | Poprawa o 49%*   |

\* poprawa w stosunku do wyjściowego asfaltu 95/35.

### Przykład 9

Modyfikowany asfalt zawiera 350g asfaltu drogowego 50/70, 19,59g kwasu polifosforowego o stężeniu 79,8% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, oraz 22,34g modyfikatora na bazie imidazoliny stearynowej o składzie:

- 70% imidazoliny I, w której R=C<sub>17</sub>H<sub>35</sub>,
- 19% imidazoliny II, w której R=C<sub>17</sub>H<sub>35</sub>,
- 10% monoamidoaminy o wzorze C<sub>17</sub>H<sub>33</sub>OC-NH-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-NH-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-NH<sub>2</sub>,
- 1% dietylenotriaminy
  - o stężeniu 79,8% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Charakterystykę asfaltu przedstawia tabela 12.

Tabela 12. Charakterystyka asfaltu dla przykładu 9.

| Badane właściwości                                  | Zmiana parametru asfalt + modyfikator | Zmiana parametru asfalt + modyfikator + kwas polifosforowy |
|---|---------------------------------------|--|
| Temperatura mięknięcia (°C) PN-EN 1427              | Poprawa o 21%*                        | Poprawa o 25%*   |
| Penetracja w 25°C (mm) PN-EN 1426                   | Poprawa o 29%*                        | Poprawa o 34%*   |
| Temperatura łamliwości (°C) PN-EN 12593             | Poprawa o 23%*                        | Poprawa o 61%*   |
| Lepkość dynamiczna w 60°C (Pa×s) PN-EN 12596        | Poprawa o 21%*                        | Poprawa o 28%*   |
| Test rozciągania z rejestracją siły (N) PN-EN 13589 | Poprawa o 29%*                        | Poprawa o 33%*   |
| Przyczepność do powierzchni kruszywa PN-B-06714-22  | Poprawa o 55%*                        | Poprawa o 59%*   |

\* poprawa w stosunku do wyjściowego asfaltu 50/70.

Przykład 10

Modyfikowany asfalt zawiera 350g asfaltu drogowego 50/70, 120,27g kwasu polifosforowego o stężeniu 79,8% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> oraz 10,82g modyfikatora na bazie imidazoliny rzepakowej zawierającego:

- 40% imidazoliny I, w której R = C<sub>16-18</sub>H<sub>31-39</sub>,
- 45% imidazoliny II, w której R = C<sub>16-20</sub>H<sub>31-39</sub>,
- 2,5% diamidoaminy o wzorze C<sub>17</sub>H<sub>33</sub>OC-NH-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-NH-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-NH-CO C<sub>17</sub>H<sub>33</sub>,
- 2% monoamidoaminy o wzorze C<sub>17</sub>H<sub>33</sub>OC-NH-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-NH-C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>-NH<sub>2</sub>,
- 0,5% dietylenotriaminy,
- 10% gliceryny.

Charakterystykę asfaltu przedstawia tabela 13.

Tabela 13.. Charakterystyka asfaltu dla przykładu 10.

| Badane właściwości                                  | Zmiana parametru asfalt + modyfikator | Zmiana parametru asfalt + modyfikator + kwas polifosforowy |
|---|---------------------------------------|--|
| Temperatura mięknięcia (°C) PN-EN 1427              | Poprawa o 19%*                        | Poprawa o 29%*   |
| Penetracja w 25°C (mm) PN-EN 1426                   | Poprawa o 18%*                        | Poprawa o 27%*   |
| Temperatura łamliwości (°C) PN-EN 12593             | Poprawa o 21%*                        | Poprawa o 59%*   |
| Lepkość dynamiczna w 60°C (Pa×s) PN-EN 12596        | Poprawa o 23%*                        | Poprawa o 31%*   |
| Test rozciągania z rejestracją siły (N) PN-EN 13589 | Poprawa o 23%*                        | Poprawa o 41%*   |
| Przyczepność do powierzchni kruszywa PN-B-06714-22  | Poprawa o 48%*                        | Poprawa o 55%*   |

\* poprawa w stosunku do wyjściowego asfaltu 50/70.

RECEPCJA PATENTOWA  
 mgr inż. RENATA FISZER