

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **241557**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **439005**

(22) Data zgłoszenia: **22.09.2021**

(51) Int.Cl.

**C08L 95/00 (2006.01)**

**E01C 7/30 (2006.01)**

**E01C 7/26 (2006.01)**

**E01C 3/00 (2006.01)**

(54) **Mieszanka mineralno-cementowa z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym przeznaczona do podbudów drogowych**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**28.02.2022 BUP 09/22**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**24.10.2022 WUP 43/22**

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA, Kielce, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**PRZEMYSŁAW BUCZYŃSKI, Pieradła, PL**

**MAREK IWAŃSKI, Kielce, PL**

**JAKUB KRASOWSKI,**

**Królewiec Poprzeczny, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Kamil Kot**

**PL 241557 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest mieszanka mineralno-cementowa z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym przeznaczona do podbudów drogowych. Rozwiązanie to znajduje zastosowanie głównie do wytwarzania podbudowy drogowej w technologii głębokiego recyklingu na zimno.

Technologia recyklingu głębokiego na zimno znajduje zastosowanie w wytwarzaniu podbudowy drogowej w momencie przebudowy lub remontu nawierzchni drogowych. Tradycyjne składniki, które wchodzi w skład recyklowanej mieszanki to destrukta asfaltowy, czyli zniszczone warstwy asfaltowe z mieszanek mineralno-asfaltowych, kruszywo naturalne, sztuczne lub z recyklingu, lepiszcze asfaltowe tj. emulsja asfaltowa oraz spoiwo w postaci cementu portlandzkiego.

Skład recyklowanej podbudowy określony jest w wytycznych zagranicznych (Asphalt Academy, Technical Guideline TG2: Bitumen Stabilised Materials, A Guideline for the Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilised Materials. Second Edition, Pretoria, South Africa, 2009. Wirtgen Group, Cold Recycling Technology. 1th edition, Wirtgen GmbH, Windhagen, Germany, 2012). Rozpoznanie wiedzy, wykonane poprzez analizę literatury oraz wytycznych wskazuje, że w składzie recyklowanej podbudowy z emulsją asfaltową wymagane jest stosowanie jedynie cementu portlandzkiego. Taki rodzaj spoiwa hydraulicznego generuje duże ryzyko wystąpienia przeszywnienia podbudowy oraz wystąpienia spękań skurczowych. Ich obecność może się objawiać, jako liczne spękania odbite, pęknięcia poprzeczne występujące w regularnych odstępach na całej szerokości warstwy podbudowy. Mogą one zostać przeniesione na warstwy wytwarzane z mieszanek mineralno-asfaltowych, aż do warstwy ścieralnej. Dlatego też niezbędne jest wytypowanie modyfikatora stosowanego do podbudów drogowych wykonywanych w technologii recyklingu głębokiego na zimno. Obecność modyfikatora pozwoli na zachowanie wymaganej nośności podbudowy, trwałości oraz poprawi odporności na rozciąganie. Modyfikator polimerowy wpłynie na poprawę odporności na działanie wody oraz wody i mrozu podbudowy drogowej. Jednocześnie ograniczona zostanie sztywność recyklowanej podbudowy (wzrost sztywności; wzrost skurczu; pęknięcie skurczowe). Występujące w polskich warunkach normy dedykowane spoiwom hydraulicznym szybko wiążącym (PN-EN 13282-1) oraz spoiwom hydraulicznym normalnie wiążącym (PN-EN 13282-2) określają wymagania w zakresie składu spoiw hydraulicznych. Normy zharmonizowane określają również ograniczenia w zakresie składników drugorzędnych, których ilość łącznie nie może przekraczać 10% masy spoiwa.

Znane jest z publikacji opisu patentowego PL164323 spoiwo do produkcji betonu komórkowego, składające się z popiołu lotnego w ilości 40–60% wagowych; wapna palonego mielonego 15–40% wagowych; żużla konwertorowego 5–25% wagowych, kamienia gipsowego 5–12% wagowych.

Znane jest z publikacji opisu patentowego nr PL220745 hydrauliczne spoiwo drogowe, które stosowane jest przede wszystkim do stabilizacji i ulepszania przewilgoconych gruntów spoistych i mało spoistych o niskiej jakości. Spoiwo to zawiera klinkier cementowy, łupki przywęglowe, popioły i składa się z 38–50 części wagowych klinkieru cementowego, 6–15 części wagowych piasków z kotła fluidalnego zawierających bezwodny siarczan wapnia w przeliczeniu na  $\text{SO}_3$  w ilości nie mniej niż 10% wagowych, 38–50 części wagowych przepalonych łupków przywęglowych zawierających 10–35% wagowych pyłu z procesu suszenia łupków przy węglowych, 2–8 części wagowych pyłu piecowego klinkierowego powstającego w procesie produkcji klinkieru oraz do 3 części wagowych pyłów z procesu suszenia surowców mineralnych stosowanych do produkcji klinkieru i/lub cementu.

Znana jest z publikacji zgłoszenia patentowego nr PL372780 mieszanina stabilizująca dla budownictwa lądowego, mająca zastosowanie w szczególności do budowy nasypów, wałów, dróg i umocnień, składająca się z materiału mineralnego w ilości 65–93% wagowych, popiołu w ilości 7–35% wagowych oraz czynnika nawilżającego, a jej wilgotność wynosi 9–15%. Korzystnym materiałem mineralnym jest łupek przywęglowy nieprzepalony w postaci odpadu popłuczkowego.

Znany jest z opisu patentowego nr PL219436 sposób budowy asfaltowych konstrukcji nawierzchni drogowych, w którym na warstwę asfaltową pokrytą emulsją asfaltową nanosi się wapno hydratyzowane w ilości od 20 do 40 g/m<sup>2</sup> warstwy asfaltowej, korzystnie w postaci mleczka wapiennego. Korzystnie, mleczko wapienne nanosi się przy użyciu skraplarki po odparowaniu wody z emulsji asfaltowej w stężeniu od 20 do 45%.

Znany jest z publikacji opisu zgłoszeniowego wynalazku nr PL393632 sposób budowy nawierzchni drogowych, w którym nawierzchnia drogowa stanowi konstrukcję techniczną składającą się z części górnej – jezdnej oraz części dolnej – podbudowy i wzmocnionego podłoża. Zadaniem podbudowy i warstwy wzmacniającej podłoża jest przejmowanie obciążeń od pojazdów i przeniesienie ich w sposób rozproszony na rodzime podłoża gruntowe. Jeden z wielu przykładów procesu postępowania przy wytwarzaniu warstwy konstrukcyjnej z gruntu modyfikowanego optymalnymi technologicznie dodatkami przebiega następująco: wytwarzane są warstwy konstrukcyjne – podbudowa i wzmocnione podłoża dla kategorii ruchu KR1-KR6; podłoża poddawane jest obróbce: grunt spoisty o grupie nośności G4 i wilgotności optymalnej  $\pm 2\%$ , grubość warstwy gruntu poddawanej obróbce wynosi około 45 cm; jednostkowa działka robocza 1000 m<sup>2</sup> lub o długości 250 m i szerokości 4 m; stosuje się dozowanie dodatku modyfikującego-aktywującego w wodnym roztworze roboczym w ilości około 1% roztworu do masy gruntu, a przykładowe proporcje roztworu koncentratu dodatku w wodzie to 1:125; stosuje się jednostkowe dozowanie cementu w ilości około 5% dodatku do masy gruntu. Rozwiązanie to można wykorzystać do budowy nowych, a także w rekonstrukcji istniejących dróg.

Z opisu zgłoszeniowego wynalazku nr PL389824 znany jest sposób wytwarzania lepiszcza asfaltowo-polimerowego granulowanego i betonu siarkowego oraz ich zastosowanie do wytwarzania i remontu nawierzchni drogowych. Wytworzone lepiszcze asfaltowo-polimerowe służy do wykonania warstwy wiążącej w nawierzchniach drogowych, jak i do remontu dróg. Wytworzony beton siarkowy służy do podbudowy zasadniczej nawierzchni drogowych.

Znany jest z opisu patentowego PL214768 sposób głębokiego recyklingu nawierzchni drogowej w technologii asfaltu spienionego, w którym do rekonstruowanej podbudowy dodaje się wapna oraz cementu, a także w celu odziarnienia dodaje się kruszywa łamanego. Do recyklowanej masy dodaje się pyłów lotnych frakcji poniżej 0,063 mm w ilości od 5% do 20%. Korzystnie, stosuje się pyły mineralne pochodzące z odpylania kruszywa w wytwórni mieszanek mineralno-asfaltowych. W przypadku wykonywania recyklingu metodą na miejscu, na powierzchni recyklowanej drogi rozkłada się warstwę wapna, cementu oraz pyłów 100 lotnych. Spoiwo rozkłada się z dokładnością 15% w stosunku do założonego jednostkowego zużycia.

Stosowanie rekomendowanego spoiwa tj. cementu portlandzkiego w podbudowach drogowych z emulsją asfaltową wykonywanych w technologii recyklingu głębokiego na zimno, lub spoiw z jego znaczącym udziałem powyżej 75%, napotyka na ograniczenia w aplikacji wynikające z dużego prawdopodobieństwa uzyskania nadmiernej sztywności mieszanki.

Znany jest z publikacji zgłoszenia patentowego nr CN107386038 sposób recyklingu nawierzchni drogowej na zimno w technologii asfaltu spienionego oraz mieszanina asfaltu spienionego. Mieszaninę asfaltu spienionego do regeneracji na zimno warstw strukturalnych wytwarza się z następujących materiałów: kruszywa mineralnego, cementu, środka zapobiegającego zdzieraniu, wody, spienionego asfaltu oraz włókna. Sposób polega na tym, do wytworzenia warstwy strukturalnej mieszaniny asfaltu spienionego, dawka wody mieszającej wynosi 4–5% całkowitej dawki kruszywa mineralnego, dawka spienionego asfaltu wynosi 2,5–3,5% całkowitej dawki kruszywa mineralnego, a całkowita ilość mieszanego włókna wynosi 0,35–0,45% całkowitej dawki kruszywa mineralnego.

Znane jest z przeglądu literatury „The Influence of a Polymer Powder on the Properties of a Cold-Recycled Mixture with Foamed Bitumen” P. Buczyński, M. Iwański, zastosowanie proszku polimerowego do mieszanki mineralno-cementowej z asfaltem spienionym. W publikacji opisano recyklowaną mieszankę ze stałą zawartością cementu portlandzkiego równą 3,0%, asfaltu spienionego 2,5% oraz proszku polimerowego w ilości 3,0%. Asfalt spieniony w mieszance zostaje rozproszony punktowo, natomiast emulsja asfaltowa tworzy gęstą sieć razem z drobnymi frakcjami mieszanki mineralnej, co wpływa korzystnie na pracę podbudowy drogowej.

Celem wynalazku jest opracowanie składu mieszanki mineralno-cementowej z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym przeznaczoną do podbudów drogowych. Rozwiązanie to korzystnie wpływa na uzyskanie lepszych parametrów jakościowych podbudowy drogowej w porównaniu do rozwiązań znanych ze stanu techniki. Poprawie ulegnie między innymi odporność na pośrednie rozciąganie, odporność na działanie wody oraz wody i mrozu.

Mieszanka mineralno-cementowa z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym przeznaczona do podbudów drogowych, zawierająca w swoim składzie cement portlandzki klasy I oraz zniszczone warstwy asfaltowe z mieszanek mineralno-asfaltowych i/lub materiał doziarniający

w postaci kruszywa naturalnego, sztucznego lub z recyklingu, charakteryzuje się tym, składa się z kruszywa naturalnego, sztucznego lub z recyklingu w ilości 88–98,5%, cementu portlandzkiego klasy I w ilość 0,5–3,5% wagowych, emulsji asfaltowej w ilości 0,5–5,0% wagowych oraz modyfikatora polimerowego, w postaci redyspergowalnego proszku polimerowego, będącego termoplastycznym kopolimerem polietylenu-co-octanu winylu, w ilości 0,5–3,5% wagowych w stosunku do masy mieszanki, korzystnie w ilości 2%, tak aby suma udziału procentowego poszczególnych składników w mieszance wynosiła 100%.

Wykorzystany modyfikator polimerowy to termoplastyczny kopolimer EVA (polietylen-co-ctan winylu). Dodawany jako biały proszek, który powstaje w wyniku odparowania wody z dyspersji polimerowej. Uzyskiwany jest w procesie suszenia rozpyłowego.

Skład chemiczny zastosowanego modyfikatora polimerowego przedstawiono w tabeli 1.

T a b e l a 1

| Składnik | Zawartość [%] |
|----------|---------------|
| C        | 67.66         |
| O        | 29.13         |
| Mg       | 0.52          |
| Si       | 1.65          |
| Ca       | 0.75          |
| Al       | 0.29          |

Podbudowę drogową z zastosowaniem mieszanki mineralno-cementowej z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym wykonuje się z zastosowaniem takich materiałów jak zniszczone warstwy asfaltowe z mieszanek mineralno-asfaltowych, materiał doziarniający w postaci kruszywa naturalnego, sztucznego lub z recyklingu, emulsji asfaltowej, cementu portlandzkiego klasy I, oraz modyfikatora polimerowego. Parametry kruszywa doziarniającego zestawiono w tabeli 2. Korzystnie, wszystkie wymienione składniki dozjuje się z dokładnością 10% w stosunku do założonego jednostkowego zużycia.

Tabela 2

| Lp. | Właściwości kruszywa                                                                                                                | Wymagania                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|     |                                                                                                                                     | KR1-KR2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | KR3-KR4                                                        |
| 1   | Zestaw sit #                                                                                                                        | 0,063; 0,125; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16; 22,4; 31,5; 63<br>(zestaw podstawowy plus zestaw 1)                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                |
| 2   | Uziarnienie według PN-EN 933-1, kategoria nie niższa niż                                                                            | G <sub>C</sub> 80/20<br>G <sub>F</sub> 80<br>G <sub>A</sub> 75                                                                                                                                                                                                                                                                  | G <sub>C</sub> 80/20<br>G <sub>F</sub> 80<br>G <sub>A</sub> 80 |
| 3   | Ogólne granice i tolerancje uziarnienia kruszywa grubego na sitach pośrednich wg PN-EN 933-1                                        | GT <sub>C</sub> 20/15                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                |
| 4   | Tolerancje typowego uziarnienia kruszywa drobnego i kruszywa o ciągłym uziarnieniu wg PN-EN 933-1                                   | GT <sub>F</sub> 10<br>GT <sub>A</sub> 20                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                |
| 5   | Kształt kruszywa według PN-EN 933-3 lub według PN-EN 933-4, kategoria nie wyższa niż                                                | FI <sub>50</sub><br>SI <sub>55</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                |
| 6   | Procentowa zawartość ziaren o powierzchni przekruszonej i łamanej według PN-EN 933-5; kategoria nie niższa niż                      | C <sub>50/30</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                |
| 7   | Zawartość pyłów według PN-EN 933-1; kategoria nie wyższa                                                                            | f <sub>16</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                |
| 8   | Jakość pyłów według PN-EN 933-9; kategoria nie wyższa                                                                               | MB <sub>F</sub> 10                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                |
| 9   | Odporność kruszywa na rozdrabnianie według PN-EN 1097-2, rozdział 5; badana na kruszywie o wymiarze 10/14, kategoria nie wyższa niż | LA <sub>40</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                |
| 10  | Odporność na ścieranie kruszywa grubego wg PN-EN                                                                                    | M <sub>DE</sub> Deklarowane                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                |
| 11  | Gęstość ziaren według PN-EN 1097-6, rozdz.7, 8 lub 9                                                                                | Deklarowana                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                |
| 12  | Nasiąkliwość według PN-EN 1097-6, rozdz. 7, 8 lub 9                                                                                 | WA <sub>242</sub> **                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | WA <sub>242</sub> *<br>*                                       |
| 13  | Gęstość nasypowa według PN-EN 1097-3                                                                                                | Deklarowana                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                |
| 14  | Mrozoodporność według PN-EN 1367-1 badana na kruszywie o wymiarze 8/16, kategoria nie wyższa niż                                    | -skały magmowe i przeobrażone:F4<br>-skały osadowe F10                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                |
| 15  | „Zgorzel słoneczna” bazaltu według PN-EN 1367-3, kategoria                                                                          | SB <sub>LA</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | SB <sub>LA</sub>                                               |
| 16  | Skład chemiczny - uproszczony opis petrograficzny według PN-EN 932-3                                                                | Deklarowana                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                |
| 17  | Grube zanieczyszczenia lekkie, według PN-EN 1744-1 p. 14.2; kategoria nie wyższa niż                                                | m <sub>LPC</sub> 0,1                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | m <sub>LPC</sub> 0,1                                           |
| 18  | Istotne cechy środowiskowe                                                                                                          | Większość substancji niebezpiecznych określonych w dyrektywie Rady 76/769/EWG zazwyczaj nie występują w źródłach kruszywa pochodzenia mineralnego. Jednak w odniesieniu do kruszyw sztucznych i odpadowych należy badać czy zawartość substancji niebezpiecznych nie przekracza wartości dopuszczalnych wg odrębnych przepisów. |                                                                |

Wprowadzenie na etapie wytwarzania do składu recyklowanej podbudowy modyfikatora polimerowego, według wynalazku, wpływa korzystnie na właściwości fizyczne oraz mechaniczne mieszanki. W efekcie modyfikator oraz emulsja asfaltowa powoduje zmniejszenie sztywności w stosunku do standardowej mieszanki zawierającej w składzie cement portlandzki oraz poprawę parametrów fizykomechanicznych mieszanki, jak wytrzymałość na rozciąganie, odporność na działanie wody oraz mrozu.

Mieszanke mineralno-cementową z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym można wykonać na dwa sposoby. Pierwszy z nich „in situ”, polega na wykonaniu podbudowy drogowej na miejscu, bez odwożenia materiałów z rozbiórki. Zniszczona podbudowa zostaje odciążona przez maszynę frezującą. Następnie rozkładane zostaje kruszywo doziarniające w odpowiedniej proporcji procentowej. Na tak przygotowaną mieszanke mineralną rozsypuje się cement oraz modyfikator polimerowy. Następnie maszyna mieszająca, wykonuje przejazd po przygotowanym podłożu, dozując do mieszanki emulsję asfaltową oraz wodę. Dalej tak wykonana podbudowa zostaje doprofilowana przez równiarkę oraz odpowiednio zagęszczona zestawem walcy drogowych.

Drugim sposobem wykonania podbudowy z modyfikatorem polimerowym, jest metoda „in plant”. Nawierzchnia zostaje rozebrana przy pomocy maszyny frezującej. Materiał z rozbiórki odwozi się na plac składowy. Tam w wytwórni stacjonarnej, miesza się destruk asfaltowy z ewentualnym kruszywem doziarniającym, cementem, emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym w odpowiednich proporcjach oraz przy zachowaniu wilgotności mieszanki. Następnie gotowy produkt dowozi się samochodami samowyladowczymi na budowę, rozkłada równiarką drogową lub układarką i odpowiednia dogęszcza zestawem walcy drogowych.

W obu przypadkach mieszanka mineralno-cementowa z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym (MCEP) wykonywana jest w temperaturze otoczenia, przy zachowaniu minimalnej temperatury +5°C. W przeciętnych warunkach warstwa podbudowy nie wymaga pielęgnacji. W przypadku, gdy temperatura otoczenia przy słonecznej pogodzie przekracza 28°C, podbudowę należy nie wcześniej niż po jednym dniu skrapiać wodą.

#### **P r z y k ł a d y w y k o n a n i a**

W pierwszym przykładzie wykonania mieszanka mineralno-cementowa z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym, przeznaczona do podbudów drogowych zawiera następujące składniki: kruszywo z recyklingu w ilości 46,8%, pochodzące z rozbiórki starych warstw nawierzchni, oraz kruszywo doziarniające w ilości 46,7%. Mieszanka mineralno-cementowa z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym, zawiera również cement portlandzki klasy I o wytrzymałości 42,5 (zgodny z normą EN 197-1) o przyspieszonym początkowym czasie wiązania "R" w ilość 2,0%, emulsję asfaltową wolnorozpadową C60B10 R w ilości 2,5% oraz modyfikator polimerowy w postaci proszku polimerowego (PP), jakim jest termoplastyczny kopolimer polietylenu-co-octanu winylu w ilości 2,0%. Skład modyfikatora polimerowego przedstawiono w tab. 1.

Sposób wytwarzania podbudowy polimerowej polega na tym, że najpierw przygotowuje się dokładną receptę mieszanki mineralno-cementowej z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym. Udział destruktu asfaltowego, kruszywa naturalnego o ciągłym uziarnieniu (materiał doziarniający), zaprojektowany tak aby krzywa uziarnienia znajdowała się pomiędzy punktami kontrolnymi jak w tabeli 5. Proces przygotowania recepty mieszanki jest następujący:

- oznaczenie zawartości lepiszcza w destrukcie asfaltowym na podstawie badania ekstrakcji,
- wykonanie analizy sitowej (na mokro) mieszanki mineralnej oraz sprawdzenie, czy jej uziarnienie mieści się w polu ograniczonym krzywymi granicznymi tabela 3,
- dobór ilości cementu, zalecana zawartość powinna wynosić od 0,5% do 3,5% (m/m),
- dobór ilości emulsji asfaltowej, zalecane od 0,5% do 5,0% (m/m)),
- dobór ilości modyfikatora polimerowego, zalecana ilość od 0,5% do 3,5% (m/m),
- zaprojektowanie składu mieszanki mineralno-cementowej z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym,
- oznaczenie wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości objętościowej mieszanki mineralno-cementowej wg metody Proctora.

Tabela 3

| Sito # [mm] | % masy przechodzącej przez sito |
|-------------|---------------------------------|
| 63,0        | 100                             |
| 31,5        | 80 – 100                        |
| 20,0        | 66 – 100                        |
| 16,0        | 60 – 100                        |
| 8,0         | 44 – 100                        |
| 4,0         | 32 – 82                         |
| 2,0         | 23 – 63                         |
| 1,0         | 17 – 50                         |
| 0,5         | 12 – 40                         |
| 0,125       | 5 – 25                          |
| 0,063       | 4 – 20                          |

W recyklowanej mieszance należy zastosować emulsję asfaltową w ilości od 0,5% do 5,0%, a zawartość cementu oraz modyfikatora polimerowego musi się mieścić w przedziale od 0,5% do 3,5%. Należy również określić wilgotność mieszanki, którą określa się w oparciu o wilgotność optymalną mieszanki mineralno-spoiwowej wyznaczoną w badaniu Proctora zgodnie z normą PN-EN 13286-2: „Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym. Część 2: Metody określania gęstości i zawartości wody. Zagęszczanie metodą Proctora”. Destrukt asfaltowy, materiał doziarniający (kruszywo naturalne, sztuczne lub z recyklingu) należy dozować z dokładnością 15%, emulsję asfaltową z dokładnością 10% w stosunku do założonego jednostkowego zużycia.

W ramach badań nad mieszanką, będącą przedmiotem wynalazku, wykonano mieszankę mineralno-cementową z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym. Składniki miesza się przez 5 minut przy wilgotności optymalnej, a następnie z gotowej i jednorodnej mieszanki odważa się taką ilość materiału, która zapewni uzyskanie maksymalnej gęstości objętościowej. Próbkę zagęszcza się w ubijaku Marshalla (wg PN-EN 12697-30) w formie  $\varnothing$  100 mm. Wysokość docelowa próbki musi być równa 62,5 mm  $\pm$  5%. Próbkę przechowuje się przez okres 28 dni, ułożone na płaskiej powierzchni w pomieszczeniu o wilgotności względnej od 40% do 70% i temperaturze  $+20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Korzystając z narzuconych przez plan eksperymentu Boxa-Behnkena mieszaniny składników recyklowanej mieszanki, sporządzono serię próbek laboratoryjnych z odpowiednią, dla założonego przedziału ufności, liczbą ich replikacji. Celem tego działania było wskazanie pozytywnego oddziaływania modyfikatora polimerowego oraz emulsji asfaltowej na mieszankę polimerową. Wykonanie serii badań miało również na celu wskazanie kompozycji składników recyklowanej mieszanki mineralno-cementowej z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym o najlepszych walorach użytkowych. Do analizy wykorzystano badania, które najlepiej definiują właściwości fizykomechaniczne recyklowanej mieszanki z modyfikatorem polimerowym. Parametry mieszanek, będących przedmiotem badań określono poprzez:

- nasiąkliwość,
- wytrzymałość na pośrednie rozciąganie ITSdry,
- odporność na działanie wody TSR,
- odporność na działanie wody i mrozu ITSR.

W tabeli 4 zestawiono rezultaty przeprowadzonych badań, które pozwalają wskazać słuszność stosowania modyfikatora polimerowego do mieszanki mineralno-cementowej z emulsją asfaltową.

Tabela 4

| Mieszanka      | n <sub>w</sub> [%] | ITS <sub>DRY</sub> [kPa] | TSR [%] | ITSR [%] |
|----------------|--------------------|--------------------------|---------|----------|
| 0.5C-0.5P-2.5E | 2.92               | 396.85                   | 78.11   | 50.83    |
| 2.0C-0.5P-5.0E | 2.74               | 644.42                   | 85.49   | 61.32    |
| 3.5C-0.5P-2.5E | 1.62               | 1608.69                  | 95.36   | 83.98    |
| 0.5C-2.0P-5.0E | 2.41               | 333.55                   | 88.45   | 42.28    |
| 2.0C-2.0P-2.5E | 2.81               | 714.88                   | 80.01   | 79.88    |
| 3.5C-2.0P-5.0E | 1.31               | 1163.31                  | 92.68   | 74.48    |
| 0.5C-3.5P-2.5E | 3.26               | 278.64                   | 91.76   | 61.55    |
| 2.0C-3.5P-5.0E | 3.10               | 370.81                   | 96.97   | 67.72    |
| 3.5C-3.5P-2.5E | 2.02               | 1226.37                  | 66.25   | 71.38    |

Modyfikator polimerowy poprawia parametr nasiąkliwości recyklowanej mieszanki mineralno-cementowo-emulsyjnej. Najkorzystniejsze rezultaty uzyskano w podbudowach z polimerem na poziomie 0,5%–2,0% wagowo. Cement razem z polimerem oraz emulsją asfaltową uszczelniają strukturę mieszanki, ograniczając tym samym chłonięcie wody z otoczenia.

Czynnikiem, który głównie wpływa na wytrzymałość na pośrednie rozciąganie mieszanki ITS<sub>dry</sub> jest zawartość cementu w recyklowanej mieszance. Warto jednak zauważyć, że wzrost zawartości modyfikatora polimerowego od 0,5% do 2,0%, przy stałej ilości cementu, powoduje przyrost wytrzymałości na pośrednie rozciąganie o około 10%, z 645 kPa na 715 kPa.

Dla wartości wskaźnika TSR, najistotniejszym czynnikiem jest stosunek ilości cementu oraz modyfikatora polimerowego w recyklowanej mieszance mineralno-cementowej z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym. Prawie wszystkie rozpatrywane mieszanki uzyskały wynik powyżej 80%. Odpowiednia ilość spoiw, to jest cementu i modyfikatora polimerowego oraz emulsji asfaltowej wpływa na zwiększenie wskaźnika TSR. Mieszanki mineralno-cementowe z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym uzyskały wartości powyżej 90%. Miało to miejsce dla recept, które w swoim składzie posiadały cement oraz modyfikator polimerowy w ilości między 0,5% do 3,5%. Można zauważyć uzupełnianie się dwóch wymienionych spoiw.

Na rysunku przedstawiono wykresy powierzchni odpowiedzi stworzone dla parametru TSR, przy obecności polimeru w podbudowie odpowiednio: a) 0,5%, b) 2,0% oraz c) 3,5%.

Wielkość wskaźnika odporności na działanie wody i mrozu ITSR również uzależniona jest od ilości cementu oraz modyfikatora polimerowego w mieszance. Najkorzystniejsze rezultaty uzyskiwane są przy zawartości cementu na poziomie 2,0%–3,5% oraz modyfikatora polimerowego 0,5%–2,0%.

Dla wskazania słuszności stosowania mieszanki mineralno-cementowej z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym, porównano jej parametry ze znaną z publikacji „The Influence of a Polymer Powder on the Properties of a Cold-Recycled Mixture with Foamed Bitumen” P. Buczyńskiego mieszanką mineralno-cementową z asfaltem spienionym, również modyfikowaną polimerem. W obu przypadkach mieszanki zawierały w składzie 3,0% cementu portlandzkiego, 3,0% modyfikatora polimerowego, oraz 2,5% czystego asfaltu, co w mieszance z emulsją przełożyło się na zawartość emulsji na poziomie 4,2%. Rezultaty przedstawiono poniżej w Tabeli 5.

Tabela 5

| Parametr                 | MCEP | MCAS+P |
|--------------------------|------|--------|
| V <sub>m</sub> [%]       | 12,9 | 9,5    |
| n <sub>w</sub> [%]       | 1,9  | 2,6    |
| ITS <sub>dry</sub> [kPa] | 911  | 1046   |
| TSR [%]                  | 85,0 | 41,0   |
| ITSR [%]                 | 79,0 | 37,0   |

Analizując przedstawione w Tabeli 5 rezultaty widać słuszność stosowania mieszanki mineralno-cementowej z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym. Mieszanka tego typu posiada dwukrot-



nie większą odporność na działanie wody oraz wody i mrozu, niż mieszanka posiadająca w swoim składzie asfalt spieniony oraz modyfikator polimerowy. Podbudowa wykonana z użyciem mieszanki mineralno-cementowej z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym odznacza się również mniejszą nasiąkliwością, co również przyczynia się do wyższej odporności na oddziaływanie wody oraz wody i mrozu. Mieszanka MCEP posiada minimalnie mniejszą wytrzymałość na pośrednie rozciąganie ITSdry, niż bliźniacza podbudowa z mieszanki MCAS+P. Oznacza to ograniczenie sztywności podbudowy drogowej przez zastosowanie emulsji oraz modyfikatora polimerowego. Asfalt spieniony w mieszance powoduje jej usieciowienie, co przedkłada się wyższą odpornością na pośrednie rozciąganie, oraz mniejszą zawartością wolnych przestrzeni.

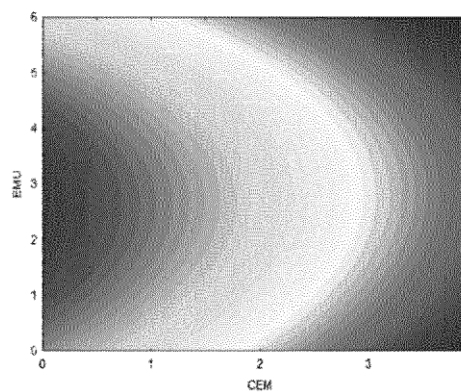
Sugerując się rezultatami wykonanych badań można twierdzić, że modyfikator polimerowy oraz emulsja asfaltowa po pierwsze uszczelniają mieszankę, zmniejszając jej nasiąkliwość. Jest to istotna zależność z uwagi na umiejscowienie mieszanki mineralno-cementowej z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym w pakiecie warstw konstrukcyjnych. Podbudowa drogowa narażona jest na podciąganie wody z podłoża. Modyfikator polimerowy obniża również sztywność podbudowy wykonanej w technologii recyklingu głębokiego na zimno, co pomaga przeciwdziałać wystąpieniu spękań odbitych. Spękania tego typu często przenoszą się przez wszystkie warstwy nawierzchni, aż do warstwy ścieralnej. Podbudowa drogowa wykonana z zastosowaniem mieszanki mineralno-cementowej z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym odznacza się wysoką odpornością na działanie wody oraz wody i mrozu. To bardzo istotna zależność dla podbudowy konstrukcji drogowej, która narażona jest oddziaływanie czynników ze środowiska, wody oraz wahań i spadków temperatury otoczenia.

### Zastrzeżenie patentowe

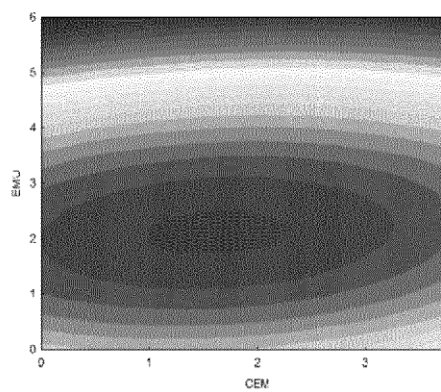
1. Mieszanka mineralno-cementowa z emulsją asfaltową i modyfikatorem polimerowym, przeznaczona do podbudów drogowych, zawierająca w swoim składzie cement portlandzki oraz kruszywo naturalne, sztuczne lub z recyklingu, **znamienna tym**, że składa się z kruszywa naturalnego, sztucznego lub z recyklingu w ilości 88–98,5%, cementu portlandzkiego klasy I w ilość 0,5–3,5% wagowych, emulsji asfaltowej w ilość 0,5–5,0% wagowych oraz modyfikatora polimerowego, w postaci redyspersywalnego proszku polimerowego, będącego termoplastycznym kopolimerem polietylenu-co-octanu winylu, w ilości 0,5–3,5% wagowych w stosunku do masy mieszanki, korzystnie w ilości 2%, tak aby suma udziału procentowego poszczególnych składników w mieszance wynosiła 100%.

**Rysunek**

a)



b)



c)

