

(19)



URZĄD  
PATENTOWY  
RZECZYPOSPOLITEJ  
POLSKIEJ

(10)

**PL 243081 B1**

(12)

## Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **431068**

(22) Data zgłoszenia: **2019.09.06**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2021.03.08 BUP 05/2021**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.06.19 WUP 25/2023**

(51) MKP:

**E01C 3/00** (2006.01)

**E01C 7/00** (2006.01)

**C04B 28/04** (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA ŚWIĘTOKRZYSKA, Kielce, PL**  
**BUDOWNICTWO DROGOWE BUDAR SPÓŁKA**  
**Z OGRANICZONĄ ODPOWIEDZIALNOŚCIĄ,**  
**Królewiec Poprzeczny, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**PRZEMYSŁAW BUCZYŃSKI, Pieradła, PL**  
**MAREK IWAŃSKI, Kielce, PL**  
**GRZEGORZ MAZUREK, Kielce, PL**

(74) Pełnomocnik:

**Kamil Kot, Kielce, PL**

(54) Tytuł:

**Spoivo hydrauliczne do wytwarzania podbudowy drogowej, sposób otrzymywania spoiwa hydraulicznego do wytwarzania podbudowy drogowej oraz sposób wytwarzania recyklowanej podbudowy drogowej z zastosowaniem spoiwa hydraulicznego**

**PL 243081 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest spoiwo hydrauliczne do wytwarzania podbudowy drogowej, sposób otrzymywania spoiwa hydraulicznego do wytwarzania podbudowy drogowej oraz sposób wytwarzania recyklowanej podbudowy drogowej z zastosowaniem spoiwa hydraulicznego. Rozwiązanie znajduje zastosowania zwłaszcza do wytwarzania podbudowy drogowej w technologii głębokiego recyklingu na zimno z asfaltem spienionym.

Technologia recyklingu głębokiego na zimno z asfaltem spienionym jest stosowana do wytwarzania podbudowy drogowej w ramach przebudowy lub remontu nawierzchni drogowych. Tradycyjne składniki stosowane w składzie recyklowanej mieszanki mineralno-cementowej z asfaltem spienionym to destrukta asfaltowy, czyli zniszczone warstwy asfaltowe z mieszanek mineralno-asfaltowych, kruszywo naturalne, sztuczne lub z recyklingu, lepiszcze asfaltowe tj. asfalt spieniony oraz cement portlandzki.

Skład recyklowanej podbudowy z asfaltem spienionym 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, poprzez analizę literatury i wytycznych wskazuje, że wymagane jest stosowanie w składzie podbudowy recyklowanej z asfaltem spienionym jedynie cementu portlandzkiego. Taki rodzaj spoiwa hydraulicznego generuje duże ryzyko wystąpienia przeszytnienia podbudowy i wystąpienia spękań skurczowych. Ich obecność może się objawiać, jako liczne spękania odbite, pęknięcia poprzeczne występujące w regularnych odstępach na całej szerokości warstwy ścieralnej, które mogą zostać przeniesione na warstwy z mieszanek mineralno-asfaltowych. Dlatego też niezbędne jest opracowanie dedykowanego spoiwa hydraulicznego do podbudów drogowych wykonywanych w technologii recyklingu głębokiego na zimno z asfaltem spienionym, którego skład pozwoli na zachowanie wymaganej nośności podbudowy i przy jednoczesnym ograniczaniu jej sztywności (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 spoiwa 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 oraz kamienia gipsowego w ilości 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 przywęglowych, 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 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 podłoże jest przejmowanie obciążeń od pojazdów i przenoszenie ich w sposób rozproszony na

rodzime podłoże 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 podłoże dla kategorii ruchu KR1-KR6; podłoże 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 mb 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 lotnych. Spoiwo rozkłada się z dokładnością 15% w stosunku do założonego jednostkowego zużycia.

Stosowanie rekomendowanego spoiwa tj. cementu portlandzkiego w podbudowach drogowych z asfaltem spienionym, 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, że 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.

Celem wynalazku jest opracowanie składu spoiwa hydraulicznego, sposobu jego wytwarzania oraz sposobu wytwarzania recyklowanej podbudowy drogowej z zastosowaniem takiego spoiwa hydraulicznego, które to rozwiązania wpłyną na uzyskanie lepszych parametrów jakościowych podbudowy drogowej w porównaniu do rozwiązań znanych ze stanu techniki.

Spoiwo hydrauliczne stosowane do wytwarzania podbudowy drogowej, zawierające w swoim składzie cement portlandzki oraz wapno hydratyzowane, charakteryzuje się tym, że składa się z cementu portlandzkiego klasy I w ilości 20–70% wagowych, wapna hydratyzowanego  $\text{Ca(OH)}_2$  o zawartości  $\text{CaO}+\text{MgO} \geq 90\%$ , w ilości 10–60% wagowych oraz ubocznych cementowych produktów pylastych o zawartości:  $\text{SiO}_2 \geq 17,0\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 3,5\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 2,0\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} \leq 6,8\%$ , w ilości 20–40% wagowych, przy czym suma udziału procentowego poszczególnych składników w spoiwie wynosi 100%.

Sposób otrzymywania spoiwa hydraulicznego, stosowanego do wytwarzania podbudowy drogowej, zawierającego cement portlandzki oraz wapno hydratyzowane, charakteryzuje się tym, że miesza się cement portlandzki klasy I w ilości 20–70% wagowych, wapno hydratyzowane  $\text{Ca(OH)}_2$  o zawartości  $\text{CaO}+\text{MgO} > 90\%$ , w ilości 10–60% wagowych oraz uboczne cementowe produkty pylaste o zawartości:  $\text{SiO}_2 \geq 17,0\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 3,5\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 2,0\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} \leq 6,8\%$ , w ilości 20–40% wagowych, przy czym suma udziału procentowego poszczególnych składników w mieszance wynosi 100%, a następnie wymieszane składniki mieli się ze sobą, aż do uzyskania jednolitej frakcji o powierzchni właściwej 5000 cm<sup>2</sup>/g z dokładnością do 12% według Bierne'a.

Sposób wytwarzania recyklowanej podbudowy drogowej z zastosowaniem spoiwa hydraulicznego oraz materiałów w postaci, zniszczonych warstw asfaltowych z mieszanek mineralno-asfaltowych, materiału doziarniającego w postaci kruszywa naturalnego, sztucznego lub z recyklingu oraz asfaltu

spienionego, charakteryzuje się tym, że miesza się ze sobą cement portlandzki klasy I w ilości 20–70% wagowych, wapno hydratyzowane  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  o zawartości  $\text{CaO} + \text{MgO} \geq 90\%$ , w ilości 10–60% wagowych oraz uboczne cementowe produkty pyłaste o zawartości:  $\text{SiO}_2 \geq 17,0\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 3,5\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 2,0\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} \leq 6,8\%$ , w ilości 20–40% wagowych, przy czym suma udziału procentowego poszczególnych składników wynosi 100%, a następnie wymieszane składniki mieli się ze sobą, aż do uzyskania jednolitej frakcji o powierzchni właściwej  $5000 \text{ cm}^2/\text{g}$  z dokładnością do 12% według Bleine'a, z których powstaje spoiwo hydrauliczne, a następnie zagęszcza się warstwę podbudowy równomiernie, zgodnie z kierunkiem podłużnym wykonywanego pasa. Zagęszczenie warstwy podbudowy rozpoczyna się walcem okółkowanym o masie co najmniej 18 ton, a następnie walcem ogumionym o masie nie mniejszej od 14 ton, zaś po wstępnym zagęszczeniu wykonuje się profilowanie warstwy, po czym warstwę dogęszcza się i wyrównuje tandemowym walcem stalowym, wibracyjnym, ciężkim, a następnie wykonuje się zagęszczanie końcowe walcem ogumionym, przy czym spoiwo hydrauliczne dozuje się z dokładnością 10% w stosunku do założonego jednostkowego zużycia. W recyklowanej mieszance stosuje się asfalt spieniony w ilości od 1,2% do 3,6%, a zawartość spoiwa hydraulicznego stosuje się w przedziale od 1,0% do 3,0%, zaś destrukta asfaltowy, materiał doziarniający, to jest kruszywo naturalne, sztuczne lub z recyklingu, dozuje się z dokładnością 15%. Wprowadzenie na etapie wytwarzania do składu recyklowanej podbudowy spoiwa hydraulicznego o składzie według wynalazku, wpływa korzystnie na przebieg procesów wiązania. W efekcie niniejszy dodatek powoduje zmniejszenie sztywności w stosunku do mieszanki kontrolnej zawierającej w składzie cement portlandzki.

#### Przykłady wykonania

##### Spoiwo hydrauliczne do wytwarzania podbudowy drogowej

W pierwszym przykładzie wykonania spoiwo hydrauliczne do wytwarzania podbudowy drogowej zawiera następujące składniki: cement portlandzki klasy I o wytrzymałości 32,5 (zgodny z normą EN 197-1) o przyspieszonym początkowym czasie wiązania "R" w ilości 70%, wapno hydratyzowane  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  o zawartości  $\text{CaO} + \text{MgO} \geq 90\%$  w ilości 10% oraz uboczne cementowe produkty pyłaste UCPP, które otrzymywane są w procesie produkcji cementu, o zawartości:  $\text{SiO}_2 \geq 17,0\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 3,5\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 2,0\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} \leq 6,8\%$ , w ilości 20%, jak pokazano w tabeli 1 „skład 1”.

Kolejne przykładowe zawartości procentowych składników spoiwa hydraulicznego, do wytwarzania podbudowy drogowej, przedstawiono w następnych pozycjach tabeli 1. Suma składników w poszczególnych składach od 1 do 6 równa jest 100%.

Tabela 1

|                                           | Wapno $\text{Ca}(\text{OH})_2$<br>[%] | CEM I 32,5R<br>[%] | UCPP<br>[%] |
|-------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|-------------|
| Skład 1                                   | 10                                    | 70                 | 20          |
| Skład 2                                   | 60                                    | 20                 | 20          |
| Skład 3                                   | 10                                    | 60                 | 30          |
| Skład 4                                   | 40                                    | 30                 | 30          |
| Skład 5                                   | 20                                    | 40                 | 40          |
| Skład 6                                   | 30                                    | 30                 | 40          |
| UCPP - uboczne cementowe produkty pyłaste |                                       |                    |             |

Spoiwo hydrauliczne pokazane w przykładach wykonania od 1 do 6 (zestawienie w tabeli 1) zastosowano w technologii recyklingu głębokiego na zimno z asfaltem spienionym. Przedstawione kompozycje charakteryzowały się stałością objętości (wg EN 196-3) poniżej 30 mm.

##### Sposób otrzymywania spoiwa hydraulicznego do wytwarzania podbudowy drogowej

Sposób otrzymywania spoiwa hydraulicznego do wytwarzania podbudowy drogowej polega na tym, że składniki spoiwa hydraulicznego o udziale procentowym według któregośkolwiek z przykładów zastosowania od 1–6 wymienionego w tabeli 1, miesza się ze sobą, a następnie miele się w młynie bębnowo-kulowym do uzyskania powierzchni właściwej  $5000 \text{ cm}^2/\text{g} \pm 12\%$  wg Bleine'a.

### Sposób wytwarzania recyklowanej podbudowy drogowej z zastosowaniem spoiwa hydraulicznego

Sposób wytwarzania recyklowanej podbudowy drogowej polega na tym, że przygotowuje się mieszankę mineralną z asfaltem spienionym z udziałem destruktu asfaltowego, kruszywa naturalnego o ciągłym uziarnieniu (materiał doziarniający) tak, aby krzywa uziarnienia znajdowała się pomiędzy punktami kontrolnymi jak w tabeli 2. Proces przygotowania 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 2,
- dobór ilości środków wiążących (zalecana zawartość cementu powinna wynosić od 1,0% do 3,0% (m/m), natomiast asfaltu spienionego od 1,2% do 3,6% (m/m)),
- zaprojektowanie składu mieszanki mineralno-cementowej,
- oznaczenie wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości objętościowej mieszanki mineralno-cementowej wg metody Proctora,
- wykonanie próbek w formach typu Marshalla z mieszanki MCAS.

Tabela 2

| 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 asfalt spieniony w ilości od 1,2% do 3,6%, a zawartość spoiwa hydraulicznego musi się mieścić w przedziale od 1,0% do 3,0%. 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%, asfalt spieniony z dokładnością 10% w stosunku do założonego jednostkowego zużycia.

Mieszankę mineralno-spoiwową z asfaltem spienionym 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 prasie żyratorowej (wg PN-EN 12697-31) w formie  $\varnothing$  150 mm. Wysokość docelowa próbki musi być równa 180 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°C  $\pm$  5°C.

Korzystając z narzuconych przez sympleksowy plan eksperymentu mieszaniny spoiwa mieszanego przedstawionego w tabeli 1, sporządzono dla nich serię próbek laboratoryjnych z odpowiednią, dla założonego przedziału ufności, liczbą ich replikacji. Celem tego działania było zainicjowanie procesu optymalizacji stanowiącego podstawowe narzędzie poszukiwania kompozycji spoiwa mieszanego o najlepszych walorach użytkowych. Do analizy wykorzystano badania te, które wcześniej zdefiniowano, jako mające największy wpływ na reologię mieszanki recyklowanej z dodatkiem spoiwa mieszanego. Zmiany reologiczne mieszanki recyklowanej określono za pomocą następujących parametrów:

- moduł dynamiczny  $|E^*|$  według PN-EN 12697-26D,
- kąt przesunięcia fazowego  $\delta$  według PN-EN 12697-26D,
- stałość objętości spoiwa według w pierścieniach Le Chateliera PN-EN 196-3.

Efektem końcowym było zbudowanie nomogramu rozwiązań dopuszczalnych w skali znormalizowanej. Nomogram pozwala na odczytanie poziomu efektywności wpływu kompozycji przedmiotowego spoiwa mieszanego w skali od 0 (nieakceptowane) do 1 (najkorzystniejsze). Celem optymalizacji było wskazanie przestrzeni rozwiązań przedmiotowego składu spoiwa (tabela 3), dla której recyklowana mieszanka będzie odznaczać się zmniejszoną sztywnością przy zachowaniu jej maksymalnej sprężystości ( $\delta \rightarrow \min$ ). Ponadto, warunkiem dodatkowym było również spełnienie warunku, że stałość objętości zaprawy wykonanej dla danej kompozycji spoiwa będzie  $< 30$  mm. Optymalizację wykonano dla następującego zbioru kryteriów (tabela 3).

Tabela 3

| Parametr                            | Kryterium                                      |
|-------------------------------------|------------------------------------------------|
| Moduł dynamiczny, $ E^* $           | $4500 \text{ MPa} <  E^*  < 10000 \text{ MPa}$ |
| Kąt przesunięcia fazowego, $\delta$ | Minimum                                        |
| Stałość objętości spoiwa            | $< 30 \text{ mm}$                              |

Nomogram określający obszary zalecane dla stosowania danego spoiwa mieszanego przedstawiono na rysunku.

Kompozycje znajdujące się wewnątrz obszaru nomogramu, dla których wynik optymalizacji wynosił  $U_{III} > 0,67$  (obszar wewnątrz linii przerywanej) reprezentują mieszankę recyklowaną o właściwościach wysoce satysfakcjonujących spełniającą założone kryteria, powyżej założonej wartości minimalnej określonej przez kryteria, opierając się na skali funkcji użyteczności Harringtona. Natomiast rozwiązania optymalizacji wewnątrz obszaru, w którym wyniki optymalizacji wynosiły  $U_{III} > 0,37$  (ograniczonego linią ciągłą) reprezentują rozwiązania satysfakcjonujące, wciąż użyteczne, lecz znajdujące się blisko wartości granicznych przyjętych w tabeli 3. Wyniki optymalizacji  $U_{III} < 0,37$  uznano jako nieakceptowane. Na podstawie nomogramu odczytano kompozycję spoiwa, która najkorzystniej wpłynęła na właściwości mieszanki recyklowanej względem kryteriów w tabeli 3. Niniejsze rozwiązanie uzyskało bardzo wysoki wynik funkcji użyteczności ( $U_{III}$ ) równy 0,92, stanowiący tym samym o wysokich walorach użytkowych mieszanki recyklowanej. Wspomniane rozwiązanie przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4

| Parametr                            | Wynik użyteczności $U_{III} = 0,92$                    |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Udział procentowy składników        | Wapno hydratyzowane ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) = 24% |
|                                     | Cement = 56%                                           |
|                                     | UCPP = 20%                                             |
| Moduł dynamiczny, $ E^* $           | 6801 MPa                                               |
| Kąt przesunięcia fazowego, $\delta$ | $8,1^\circ$                                            |
| Stałość objętości spoiwa            | 9,9 mm                                                 |

Sugerując się rezultatami wykonanej optymalizacji zawartej w nomogramie (rysunek) zdefiniowano ostatecznie rozwiązania składu mieszanego spoiwa hydraulicznego, gwarantujące uzyskanie założonych, co najmniej na poziomie satysfakcjonującym (użytkowym), wyników odnoszących się, do jakości mieszanki recyklowanej przeznaczonej do podbudowy drogowej. Wyniki optymalizacji pozwalają na zastosowanie pyłów UCPP w ilości, co najmniej 40% w składzie spoiwa mieszanego w mieszance recyklowanej. Niniejsze rezultaty przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5

|                                           | Wapno $\text{Ca}(\text{OH})_2$<br>[%] | CEM I 32,5R<br>[%] | UCPP<br>[%] | $E^*$ [MPa] |
|-------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------|-------------|-------------|
| Referencyjna                              | 0                                     | 100                | 0           | 10260       |
| Skład 1                                   | 10                                    | 70                 | 20          | 6903        |
| Skład 2                                   | 60                                    | 20                 | 20          | 6170        |
| Skład 3                                   | 10                                    | 60                 | 30          | 6690        |
| Skład 4                                   | 40                                    | 30                 | 30          | 6371        |
| Skład 5                                   | 20                                    | 40                 | 40          | 6539        |
| Skład 6                                   | 30                                    | 30                 | 40          | 6431        |
| UCPP - uboczne cementowe produkty pyłaste |                                       |                    |             |             |

Po wytworzeniu mieszanki zagęszczenie warstwy podbudowy powinno być równomierne i zgodne z kierunkiem podłużnym wykonywanego pasa. Wilgotność mieszanki MCAS podczas zagęszczania powinna odpowiadać wilgotności optymalnej  $\pm 10\%$  określonej według metody Proctora zgodnie z PN-EN 13286-2. Zagęszczenie warstwy rozpoczyna się walcem okołkowanym o masie co najmniej 18 ton, a następnie ogumionym o masie nie mniejszej niż 14 ton. Po wstępnym zagęszczeniu należy wykonać profilowanie warstwy w celu nadania wymaganych spadków oraz wymaganych równości. W drugiej kolejności warstwę dogęszcza się i wyrównuje tandemowym walcem stalowym, wibracyjnym ciężkim. W celu osiągnięcia zalecanego "zamknięcia" powierzchni warstwy, końcowe zagęszczanie powinno być wykonane walcem ogumionym. Należy unikać skrapiania wodą wałów i kół walców.

Wykonanie recyklingu na miejscu "in plant" może odbywać się przy użyciu samobieżnej maszyny frezująco-mieszającej o sprawnych systemach automatycznego sterowania i dozowania natomiast w przypadku wykonania podbudowy w wytwórni "in plant" należy wykorzystać wytwórnię stacjonarną.

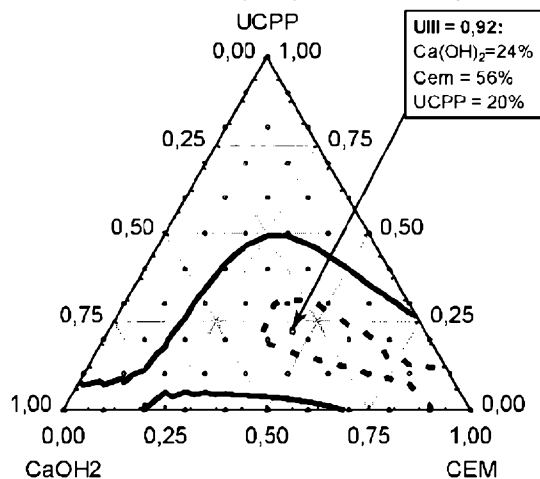
W przeciętnych warunkach warstwa podbudowy nie wymaga pielęgnacji. W przypadku, gdy temperatura otoczenia przy słonecznej pogodzie przekracza  $28^{\circ}\text{C}$ , podbudowę należy nie wcześniej niż po jednym dniu skrapiać wodą.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Spoiwo hydrauliczne stosowane do wytwarzania podbudowy drogowej, zawierające w swoim składzie cement portlandzki oraz wapno hydratyzowane, **znamiennie tym**, że składa się z cementu portlandzkiego klasy I w ilości 20–70% wagowych, wapna hydratyzowanego  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  o zawartości  $\text{CaO} + \text{MgO} \geq 90\%$ , w ilości 10–60% wagowych oraz ubocznych cementowych produktów pylistych o zawartości:  $\text{SiO}_2 \geq 17,0\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 3,5\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 2,0\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} \leq 6,8\%$ , w ilości 20–40% wagowych, przy czym suma udziału procentowego poszczególnych składników w spoiwie wynosi 100%.
2. Sposób otrzymywania spoiwa hydraulicznego, stosowanego do wytwarzania podbudowy drogowej, zawierającego cement portlandzki oraz wapno hydratyzowane, **znamiennie tym**, że miesza się cement portlandzki klasy I w ilości 20–70% wagowych, wapno hydratyzowane  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  o zawartości  $\text{CaO} + \text{MgO} \geq 90\%$ , w ilości 10–60% wagowych oraz uboczne cementowe produkty pyliste o zawartości:  $\text{SiO}_2 \geq 17,0\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 3,5\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 2,0\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} \leq 6,8\%$ , w ilości 20–40% wagowych, przy czym suma udziału procentowego poszczególnych składników w mieszance wynosi 100%, a następnie wymieszane składniki mieli się ze sobą, aż do uzyskania jednolitej frakcji o powierzchni właściwej  $5000 \text{ cm}^2/\text{g}$  z dokładnością do 12% według Bierne'a.
3. Sposób wytwarzania recyklowanej podbudowy drogowej z zastosowaniem spoiwa hydraulicznego oraz materiałów w postaci zniszczonych warstw asfaltowych z mieszanek mineralno-asfaltowych, materiału doziarniającego w postaci kruszywa naturalnego, sztucznego lub z recyklingu oraz asfaltu spienionego, **znamiennie tym**, że miesza się ze sobą cement portlandzki klasy I w ilości 20–70% wagowych, wapno hydratyzowane  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  o zawartości  $\text{CaO} + \text{MgO} \geq 90\%$ , w ilości 10–60% wagowych oraz uboczne cementowe produkty pyliste o zawartości:  $\text{SiO}_2 \geq 17,0\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 3,5\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 2,0\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} \leq 6,8\%$ , w ilości 20–40% wagowych, przy czym suma udziału procentowego poszczególnych składników wynosi 100%, a następnie wymieszane składniki mieli się ze sobą, aż do uzyskania jednolitej frakcji o powierzchni właściwej  $5000 \text{ cm}^2/\text{g}$  z dokładnością do 12% według Bleine'a, z których powstaje spoiwo hydrauliczne, a następnie zagęszcza się warstwy podbudowy równomiernie, zgodnie z kierunkiem podłużnym wykonywanego pasa, przy czym zagęszczenie warstwy podbudowy rozpoczyna się walcem okołkowanym o masie co najmniej 18 ton, a następnie walcem ogumionym o masie nie mniejszej od 14 ton, zaś po wstępnym zagęszczeniu wykonuje się profilowanie warstwy, po czym warstwę dogęszcza się i wyrównuje tandemowym walcem stalowym, wibracyjnym, ciężkim, a następnie wykonuje się zagęszczanie końcowe walcem ogumionym, przy czym spoiwo hydrauliczne dozuje się z dokładnością 10% w stosunku do założonego jednostkowego zużycia, przy czym w recyklowanej mieszance stosuje się asfalt spieniony w ilości od 1,2% do 3,6%, a zawartość spoiwa hydraulicznego stosuje się w przedziale od 1,0% do 3,0%, zaś destrukta asfaltowy, materiał doziarniający, to jest kruszywo naturalne, sztuczne lub z recyklingu, dozuje się z dokładnością 15%.

## Rysunek

Nomogram użyteczność spoiwa (U<sub>III</sub>)

$$U_{III} = 0,6252 \cdot x + 0,793 \cdot y + 0,2177 \cdot z - 1,7692 \cdot x \cdot y - 2,7 \cdot x \cdot z - 2,2939 \cdot y \cdot z - 0,087 \cdot x \cdot y \cdot (x - y) - 0,5553 \cdot x \cdot z \cdot (x - z) + 1,9944 \cdot y \cdot z \cdot (y - z) + 21,5999 \cdot x \cdot y \cdot z$$


--- 0,63 ( $U_{III} > 0,63$  - wynik dobry;  $0,37 < U_{III} < 0,63$  - wynik satysfakcjonujący)

— 0,37 ( $U_{III} < 0,37$  - wynik nieakceptowalny)