

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

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

10           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.

15           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  
20           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  
25           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.  
30           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.

40           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 ulepszenia 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  $SO_3$  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.

55           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>  
65 warstwy asfaltowej, korzystnie w postaci mlecza wapiennego. Korzystnie, mleczo  
wapienne nanosi się przy użyciu skrapiaarki 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  
70 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 przenoszenie ich w sposób rozproszony  
na rodzime podłoża gruntowe. Jeden z wielu przykładów procesu postępowania przy  
wytwarzaniu warstwy konstrukcyjnej z gruntu modyfikowanego optymalnymi  
75 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 +/-2%, grubość warstwy gruntu poddawanego obróbce wynosi około  
45 cm; jednostkowa działka robocza 1000 m<sup>2</sup> lub o długości 250mb i szerokości  
80 4 m; stosuje się dozowanie dodatku modyfikująco-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.

85 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  
90 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

95 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  
100 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  
105 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  
110 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  
115 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  
120 cementuportlandzkiego 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.

125 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  
130 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 (MCEP) 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  
135 naturalnego, sztucznego lub z recyklingu, charakteryzuje się tym, składa się  
z 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  
redyspergowalnego proszku polimerowego, będącego termoplastycznym  
kopolimerem polietylenu-co-octanu winylu w ilości 0,5-3,5% wagowych w stosunku  
140 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-octenwinylu). Dodawany jako biały proszek, który powstaje w wyniku  
odparowania wody z dyspersji polimerowej. Uzyskiwany jest w procesie suszenia  
145 rozpyłowego.

Skład chemiczny zastosowanego modyfikatora polimerowego przedstawiono  
w tabeli 1.

Tabela 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 dozuje 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 (zestaw podstawowy plus zestaw 1)	
2	Uziarnienie według PN-EN 933-1, kategoria nie niższa niż	G <sub>C</sub> 80/20 G <sub>F</sub> 80 G <sub>A</sub> 75	G <sub>C</sub> 80/20 G <sub>F</sub> 80 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 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> 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> * *
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 -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	$m_{LPC0,1}$	$m_{LPC0,1}$
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 fizyko mechanicznych mieszanki, jak wytrzymałość na rozciąganie, odporność na działanie wody oraz mrozu.

Mieszankę 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 mieszankę mineralną rozsypują się cement oraz modyfikator polimerowy. Następnie maszyna mieszająca, wykonuj przejazd po przygotowanym podłożu, dozując do mieszaniny 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 destrukta 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 samowyładowczymi na budowę, rozkłada równiarką drogową lub układarką i odpowiednia dogęszcza zestawem walcy drogowych.

185 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  
190 po jednym dniu skrapiać wodą.

### **Przykłady wykonania**

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%,  
195 pochodzące z rozbiórki starych warstw nawierzchni, oraz kruszywo doziarniające w ilości 46,8%. 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 w ilości 2,5% oraz modyfikator  
200 polimerowy w postaci proszku polimerowego (PP) w ilości 2,0%.

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),  
205 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,
- 210 • 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),
- 215 • 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,
- 220 • 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

225 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:

230 „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.

235 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

240 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 245 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 250 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:

- 255
- nasiąkliwość,
  - wytrzymałość na pośrednie rozciąganie ITS<sub>dry</sub>,
  - odporność na działanie wody TSR,
  - odporność na działanie wody i mrozu ITS<sub>R</sub>.

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

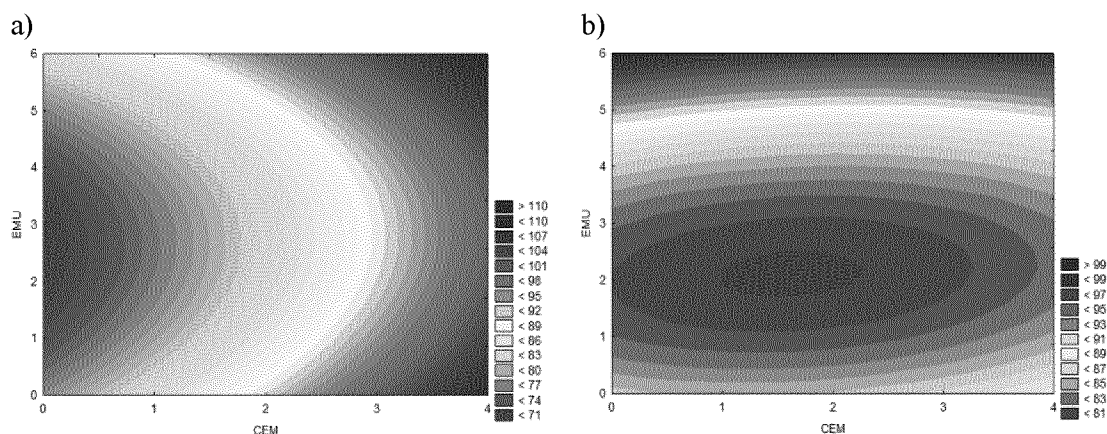
Tabela 4

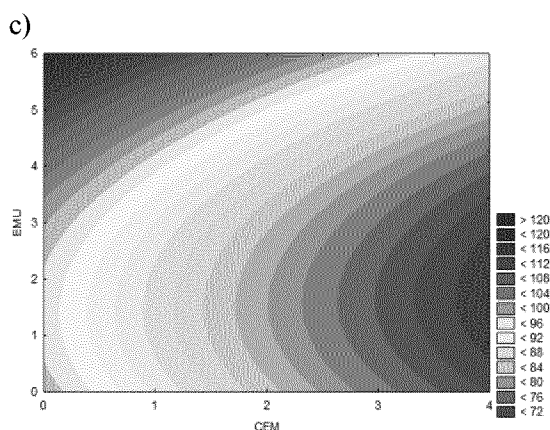
Mieszanka	n <sub>w</sub> [%]	ITS <sub>DRY</sub> [kPa]	TSR [%]	ITS <sub>R</sub> [%]
0.5C-0.5P-2.5E	2.92	396.85	78.11	50.83
2.0C-0.5P-5.0E	2.74	644.42	85.49	61.32
3.5C-0.5P-2.5E	1.62	1608.69	95.36	83.98
0.5C-2.0P-5.0E	2.41	333.55	88.45	42.28
2.0C-2.0P-2.5E	2.81	714.88	80.01	79.88
3.5C-2.0P-5.0E	1.31	1163.31	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

265 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.

270 Czynnikiem, który głównie wpływa na wytrzymałość na pośrednie rozciąganie mieszanki ITSdry 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.

275 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  
280 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. Poniżej na rysunku przedstawiono wykresy powierzchni  
285 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
Vm [%]	12,9	9,5
nw [%]	1,9	2,6
ITSdry [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 dwukrotnie większą odporność na 305 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 310 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, 315 co przedkłada się wyższą odpornością na pośrednie rozciąganie, oraz mniejsza zawartością wolnych przestrzeni.

Sugerując się rezultatami wykonanej wykonanych badań można twierdzić, że modyfikator polimerowy oraz emulsja asfaltowa po pierwsze uszczelniają mieszankę, zmniejszając jej nasiąkliwość. Jest to istotna zależność z uwagi na 320 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. 325 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 330 czynników ze środowiska, wody oraz wahań i spadków temperatury otoczenia.