

**SPECYFIKACJA TECHNICZNA  
WYKONANIA I ODBIORU ROBÓT BUDOWLANYCH**

**D.04.05.01a  
45233000-9**

**ULEPSZONE PODŁOŻE I PODBUDOWY  
Z MIESZANKI ZWIĄZANEJ CEMENTEM  
CPV: Roboty w zakresie konstruowania,  
fundamentowania oraz wykonywania nawierzchni  
autostrad, dróg**

---

## 1. Wstęp

### 1.1. Przedmiot STWiORB

Przedmiotem niniejszej Specyfikacji Technicznej Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych są wymagania dotyczące ulepszanego podłoża, warstwy mrozochronnej i podbudowy pomocniczej z mieszanki związanej cementem w związku z zadaniem: „Budowa i rozbudowa drogi wojewódzkiej nr 685 wraz z drogowymi obiektami inżynierskimi i niezbędną infrastrukturą techniczną na odcinku Zabłudów-Nowosady wraz z obejściem m. Trześcianka i m. Narew. - odcinek I od km 0+000,0 do km 8+462,0”.

### 1.2. Zakres stosowania STWiORB

Specyfikacja Techniczna jest stosowana jako dokument przetargowy i kontraktowy przy zlecaniu i realizacji robót wymienionych w punkcie 1.1.

### 1.3. Zakres robót

Ustalenia zawarte w niniejszej specyfikacji dotyczą prowadzenia robót przy wykonaniu warstwy z mieszanki związanej cementem i obejmują:

- Wykonanie warstwy ulepszanego podłoża mieszanki związanej cementem klasy C1,5/2,0, dla gruntów G4, grubość warstwy 38 cm (układana w 2 warstwach) – DW 685, drogi boczne;
- Wykonanie warstwy ulepszanego podłoża z mieszanki związanej cementem klasy C1,5/2,0, dla gruntów G4, grubość warstwy 43 cm (układana w 2 warstwach) - "Zjazdy publiczne i indywidualne poza terenem zabudowanym;
- Wykonanie warstwy ulepszanego podłoża z mieszanki związanej cementem klasy C1,5/2,0, dla gruntów G4, grubość warstwy 15 cm – chodniki, ciągi pieszo rowerowe;
- Wykonanie warstwy ulepszanego podłoża z mieszanki związanej cementem klasy C1,5/2,0, dla gruntów G1, grubość warstwy 10 cm – zatoki autobusowe, pierścienie rond, skrzyżowanie DW 685 z DP 1440B;
- Wykonanie warstwy ulepszanego podłoża z mieszanki związanej cementem klasy C1,5/2,0, dla gruntów G4, grubość warstwy 32 cm - "Zjazdy publiczne i indywidualne poza terenem zabudowanym i obrokowanie separatorów;
- Wykonanie warstwy mrozochronnej z mieszanki związanej cementem klasy C1,5/2,0, dla gruntów G4, grubość warstwy 30 cm – zatoki autobusowe;
- Wykonanie warstwy mrozochronnej z mieszanki związanej cementem klasy C1,5/2,0, dla gruntów G4, grubość warstwy 32 cm (układana w 2 warstwach) – drogi dojazdowe;
- Wykonanie warstwy ulepszanego podłoża z mieszanki związanej cementem klasy C3,0/4,0, grubość warstwy 15 cm – zjazdy publiczne i indywidualne;
- Wykonanie warstwy podbudowy pomocniczej z mieszanki związanej cementem klasy C5/6, grubość warstwy 15 cm - zatoki autobusowe, pierścień ronda, skrzyżowanie DW685 z DP1440B.

### 1.4. Określenia podstawowe

**1.4.1 Mieszanka związana spoiwem hydraulicznym** – mieszanka, w której następuje wiązanie i twardnienie na skutek reakcji hydraulicznych.

**1.4.2 Mieszanka związana cementem (CBGM)** – mieszanka związana hydraulicznie,

- składająca się z kruszywa o kontrolowanym uziarnieniu, wody i cementu; wymieszaną w sposób zapewniający uzyskanie jednorodnej mieszanki.
- 1.4.3 Mieszanka związana żużlem** – mieszanka składająca się z kruszywa o kontrolowanym uziarnieniu, z jednego lub więcej rodzajów żużla i wody, twardniejąca dzięki reakcji hydraulicznej lub/i karbonatyzacji. Twardnienie może być przyspieszone przez dodanie aktywatora.
- 1.4.4 Żużel wielkopiecowy chłodzony powietrzem** – kruszywo składające się głównie ze skrzystalizowanych krzemianów oraz glinokrzemianów wapnia i magnezu uzyskanych przez powolne schładzanie powietrzem ciekłego żużla wielkopiecowego. Proces chłodzenia może odbywać się przy kontrolowanym dodawaniu wody. Chłodzony powietrzem żużel wielkopiecowy twardnieje dzięki reakcji hydraulicznej lub karbonatyzacji.
- 1.4.5 Żużel stalowniczy chłodzony powietrzem** – kruszywo składające się głównie z skrzystalizowanego krzemianu wapnia i ferrytu zawierającego
- 1.4.6 Żużel stalowniczy chłodzony powietrzem** – kruszywo składające się głównie z skrzystalizowanego krzemianu wapnia i ferrytu zawierającego  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$  oraz tlenek żelaza. Kruszywo otrzymuje się przez powolne schładzanie powietrzem ciekłego żużla stalowniczego. Proces chłodzenia może odbywać się przy kontrolowanym dodawaniu wody.
- 1.4.7 Granulowany żużel wielkopiecowy** – szklisty, piaszczysty materiał składający się głównie z  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{MgO}$ , otrzymywany zwykle przez gwałtowne schłodzenie wodą ciekłego żużla wielkopiecowego. Granulowany żużel wielkopiecowy twardnieje reakcją hydrauliczną. Paletyzowany i suchy granulowany żużel wielkopiecowy mogą mieć zbliżone właściwości hydrauliczne.
- 1.4.8 Granulowany żużel wielkopiecowy częściowo mielony** – granulowany żużel wielkopiecowy częściowo mielony w celu zwiększenia proporcji ziaren mniejszych od 0,063 mm. Powoduje to wzrost szybkości twardnienia i wytrzymałości mieszanki.
- 1.4.9 Mielony granulowany żużel wielkopiecowy** – granulowany żużel wielkopiecowy mielony w celu dodatkowego zwiększenia udziału ziaren mniejszych od 0,063 mm.
- 1.4.10 Mieszanka z popiołem lotnym** – mieszanka składająca się z kruszywa o kontrolowanym uziarnieniu, popiołu lotnego wapiennego lub krzemionkowego i wody, twardniejąca dzięki reakcji hydraulicznej.
- 1.4.11 Popiół lotny** – drobny proszek powstały w wyniku spalania w elektrowniach elektrycznych pyłu węglowego lub lignitu, uzyskany w trakcie mechanicznego lub elektrostatycznego procesu wytrącania.
- 1.4.12 Krzemionkowy popiół lotny (glinowo-krzemianowy popiół lotny)** – popiół lotny, w którym podstawowymi składnikami chemicznymi są krzemiany, gliniany i tlenki żelaza wyrażone jako  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  i  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , charakteryzujące się właściwościami hydraulicznymi i pucolanowymi. Popiół lotny krzemionkowy może być składowany, dostarczany i używany zarówno w warunkach mokrych jak i suchych.
- 1.4.13 Wskaźnik smukłości** – stosunek wysokości do średnicy próbki.
- 1.4.14 Szczelność** – stosunek objętości ziaren do objętości mieszanki zawierającej ziarna i wolne przestrzenie między nimi. Szczelność oblicza się ze stosunku maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu mieszanki ( $\rho_d$  wg PN-EN 13286-2 [19] zmodyfikowana metoda Proctora) do gęstości objętościowej ziaren mieszanki ( $\rho_p$  wg PN-EN 1097-6 [12] załącznik A).
- 1.4.15 Kategoria** – charakterystyczny poziom właściwości kruszywa lub mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym, wyrażony jako przedział wartości lub wartość graniczna. Nie ma zależności pomiędzy kategoriami różnych właściwości.

Właściwości oznaczone symbolem kategorii NR oznaczają, że nie jest wymagane badanie danej cechy.

**1.4.16 Partia** – wielkość produkcji, wielkość dostawy, dostawę dzieloną (np. ładunek wagonowy, ładunek samochodu ciężarowego, dostawa) lub hałdę, która została wyprodukowana w okresie występowania jednakowych warunków. Przy ciągłym procesie produkcyjnym jako partię należy przyjmować ilość wyprodukowaną w ustalonym czasie.

**1.4.17 Podłoże ulepszone z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym** – warstwa lub zespół warstw leżących pod konstrukcją nawierzchni drogowej w przypadku, gdy podłoże gruntowe (grunt rodzimy lub nasypowy) nie spełnia warunków nośności i/lub mrozoodporności.

Podłoże ulepszone może zawierać następujące warstwy: mrozochronną, odcinającą i wzmacniającą, a w przypadku podłoża ulepszanego jednowarstwowego może ono spełniać funkcje wszystkich tych warstw jednocześnie.

Grubość warstwy podłoża ulepszanego zależy od rodzaju i grubości konstrukcji nawierzchni, kategorii obciążenia ruchem (KRi) oraz grupy nośności (Gi) podłoża rodzimego i głębokości przemarzania gruntu, z zachowaniem przyjętej w kraju zasady ograniczonej odporności konstrukcji na działanie mrozu.

**1.4.18 Warstwa mrozochronna z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym** – warstwa zapewniająca ochronę konstrukcji nawierzchni drogowej przed skutkami oddziaływania mrozu.

**1.4.19 Warstwa odcinająca z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym** – warstwa stosowana w celu uniemożliwienia przedostania się cząstek gruntu podłoża do warstwy wyżej położonych.

**1.4.20 Podbudowa z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym** – dolna część konstrukcji nawierzchni dróg służąca do przenoszenia obciążeń z ruchu na podłoże.

Podbudowa może składać się z podbudowy zasadniczej i pomocniczej. Obydwie warstwy mogą być wykonane w kilku warstwach technologicznych.

**1.4.21 Podbudowa pomocnicza z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym** – warstwa, zapewniająca przenoszenia obciążeń z warstwy podbudowy zasadniczej na warstwę podłoża. Podbudowa pomocnicza może składać się z kilku warstw o różnych właściwościach.

**1.4.22 Podbudowa zasadnicza z mieszanki związanej spoiwem hydraulicznym** – warstwa zapewniająca przenoszenie obciążeń z warstw wyżej leżących na warstwę podbudowy pomocniczej lub podłoże.

**1.4.23. Pozostałe określenia podstawowe** są zgodne z odpowiednimi polskimi normami i z definicjami podanymi w STWiORB D.00.00.00 „Wymagania ogólne” pkt 1.4 [1].

## 1.5. Ogólne wymagania dotyczące robót

Wykonawca robót jest odpowiedzialny za jakość ich wykonania, jakość zastosowanych wyrobów budowlanych oraz za zgodność z Dokumentacją Projektową, STWiORB i poleceniami Inżyniera

Ogólne wymagania dotyczące robót podano w STWiORB D.00.00.00 „Wymagania ogólne” pkt 1.5 [1].

## 2. Wyroby budowlane i materiały

### 2.1. Ogólne wymagania

Ogólne wymagania dotyczące wyrobów budowlanych i materiałów podano w STWiORB D-M.00.00.00. Wymagania ogólne pkt 2 [1].

Wyroбами budowlanymi i materiałami stosowanymi przy wykonaniu warstwy mrozochronnej i ulepszanego podłoża z mieszanki związanej cementem w betonie według zasad niniejszej STWiORB są:

### 2.2. Kruszywa winny spełniać wymagania tablicy 1.1 WT-5 [26]

Tablica 1. Wymagane właściwości kruszywa do warstw podbudowy pomocniczej i podłoża ulepszanego z mieszanek związanych cementem

Właściwość kruszywa	Metoda badania wg	Wymagania wg WT-5, pkt 1.1.1 [ 25] i PN-EN 13242 [18] dla ruchu kategorii KR1 ÷ KR6	
		Punkt PN-EN 13242 [18]	dla kruszywa związanego cementem w warstwie podłoża ulepszanego, podbudowy
Fracje/zestaw sit #	-	4.1	Zestaw sit podstawowy plus zestaw 1. 1, 2, 4, 5.6, 8, 11.2, 16, 22.4, 31.5, 45, 63 i 90 Wszystkie frakcje dozwolone
Uziarnienie	PN-EN 933-1 [5]	4.3.1	Kruszywo grube: kat. G <sub>C</sub> 80/20, kruszywo drobne: kat. G <sub>F</sub> 80, kruszywo o ciągłym uziarnieniu: kat. G <sub>A</sub> 75. Uziarnienie mieszanek kruszywa wg rysunków 1.1 – 1.4
Ogólne granice i tolerancje uziarnienia kruszywa grubego na sitach pośrednich	PN-EN 933-1 [5]	4.3.2	Kat. GT <sub>C</sub> NR (tj. brak wymagania)
Tolerancje typowego uziarnienia kruszywa drobnego i kruszywa o ciągłym uziarnieniu	PN-EN 933-1 [5]	4.3.3	Kruszywo drobne: kat. GT <sub>F</sub> NR (tj. brak wymagania), kruszywo o ciągłym uziarnieniu: kat. GT <sub>A</sub> NR (tj. brak wymagania)
Kształt kruszywa grubego – maksymalne warunki wskaźnika płaskości	PN-EN 933-3 <sup>*)</sup> [6]	4.4	Kat. FI <sub>Dekl</sub>
Kształt kruszywa grubego – maksymalne wartości wskaźnika kształtu	PN-EN 933-4 <sup>*)</sup> [7]	4.4	Kat. SI <sub>Dekl</sub>
Kategorie procentowych zawartości ziaren o powierzchniach przekruszonych lub łamanych oraz ziaren całkowicie zaokrąglonych w kruszywie grubym	PN-EN 933-5 [8]	4.5	Kat. C <sub>NR</sub> (tj. brak wymagania)
Zawartość pyłów <sup>**) w kru-</sup>	PN-EN	4.6	Kat. f <sub>Dekl</sub> (tj. masa frakcji przechodzącej

szywie grubym	933-1 [5]		przez sito 0,063 mm)
Zawartość pyłów <sup>**) w kruszywie drobnym</sup>	PN-EN 933-1 [5]	4.6	Kat. $f_{Dekl}$ (tj. masa frakcji przechodzącej przez sito 0,063 mm)
Jakość pyłów	-	4.7	Brak wymagań
Odporność na rozdrabnianie kruszywa grubego	PN-EN 1097-2 [11]	5.2	Kat. $LA_{60}$ (tj. wsp. Los Angeles kruszywo z recyklingu z skał magmowych i przeobrażanych $LA_{NR}$ )
Odporność na ścieranie	PN-EN 1097-1 [10]	5.3	Kat. $M_{DENR}$ (tj. brak wymagania)
Gęstość ziaren	PN-EN 1097-6, roz. 7, 8 i 9 [12]	5.4	Deklarowana
Siarczany rozpuszczalne w kwasie	PN-EN 1744-1 [15]	6.2	Kruszywo kamienne: kat. $AS_{0,2}$ (tj. zawartość siarczanów $\leq 0,2\%$ ), kruszywo z recyklingu z skał magmowych i przeobrażanych $AS_{NR}$ , żużel kawałkowy wielkopiecowy: kat. $AS_{1,0}$ (tj. zawartość siarczanów $\leq 1,0\%$ )
Całkowita zawartość siarki	PN-EN 1744-1 [15]	6.3	Kruszywo kamienne: kat. $S_{NR}$ (tj. brak wymagania), żużel kawałkowy wielkopiecowy: kat. $S_2$ (tj. zawartość siarki całkowitej $\leq 2\%$ )
Składniki wpływające na szybkość wiązania i twardnienia mieszanek związanych hydraulicznie	PN-EN 1744-1 [15]	6.4.1	Deklarowana
Stołość objętości żużla stalowniczego	PN-EN 1744-1, roz. 19.3 [15]	6.4.2.1	Kat. $V_5$ (tj. pęcznienie $\leq 5\%$ objętości). Dotyczy żużla z klasycznego pieca tlenowego i elektrycznego pieca łukowego
Rozpad krzemianowy w żużlu wielkopiec. kawałkowym	PN-EN 1744-1, p. 19.1 [15]	6.4.2.2	Brak rozpadu
Rozpad żelazawy w żużlu wielkopiec. kawałkowym	PN-EN 1744-1, p. 19.2 [15]	6.4.2.3	Brak rozpadu
Składniki rozpuszczalne w wodzie	PN-EN 1744-3 [16]	6.4.3	Brak substancji szkodliwych dla środowiska wg odrębnych przepisów
Zanieczyszczenia	-	6.4.4	Brak ciał obcych takich jak drewno, szkło i plastik, mogących pogorszyć wyrób końcowy
Zgorzel słoneczna bazaltu	PN-EN 1367-3[14] i PN-EN 1097-2 [11]	7.2	Kat. $SB_{LA}$ (tj. wzrost współczynnika Los Angeles po gotowaniu $\leq 8\%$ )
Nasiąkliwość (Jeśli kruszywo nie spełni warunku $WA_{242}$ , to winno spełnić mrozoodporność wg p. 7.3.3 – wiersz poniżej)	PN-EN 1097-6, roz. 7 [12]	7.3.2	Kat. $WA_{242}$ (tj. maksymalna wartość nasiąkliwości $\leq 2\%$ masy)
Mrozoodporność na kruszywa frakcji 8/16 mm (Badanie wykonywane tylko w przypadku,	PN-EN 1367-1 [13]	7.3.3	Skały magmowe i przeobrażone: kat. $F_4$ (tj. zamrażanie-rozmrażanie $\leq 4\%$ masy), kruszywa z recyklingu: ze skał

gdy nasiąkliwość kruszywa przekracza $WA_{242}$ )			magmowych i przeobrażonych $F_{NR}$
Skład mineralogiczny	-	Zał. C p.C3.4	Deklarowany
Istotne cechy środowiskowe	-	Zał. C pkt C.3.4	Większość substancji niebezpiecznych określonych w dyrektywie Rady 76/769/EWG zazwyczaj nie występuje 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
*) Badaniem wzorcowym oznaczania kształtu kruszywa grubego jest badanie wskaźnika płaskości **) Łączna zawartość pyłów w mieszance powinna się mieścić w wybranych krzywych granicznych ***) Pod warunkiem, gdy zawartość w mieszance nie przekracza 50% m/m			

## 2.3. Cement

Należy stosować cement klasy 32,5N wg PN-EN 197-1 [4]:

Badania cementu należy wykonać zgodnie z PN-EN 196 [3].

Przechowywanie cementu powinno odbywać się zgodnie z BN-88/6731-08 [23].

W przypadku, gdy czas przechowywania cementu będzie dłuższy od trzech miesięcy, można go stosować za zgodą Inżyniera tylko wtedy, gdy badania laboratoryjne wykażą jego przydatność do robót.

## 2.4. Woda

Do warstwy mrozoochronnej, ulepszanego podłoża i podbudowy z mieszanki związanej cementem należy stosować wodę odpowiadającą wymaganiom normy PN-EN 1008. Zaleca się stosowanie wody wodociągowej pitnej. Stosowanie jej nie wymaga przeprowadzania badań.

W przypadku poboru wody z innego źródła należy przeprowadzić bieżącą kontrolę zgodnie z PN-EN 1008 [9].

## 3. Sprzęt

### 3.1. Ogólne wymagania dotyczące sprzętu

Ogólne wymagania dotyczące sprzętu podano w STWiORB D-M.00.00.00 „Wymagania ogólne” pkt 3 [1].

### 3.2. Wytwórnia betonów

Betoniarnia nie może zakłócać warunków ochrony środowiska tj. powodować zapylenia terenu, zanieczyszczać wód i wywoływać hałas powyżej dopuszczalnych norm. Wydajność betoniarni musi zapewnić zapotrzebowanie dla danej budowy. Betoniarnia musi posiadać pełne wyposażenie gwarantujące właściwą jakość wytworzonej mieszanki. Minimalna

pojemność zasypowa betoniarki - 1000 l (dm<sup>3</sup>). Dozowanie wagowe kruszywa i cementu z dokładnością + 3%. Dozowanie wody objętościowe przy pomocy objętościomierza przepływowego. Zabrania się stosowania betoniarek wolno spadowych.

**3.3.** Układanie warstwy z mieszanki związanej cementem wykonywane będzie równiarką lub układarką do mieszanki betonowej, a na małych powierzchniach ręcznie.

**3.4.** Sprzęt do zagęszczania warstwy:

- walec ogumiony średni lub ciężki o regulowanym ciśnieniu w oponach,
- walec gładki stalowy wibracyjny dwuwałowy, prowadzony,
- płyta wibracyjna lekka lub ciężka.

Wybór urządzeń do zagęszczania pozostawia się Wykonawcy w zależności od jego możliwości i warunków terenowych - szerokości zagęszczanej warstwy mrozochronnej, ulepszanego podłoża i podbudowy.

**3.5.** Użyty przez Wykonawcę sprzęt mechaniczny do wykonywania warstw z mieszanki związanej cementem w betoniarce musi być sprawny technicznie i uzyskać akceptację Inżyniera.

## **4. Transport**

### **4.1. Ogólne wymagania dotyczące transportu**

Ogólne wymagania dotyczące transportu podano w STWiORB D.00.00.00 „Wymagania ogólne” pkt 4 [1].

### **4.2. Transport wyrobów i materiałów**

Transport kruszywa do betoniarni odbywać się może dowolnymi środkami transportu, zabezpieczającymi przed zanieczyszczeniem.

Transport cementu musi odbywać się w sposób chroniący go przed zawilgoceniem, zbryleniem i zanieczyszczeniem.

Przewiduje się transport cementu do wytwórni betonów - luzem, w cysternach przystosowanych do przewozu rzeczy sypkich.

Transport mieszanki odbywać się musi samochodami samowyładowczymi – zalecany na poszerzeniach boczny przechyl skrzyni. Samochody powinny charakteryzować się dużą pojemnością, tj. min 10 ton.

Mieszanka w czasie transportu powinna być chroniona od wpływów atmosferycznych takich jak: opady, nasłonecznienie, wiatry. Przy braku osłon w konstrukcji środków transportowych należy stosować przykrycia (folia, brezent).



## 5. Wykonanie robót

### 5.1. Ogólne warunki wykonania robót

Ogólne warunki wykonania robót podano w STWiORB D.00.00.00. "Wymagania ogólne" pkt 5 [1].

### 5.2. Zakres wykonywanych robót

#### 5.2.1. Wytyczne do zaprojektowania mieszanki związanej cementem w betoniarnie

Za przygotowanie receptury odpowiada Wykonawca robót, który przedstawi ją Inżynierowi do zatwierdzenia. Receptura powinna być opracowana dla konkretnych składników, zaakceptowanych wcześniej przez Inżyniera do wbudowania i przy wykorzystaniu reprezentatywnych próbek.

Receptura powinna być opracowana w oparciu o następujące źródła:

- wytyczne niniejszej specyfikacji,
- WT-5
- założenia ujęte w PZJ.

Skład mieszanki projektuje się ze względu na wytrzymałość na ściskanie próbek (System I) zagęszczanych metodą Proctora wg PN-EN 13286-50 [21] w formach walcowych H/D=1

Minimalna zawartość cementu w mieszance dla poszczególnych warstw wg PN-EN 14227-1 [22].

Tablica 2

Maksymalny nominalny wymiar kruszywa, mm	Minimalna zawartość spoiwa, % (m/m)
>8,0 do 31,5	3
2,0 do 8,0	4

Zawartość wody w mieszance powinna odpowiadać wilgotności optymalnej określonej według normalnej próby Proctora, zgodnie z PN-EN 13286-2 [19], z tolerancją +10%, -20% jej wartości.

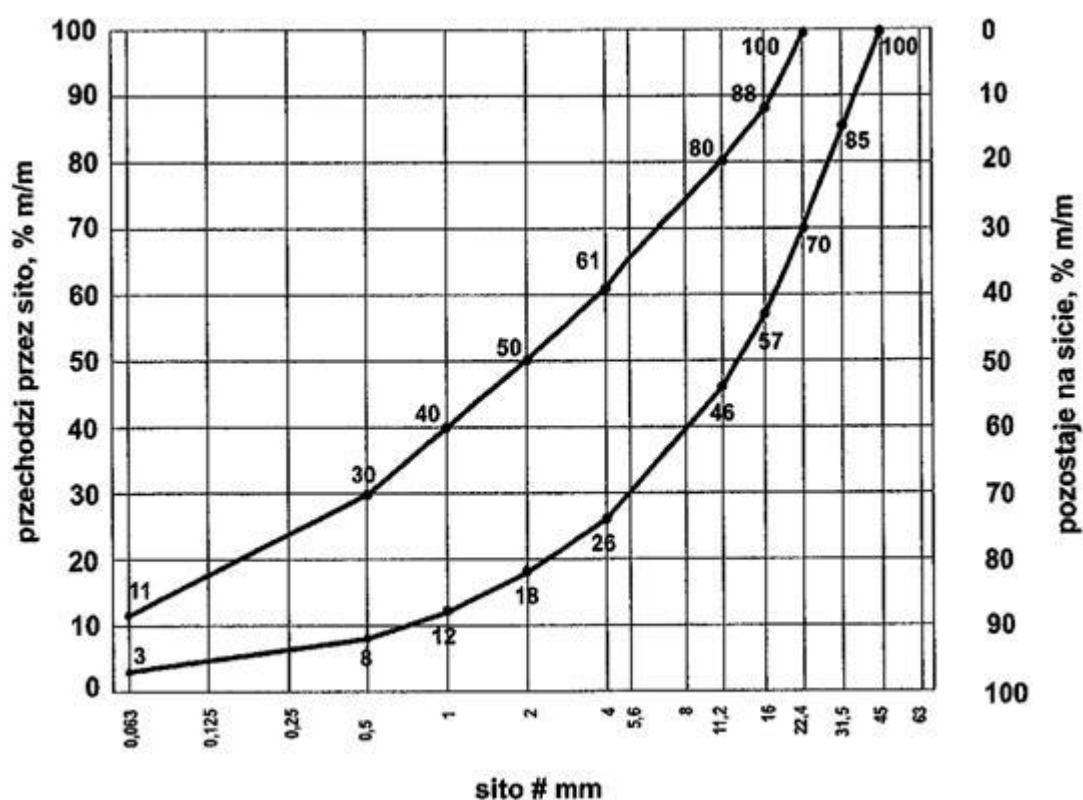
Wymagania wobec mieszanek związanych cementem do warstw podbudowy pomocniczej klasy C5/6 oraz ulepszanego podłoża klasy C1,5/2,0.

Tablica 3

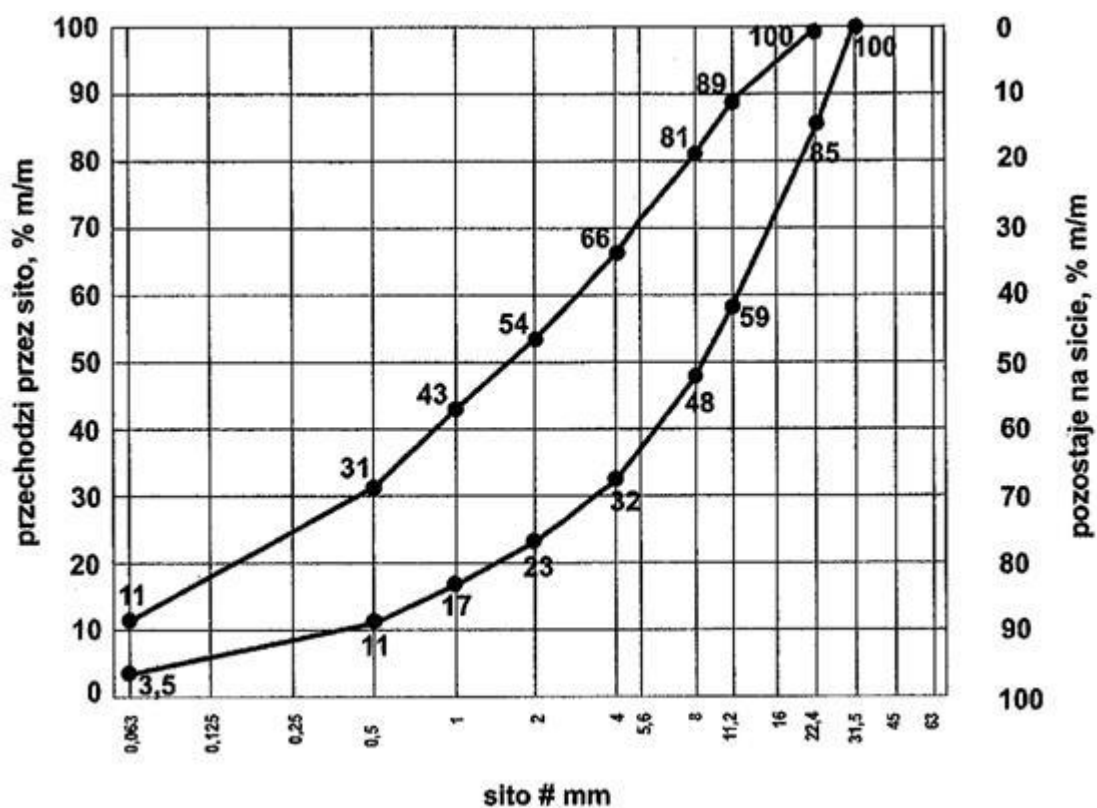
Lp.	Właściwości	Wymagania	Uwagi
		KR1-KR6	
1.0	Składniki		
1.1	Cement	wg PN-EN 197-1 [4]	
1.2	Kruszywo	tablica 1.1	
1.3	Woda zarobowa	p. 1.1.3	
1.4	Dodatki	p. 1.1.4	
2.0	Mieszanka		
2.1	Uziarnienie:	Krzywe graniczne uziarnienia:	
	-mieszanka CBGM 0/31,5 mm	Rys 1.1	

2.2	Minimalna zawartość cementu	wg tablicy 1.3	
2.3	Zawartość wody	wg projektu	Ustalanie na podstawie PN-EN 13286-2 [19]
2.4	Wytrzymałość na ściskanie (system I) – klasa wytrzymałości $R_c$ wg tab. 1.2 wg WT-5 [26]	Ulepszone podłoże i warstwa technologiczna KR1-KR6 Klasa C1,5/2,0, Podbudowa pomocnicza KR5-KR6 klasa C5/6 (nie więcej niż 10MPa)	Badanie wg PN-EN 13286-41 [20] po 28 dniach pielęgnacji
2.5	Mrozoodporność	$\geq 0,6$ podbudowa pomocnicza	Badania wg p. 1.2.8 WT-5 [26]

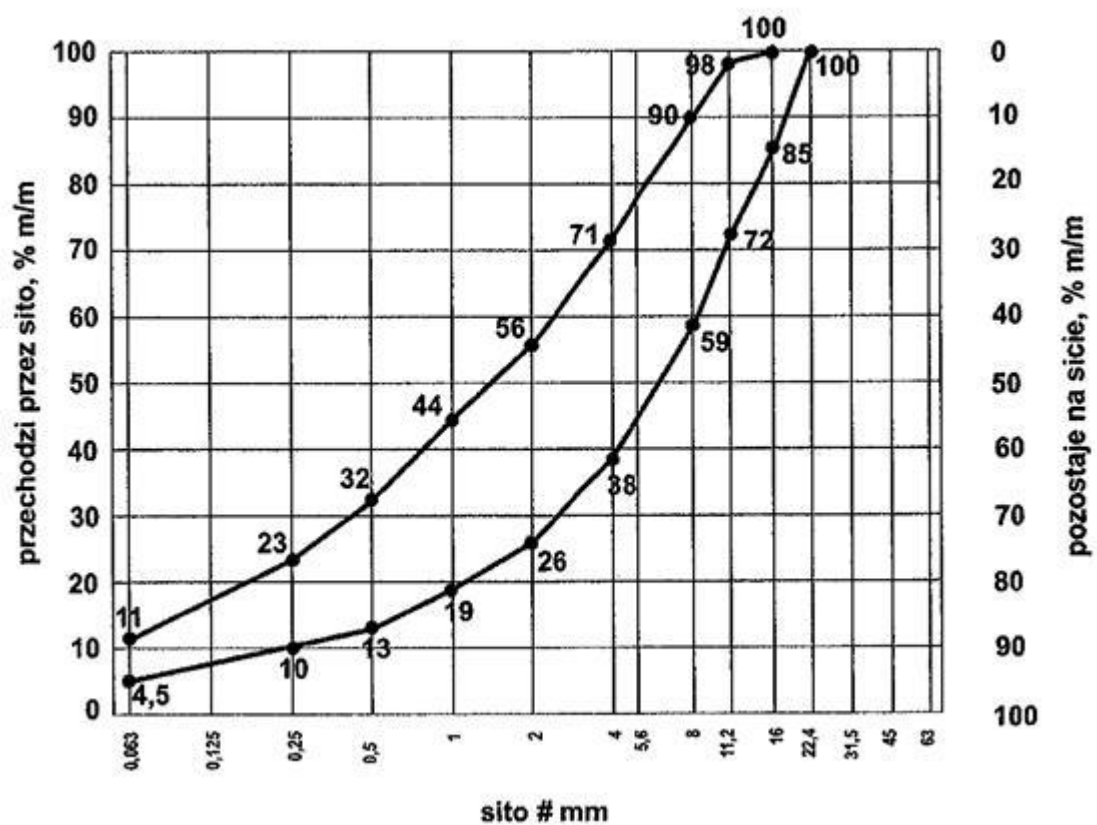
Krzywa uziarnienia mieszanki na warstwę ulepszonego podłoża, mrozoochronną i podbudowy pomocniczej powinna zawierać się w obszarze między krzywymi granicznymi na rys. 1.1 dla 0/31,5 z WT-5 2010 [26].



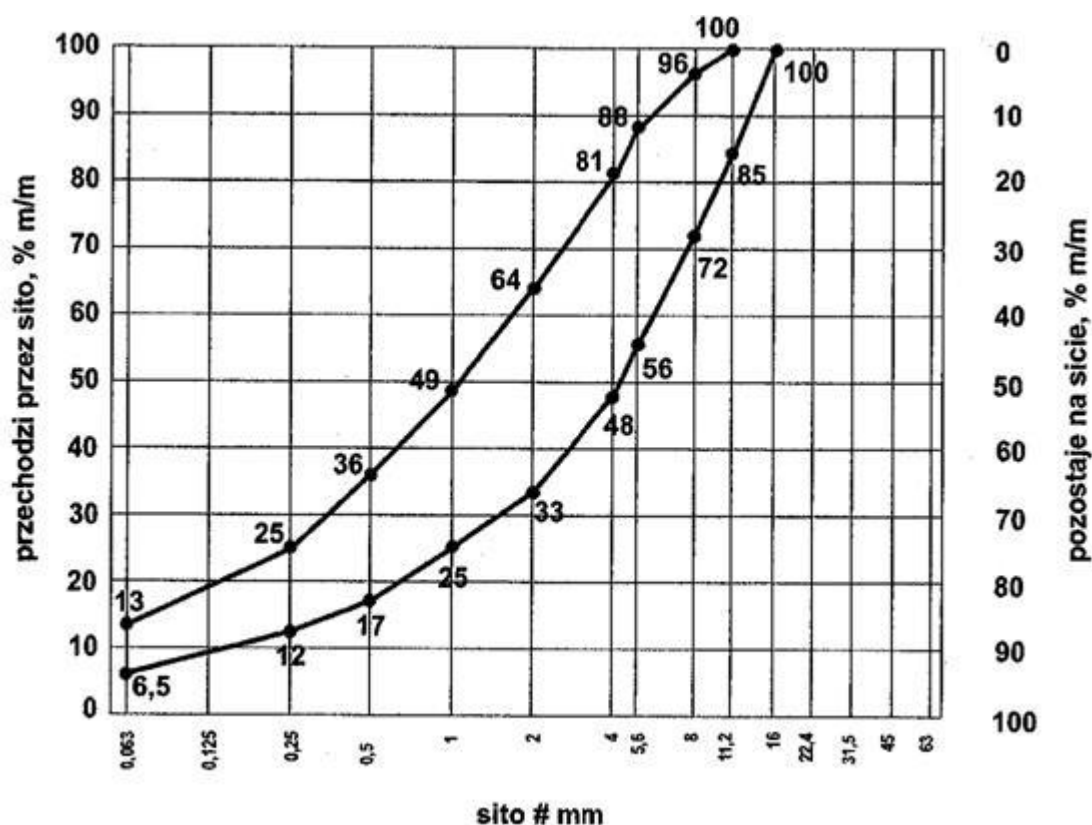
Rys. 1.1 Krzywe graniczne uziarnienia mieszanki mineralnej 0/31,5 mm



Rys. 1.2. Krzywe graniczne uziarnienia mieszanki mineralnej 0/22,4 mm



Rys. 1.3. Krzywe graniczne uziarnienia mieszanki mineralnej 0/16 mm



Rys. 1.4. Krzywe graniczne uziarnienia mieszanki mineralnej 0/11,2 mm

Za zgodą Inżyniera można zastosować krzywe uziarnienia z rysunków 1.2, 1.3 lub 1.4 WT-5 2010 [26].

### 5.2.2. Warunki prowadzenia produkcji mieszanki

Mieszanka związana cementem może być produkowana przy temperaturze otoczenia powyżej 5 °C od 1 kwietnia do 30 października. Ewentualne rozszerzenie tego okresu może nastąpić po wyrażeniu zgody przez Inżyniera, w przypadku stwierdzenia dobrych warunków pogodowych tj temperatury powyżej 5 °C, nie występowania przymrozków oraz opadów deszczu. Produkcja może odbywać się jedynie na podstawie receptury laboratoryjnej zatwierdzonej przez Inżyniera. Wykonawca musi posiadać na budowie własne laboratorium lub też za zgodą Inżyniera zlecić nadzór niezależnemu laboratorium.

Inżynier będzie dysponował własnym laboratorium lub też będzie korzystał z laboratorium Wykonawcy, uczestnicząc w badaniach.

### 5.2.3. Produkcja mieszanki

Produkcja może zostać rozpoczęta na wniosek Wykonawcy, po wyrażeniu zgody przez Inżyniera. Roboczy skład mieszanki przygotowuje Wykonawca, opracowując go na bazie receptury laboratoryjnej. Służy ona do zaprogramowania lub nastawienia naważenia kruszywa (jednego lub dwóch) oraz cementu i wody. Skład mieszanki należy umieścić na tablicy w widocznym miejscu dla operatora i Inżyniera. Czas mieszania składników powinien być ustalony doświadczalnie, w zależności od składu i wymaganej wilgotności optymalnej mieszanki oraz rodzaju urządzenia mieszającego.

Producent mieszanki mineralnej musi prowadzić zakładową kontrolę produkcji opisaną w WT-5, aby zapewnić, że wyrób spełnia wymagania niniejszej STWiORB.

**5.2.4.** Transport mieszanki na miejsce wbudowania odbywać się będzie samochodami samowyladowczymi o dużej pojemności, tj minimum 10 ton.

**5.2.5.** Wbudowywanie mieszanki powinno odbywać się w sprzyjających warunkach atmosferycznych, w wilgotne koryto gruntowe lub na wilgotną niżej położoną warstwę i w wilgotne prowadnice. Zabrania się układania mieszanki w deszczu.

Warstwa układana będzie w prowadnicach i przed zagęszczeniem powinna być sprofilowana i dokładnie wyrównana do wymaganych projektem pochyleń poprzecznych i podłużnych. Złącza poprzeczne, wynikające z początku lub końca dziennej działki roboczej należy wykonać przez równe pionowe odcięcie.

Największa grubość warstwy wykonanej w jednej operacji wynosi 25 cm.

#### **5.2.6. Zagęszczenie warstwy**

Zagęszczenie należy przeprowadzić zawsze od krawędzi najniższej do najwyższej, dla danego przekroju poprzecznego.

Wszelkie manewry walca należy przeprowadzać płynnie, między innymi rozpoczęcie i zakończenie przejazdu, zmiana kierunku przejazdu nie może powodować szarpnięć.

Zagęszczenie mieszanki musi być zakończone przed upływem 100 minut od chwili kontaktu cementu i wody w temperaturze do 20°C, a w temperaturach wyższych odpowiednio wcześniej przed początkiem wiązania cementu.

Wskaźnik zagęszczenia mieszanki powinien wynosić  $I_s \geq 1,00$ , określony zgodnie z normą BN-77/8931-12 [24]. Sprzęt do zagęszczania opisano w punkcie 3 niniejszej specyfikacji.

Specjalną uwagę należy poświęcić zagęszczeniu mieszanki w sąsiedztwie spoin roboczych podłużnych i poprzecznych oraz wszelkich urządzeń obcych.

Wszelkie miejsca luźne, rozsegregowane, spękane podczas zagęszczenia lub w inny sposób wadliwe, muszą być naprawione przez zerwanie warstwy na pełną grubość, wbudowanie nowej mieszanki o odpowiednim składzie i ponowne zagęszczenie. Roboty te są wykonywane na koszt Wykonawcy.

#### **5.2.7 Spoiny robocze i szczeliny**

Należy unikać podłużnych spoin roboczych, poprzez wykonywanie warstwy na całej projektowanej szerokości.

Przy warstwie wykonywanej w prowadnicach, przed wykonaniem kolejnego pasa należy pionową krawędź wykonanego pasa zwilżyć wodą. Przy warstwie wykonanej bez prowadnic w ułożonej i zagęszczonej mieszance, należy niezwłocznie obciąć pionową krawędź. Po zwilżeniu jej wodą należy wbudować kolejny pas. W podobny sposób należy wykonać poprzeczną spoinę roboczą na połączeniu działek roboczych. Od obcięcia pionowej krawędzi w wykonanej mieszance można odstąpić wtedy, gdy czas pomiędzy zakończeniem zagęszczenia jednego pasa, a rozpoczęciem wbudowania sąsiedniego pasa, nie przekracza 60 minut i spełnione będzie wymaganie max czasu zakończenia zagęszczania dla obu pasów.

Jeżeli w niżej położonej warstwie występują spoiny w warstwie leżącej wyżej powinny być względem nich przesunięte o co najmniej 30 cm dla spoiny podłużnej i 1 m dla spoiny poprzecznej.

#### **5.2.8. Warunki dojrzewania wykonanej warstwy mrozoochronnej, ulepszanego podłoża i podbudowy pomocniczej**

Nie należy dopuścić do wyschnięcia warstwy mieszanki związanej cementem aby nie powstały pęknięcia skurczowe.

Pielęgnacja powinna być przeprowadzona według jednego z następujących sposobów:

- a) skropienie warstwy emulsją asfaltową wg STWiORB D.04.03.01 [2] w ilości 0,7 -1,0 kg

- asfaltu /m<sup>2</sup>,
- b) skropienie specjalnymi preparatami powłokotwórczymi spełniającymi wymagania aprobaty technicznej wydanej przez uprawnioną jednostkę, po uprzednim zaakceptowaniu ich użycia przez Inżyniera,
- c) utrzymanie w stanie wilgotnym poprzez kilkakrotne skrapianie wodą w ciągu dnia, w czasie co najmniej 7 dni,
- d) przykrycie na okres 7 dni nieprzepuszczalną folią tworzywa sztucznego, ułożoną na zakład o szerokości co najmniej 30 cm i zabezpieczoną przed zerwaniem z powierzchni warstwy przez wiatr,
- e) przykrycie warstwą piasku lub grubej włókniny i utrzymywanie w stanie wilgotnym w czasie co najmniej 7 dni.

Inne sposoby pielęgnacji, zaproponowane przez Wykonawcę i inne materiały przeznaczone do pielęgnacji mogą być zastosowane po uzyskaniu akceptacji Inżyniera.

Nie należy dopuszczać żadnego ruchu pojazdów i maszyn po warstwie w okresie 7 dni po wykonaniu. Po tym czasie ewentualny ruch technologiczny może odbywać się wyłącznie za zgodą Inżyniera.

## **6. Kontrola jakości robót**

### **6.1. Ogólne zasady kontroli jakości robót**

Ogólne zasady kontroli jakości robót podano w STWiORB D-M.00.00.00. "Wymagania ogólne" [1].

### **6.2. Badania przed przystąpieniem do robót**

Przed przystąpieniem do robót Wykonawca powinien wykonać badania spoiw i kruszyw przeznaczonych do wykonania robót i przedstawić wyniki tych badań Inżynierowi w celu akceptacji.

### **6.3. Kontrole i badania w trakcie wykonywania robót**

Kontrola w czasie prowadzenia robót polega na sprawdzeniu przez Inżyniera na bieżąco, w miarę postępu robót, jakości używanych przez Wykonawcę wyrobów i zgodności wykonywanych robót z projektem i wymaganiami niniejszej specyfikacji.

Wykonawca w obecności Inżyniera wykona serię (próbek) z każdej dziennej działki roboczej do badania wytrzymałości na ściskanie dla każdej klasy wytrzymałości.

W czasie układania warstwy Wykonawca zobowiązany jest kontrolować:

- jednorodność układanej warstwy,
- prawidłowość cech geometrycznych (szerokość, grubość, równość podłużna i poprzeczna).

Bieżąca kontrola obejmuje wizualne sprawdzenie wszystkich elementów procesu technologicznego oraz zaakceptowania przez Inżyniera wyników badań laboratoryjnych Wykonawcy.

**6.3.1. Częstotliwość oraz zakres badań i pomiarów**

Częstotliwość oraz zakres badań i pomiarów w czasie wykonywania ulepszanego podłoża, warstwy mrozochronnej i podbudowy pomocniczej z mieszanek związanych cementem podano w tablicy 4.

Tablica 4. Częstotliwość badań i pomiarów

Lp.	Wyszczególnienie badań	Częstotliwość badań	
		Minimalna liczba badań na dziennej działce roboczej	Maksymalna powierzchnia ulepszanego podłoża i podbudowy przypadająca na jedno badanie
1	Uziarnienie mieszanki gruntu lub kruszywa	2	600 m <sup>2</sup>
2	Wilgotność mieszanki gruntu lub kruszywa ze spoiwem		1 badanie na każde rozpoczęte 3000 m <sup>2</sup>
3	Rozdrobnienie gruntu		600 m <sup>2</sup>
4	Zagęszczenie warstwy		1 badanie na każde rozpoczęte 3000 m <sup>2</sup>
5	Grubość ulepszanego podłoża lub podbudowy	3	400 m <sup>2</sup>
6	Wytrzymałość na ściskanie - 7 i 28-dniowa	6 próbek	1 badanie na każde rozpoczęte 3000 m <sup>2</sup>
7	Badania spoiwa: - cementu	przy projektowaniu składu mieszanki i przy każdej zmianie	
8	Badania wody	dla każdego wątpliwego źródła	
9	Badania właściwości gruntu lub kruszywa	dla każdej partii i przy każdej zmianie rodzaju gruntu lub kruszywa	
10	Mrozoodporność	przy projektowaniu i w przypadkach wątpliwych	

Zmiana rodzaju kruszywa wymaga sprawdzenia receptury.

**6.3.2. Uziarnienie**

Próbki do badań należy pobierać z mieszarek przed podaniem spoiwa. Uziarnienie powinno być zgodne z wymaganiami podanymi w STWiORB.

**6.3.3. Wilgotność mieszanki**

Wilgotność mieszanki powinna być równa wilgotności optymalnej, określonej w projekcie składu tej mieszanki, z tolerancją +10%-20% jej wartości.

**6.3.4. Zagęszczenie warstwy**

Mieszanka powinna być zagęszczona do osiągnięcia wskaźnika zagęszczenia nie mniejszego od 1,00 oznaczonego zgodnie z BN-77/8931-12 [24].

**6.3.5. Grubość ulepszanego podłoża i podbudowy**

Grubość wykonanej warstwy oznaczana wg PN-EN 12697-36 [17] może odbiegać od projektu o wartość  $\pm 10\%$ . Dopuszcza się przy odbiorze warstwy przez zamawiającego pomiar za pomocą georadaru GPR.

**6.3.6. Wytrzymałość na ściskanie**

Wytrzymałość na ściskanie określa się na próbkach walcowych o średnicy i wysokości 8 cm. Probki do badań należy pobierać z miejsc wybranych losowo, w warstwie rozłożonej przed jej

zagęszczeniem. Próbkę w ilości 3 sztuk należy formować i przechowywać zgodnie z normą PN-EN 13286-50 [21]. Próbkę należy badać po 28 dniach przechowywania zgodnie z PN-EN 13286-41 [20] (system I). Wyniki wytrzymałości na ściskanie powinny być zgodne z wymaganiami podanymi w STWiORB.

Dopuszcza się badania wytrzymałości na ściskanie po 7 i po 14 dniach. Wymagana wytrzymałość w takim przypadku winna wynikać z receptury. Wymagana wytrzymałość po 28 dniach pozostaje bez zmian.

#### 6.3.7. Badania spoiwa

Dla każdej dostawy cementu Wykonawca powinien określić właściwości podane w STWiORB.

#### 6.3.8 Badania wody

W przypadku wątpliwości należy przeprowadzić badania wody wg PN-EN1008 [9].

#### 6.3.9 Badanie właściwości kruszywa

Właściwości kruszywa należy badać przy każdej zmianie rodzaju kruszywa. Właściwości powinny być zgodne z wymaganiami podanymi w STWiORB dotyczących ulepszanego podłoża i podbudowy.

### 6.4. Badania odbiorcze

**6.4.1** Wymagania dotyczące cech geometrycznych i wytrzymałościowych ulepszanego podłoża i podbudowy.

Częstotliwość oraz zakres badań i pomiarów dotyczących cech geometrycznych podaje tabl. 5.

Tablica 5. Częstotliwość oraz zakres badań i pomiarów wykonanego ulepszanego podłoża i podbudowy stabilizowanego spoiwem.

Lp.	Wyszczególnienie badań i pomiarów	Minimalna częstotliwość badań i pomiarów
1	Szerokość	co 50m
2	Równość podłużna	w sposób ciągły planografem albo co 50 m łąką każdego pasa
3	Równość poprzeczna	co 50 m
4	Spadki poprzeczne*	co 50m
5	Rzędne wysokościowe osi i krawędzi	Klasa S co 10m, klasy niższe co 20 m, a na odcinkach krzywoliniowych co 10 m
6	Ukształtowanie osi w planie*	co 100 m
7	Grubość ulepszanego podłoża i podbudowy	w 3 punktach lecz nie rzadziej niż raz na 2000 m <sup>2</sup>

\*) Dodatkowe pomiary spadków poprzecznych i ukształtowania osi w planie należy wykonać w punktach głównych łuków poziomych.

**6.4.2** Szerokość ulepszanego podłoża i podbudowy nie może różnić się od szerokości projektowanej o więcej niż + 10 cm,- 5 m.



Na jezdniach bez krawężników szerokość warstwy powinna być większa od szerokości warstwy wyżej leżącej, o co najmniej 25 cm lub o wartość wskazaną w dokumentacji projektowej.

#### **6.4.3 Równość podłużna**

Nierówności podłużne ulepszanego podłoża i podbudowy należy mierzyć 4-metrową łatą lub planografem, zgodnie z normą BN-68/8931-04 [25]. Nierówności poprzeczne warstwy mrozochronnej, ulepszanego podłoża i podbudowy należy mierzyć 4-metrową łatą.

Nierówności podłużne nie powinny przekraczać:

- 15 mm dla warstwy ulepszanego podłoża i podbudowy pomocniczej,
- 13 mm dla warstwy mrozochronnej.

Nierówności poprzeczne nie powinny przekraczać 18mm.

#### **6.4.4 Spadki poprzeczne**

Spadki poprzeczne ulepszanego podłoża i podbudowy powinny być zgodne z dokumentacją projektową z tolerancją  $\pm 0,5\%$ .

#### **6.4.5 Rzędne wysokościowe ulepszanego podłoża i podbudowy**

Różnice pomiędzy rzędnymi w osi i przy krawędziach wykonanej warstwy ulepszanego podłoża i podbudowy pomocniczej a rzędnymi projektowanymi nie powinny przekraczać + 0 cm, - 2 cm.

#### **6.4.6 Ukształtowanie osi ulepszanego podłoża i podbudowy**

Oś ulepszanego podłoża i podbudowy pomocniczej w planie nie może być przesunięta w stosunku do osi projektowej o więcej niż 5 cm.

## **7. Obmiar robót**

### **7.1. Ogólne zasady obmiaru robót**

Ogólne zasady obmiaru podano w STWiORB D-M.00.00.00. "Wymagania ogólne" [1].

### **7.2. Jednostka obmiarowa**

Jednostką obmiaru jest 1  $m^2$  (metr kwadratowy) wykonanej warstwy ulepszanego podłoża, warstwy mrozochronnej oraz warstwy podbudowy pomocniczej.

Pomiar szerokości warstwy dokonuje się na górnej powierzchni warstwy.

## **8. Odbiór robót**

Ogólne zasady odbioru robót podano w STWiORB D.00.00.00. "Wymagania ogólne" pkt 8 [1].

Roboty uznaje się za wykonane zgodnie z dokumentacją projektową, STWiORB i wymaganiami Przedstawiciela Zamawiającego, jeżeli wszystkie pomiary i badania z zachowaniem tolerancji według pkt 6 dały wyniki pozytywne.

## 9. Podstawa płatności

### 9.1. Ogólne ustalenia dotyczące podstawy płatności

Ogólne ustalenia dotyczące płatności podano w STWiORB D.00.00.00. "Wymagania ogólne" pkt 9 [1].

Płatność za 1 m<sup>2</sup> wykonanej warstwy należy przyjmować zgodnie z obmiarem, oceną jakości użytych wyrobów oraz materiałów i oceną jakości wykonanych robót, na podstawie wyników pomiarów i badań.

### 9.2. Cena jednostki obmiarowej

Cena wykonania 1m<sup>2</sup> warstwy obejmuje:

- prace pomiarowe i przygotowawcze,
- oznakowanie robót,
- zakup wyrobów i materiałów,
- zakup i dostarczenie wszystkich niezbędnych składników produkcji,
- dostarczenie wyrobów i materiałów, wyprodukowanie mieszanki i jej transport na miejsce wbudowania,
- dostarczenie, ustawienie, rozebranie i odwiezienie prowadnic oraz innych materiałów i urządzeń pomocniczych,
- rozłożenie i zagęszczenie mieszanki,
- pielęgnacja wykonanej warstwy,
- koszt odpadów i ubytków materiałowych,
- koszt robót tymczasowych, które są potrzebne do wykonania robót podstawowych, ale nie są przekazywane Zamawiającemu i są usuwane po wykonaniu robót podstawowych,
- koszt prac tymczasowych, które są niezbędne do wykonania robót podstawowych, niezaliczane do robót tymczasowych, jak geodezyjne wytyczenie robót itd.,
- przeprowadzenie niezbędnych badań laboratoryjnych i pomiarów wymaganych w Specyfikacji Technicznej,
- uporządkowanie miejsca prowadzonych robót.

## 10. Przepisy związane

### 10.1. Specyfikacje techniczne

- |     |              |  |
|-----|--------------|--|
| [1] | D-M.00.00.00 | Wymagania ogólne                                 |
| [2] | D.04.03.01   | Oczyszczenie i skropienie warstw konstrukcyjnych |

### 10.2. Normy

- |     |             |   |
|-----|-------------|---|
| [3] | PN-EN 196   | Metody badania cementu  |
| [4] | PN-EN 197-1 | Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku  |
| [5] | PN-EN 933-1 | Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Oznaczanie składu ziarnowego – Metoda przesiewania |
| [6] | PN-EN 933-3 | Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Oznaczanie kształtu                                |

- ziarn za pomocą wskaźnika płaskości
- [7] PN-EN 933-4 Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Oznaczanie kształtu ziarn – Wskaźnik kształtu
- [8] PN-EN 933-5 Badania geometrycznych właściwości kruszyw – Oznaczanie procentowej zawartości ziarn o powierzchniach powstałych w wyniku przekruszenia lub łamania kruszyw grubych
- [9] PN-EN 1008 Woda zarobowa do betonu – Specyfikacja pobierania próbek, badanie i ocena przydatności wody zarobowej do betonu, w tym wody odzyskanej z procesów produkcji betonu
- [10] PN-EN 1097-1 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Oznaczanie odporności na ścieranie (mikro-Deval)
- [11] PN-EN 1097-2 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie
- [12] PN-EN 1097-6 Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw – Część 6: Oznaczanie gęstości ziarn i nasiąkliwości
- [13] PN-EN 1367-1 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych – Część 1: Oznaczanie mrozoodporności
- [14] PN-EN 1367-3 Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych – Część 3: Badanie bazaltowej zgorzeli słonecznej metodą gotowania
- [15] PN-EN 1744-1 Badania chemicznych właściwości kruszyw – Analiza chemiczna
- [16] PN-EN 1744-3 Badania chemicznych właściwości kruszyw – Część 3: Przygotowanie wyciągów przez wymywanie kruszyw
- [17] PN-EN 12697-36 Mieszanki mineralno-asfaltowe -- Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco -- Część 36: Oznaczanie grubości nawierzchni asfaltowych
- [18] PN-EN 13242 Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym
- [19] PN-EN 13286- Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym – Część 2: Metody określania gęstości i zawartości wody – Zagęszczanie metodą Proctora
- [20] PN-EN 13286-41 Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym – Część 41: Metoda oznaczania wytrzymałości na ściskanie mieszanek związanych spoiwem hydraulicznym
- [21] PN-EN 13286-50 Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym – Część 50: Metoda sporządzania próbek związanych hydraulicznie za pomocą aparatu Proctora lub zagęszczania na stole wibracyjnym
- [22] PN-EN 14227-1 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym – Wymagania – Część 1: Mieszanki związane cementem
- [23] BN-88/6731-08 Cement. Transport i przechowywanie
- [24] BN-77/8931-12 Oznaczanie wskaźnika zagęszczenia gruntu
- [25] BN-68/8931-04 Drogi samochodowe. Pomiar równości nawierzchni planografem i łątą

### **10.3. Inne dokumenty**

- [26] Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym do dróg krajowych – WT-5 2010 Wymagania techniczne (zalecone do stosowania w specyfikacji technicznej na roboty budowlane na drogach krajowych wg zarządzenia nr 102 GDDKiA z dnia 19.11.2010 r.)
- [27] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz.U. nr 43, poz. 430)
- [28] Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych – Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 1997