



**Projekt realizowany w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia RID,  
finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju  
oraz Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad**

**Przedmiot umowy pt.:**

**Wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu**

**Tytuł przedmiotu umowy:**

**WYTYCZNE WYKORZYSTANIA MATERIAŁÓW POCHODZĄCYCH Z RECYKLINGU  
NAWIERZCHNI BETONOWYCH**

Akronim Projektu:	OT1-1A/IBDiM-PG-PW-PWr-PŚk-IOŚ-PIB-INSCH-ITB MORATEX
Numer umowy:	Nr DZP/RID-I-06/1/NCBR/2016
Lider i Współwykonawcy:	Instytut Badawczy Dróg i Mostów (Lider) Politechnika Gdańska Politechnika Warszawska Politechnika Wrocławska Politechnika Świętokrzyska Instytut Ochrony Środowiska – PIB Instytut Nowych Syntez Chemicznych Instytut Technologii Bezpieczeństwa "MORATEX"
Kierownik Projektu:	prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski
Data rozpoczęcia:	01.02.2016
Data zakończenia:	30.04.2018

Politechnika Wroclawska  
Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27, 50-370 Wrocław  
Zakład Dróg i Lotnisk  
tel./fax. (71) 320-23-52  
e-mail: antoni.szydlo@pwr.edu.pl

Temat badawczy: WYTYCZNE WYKORZYSTANIA MATERIAŁÓW POCHODZĄCYCH  
Z RECYKLINGU NAWIERZCHNI BETONOWYCH

Raport serii SPR nr 11/2018  
Zlecenie nr: DZP/RID-I-06/1/NCBR/2016  
Projekt RID I/6 „Wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu”  
Zadanie 6  
Zlecniodawcy:  
Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad  
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju

Zespół badawczy:

prof. dr hab. inż. Antoni Szydło – kierownik  
Zakład Dróg i Lotnisk

prof. dr hab. inż. Elżbieta Stilger-Szydło  
Katedra Geotechniki, Hydrotechniki, Budownictwa  
Podziemnego i Wodnego

dr inż. Bartłomiej Krawczyk  
Zakład Dróg i Lotnisk

dr hab. inż. Piotr Mackiewicz  
Zakład Dróg i Lotnisk

dr inż. Łukasz Skotnicki  
Zakład Dróg i Lotnisk

dr inż. Jarosław Kuźniewski  
Zakład Dróg i Lotnisk

mgr inż. Dariusz Dobrucki  
Zakład Dróg i Lotnisk

## Spis treści

<b>1. PRZEDMIOT I ZAKRES STOSOWANIA.....</b>	<b>4</b>
<b>2. PODSTAWOWE DEFINICJE .....</b>	<b>5</b>
<b>3. KRYTERIA REHABILITACJI NAWIERZCHNI BETONOWYCH.....</b>	<b>8</b>
<b>4. MATERIAŁ Z RECYKLINGU NAWIERZCHNI BETONOWYCH W KRUSZARKACH .....</b>	<b>10</b>
4.1. WYKORZYSTANIE W WARSTWACH NIEZWIĄZANYCH .....	11
4.1.1 PRZYDATNOŚĆ DO WARSTW PODBUDOWY POMOCNICZEJ I PODŁOŻA ULEPSZONEGO (W TYM WARSTW MROZOOCHRONNYCH).....	11
4.1.2. PRZYDATNOŚĆ DO WARSTW PODBUDOWY ZASADNICZEJ.....	13
4.1.3 .PRZYDATNOŚĆ DO WARSTW ODSĄCZAJĄCYCH.....	14
4.1.4. PRZYDATNOŚĆ DO BUDOWY I UMACNIANIA SKARP NASYPÓW .....	14
4.2. WYKORZYSTANIE W WARSTWACH ZWIĄZANYCH CEMENTEM.....	17
4.2.1. PRZYDATNOŚĆ DO WARSTW PODBUDOWY POMOCNICZEJ I PODŁOŻA ULEPSZONEGO.....	17
4.2.2. PRZYDATNOŚĆ DO WARSTW PODBUDOWY ZASADNICZEJ.....	18
4.3. WYKORZYSTANIE W WARSTWACH MCE .....	20
4.4. WYKORZYSTANIE W WARSTWACH NAWIERZCHNIOWYCH Z BETONU CEMENTOWEGO .....	23
<b>5 MATERIAŁ Z RECYKLINGU NAWIERZCHNI BETONOWYCH <i>IN SITU</i> .....</b>	<b>23</b>
5.1. PRZYDATNOŚĆ DO WARSTW PODBUDOWY NOWYCH NAWIERZCHNI SZTYWNYCH I PODATNYCH.....	26
5.2. ETAPY PROCESU REHABILITACJI NAWIERZCHNI BETONOWYCH <i>IN SITU</i> . .....	27
<b>6 NORMY I OPRACOWANIA ZWIĄZANE .....</b>	<b>29</b>

## 1. PRZEDMIOT I ZAKRES STOSOWANIA

Przedmiotem wytycznych są zalecenia wykorzystania materiałów pochodzących z recyklingu nawierzchni betonowych do powtórnego wykorzystania w warstwach konstrukcji nawierzchni i podłoża ulepszanego oraz wzmacniania nasypów drogowych. Materiał z recyklingu nawierzchni betonowych uzyskiwany jest w wyniku kruszenia w kruszarkach stacjonarnych, mobilnych, kruszarkach montowanych do ramienia koparki lub też z wykorzystaniem urządzeń kruszących *in situ*, służących do rozdrabniania wyeksploatowanych nawierzchni betonowych pod kątem wykorzystania jako podbudowy w nawierzchniach podatnych i sztywnych.

Wytyczne określają warunki powtórnego wykorzystania materiału, pochodzącego z recyklingu nawierzchni betonowych, w warstwach konstrukcji nawierzchni drogowej, podłoża ulepszanego oraz nasypów drogowych.

W przypadku kruszenia w kruszarkach do:

- a) warstw niezwiązanych
  - jako podbudowa zasadnicza
  - jako podłoże ulepszone lub podbudowa pomocnicza
  - jako warstwa odsączająca
  - w górnych warstwach nasypów
  - do wzmacniania skarp
  - do wzmacniania podłoża nasypów
- b) warstw związanych cementem
  - jako podbudowa zasadnicza
  - jako podłoże ulepszone i podbudowa pomocnicza
- c) warstw związanych spoiwem cementowo-emulsyjnym
- d) warstw nawierzchniowych z betonu cementowego

W przypadku kruszenia za pomocą urządzeń kruszących *in situ* do:

- a) niezwiązanych podbudów zasadniczych
- b) niezwiązanych podbudów pomocniczych

## 2. PODSTAWOWE DEFINICJE

*alfabetycznie:*

**Cement** – hydrauliczne spoiwo mineralne, otrzymywane w cementowniach z surowców mineralnych (margiel lub wapień i glina) przez wypalenie na klinkier w piecu cementowym, a następnie zmielenie otrzymanego spieku z gipsem, spełniającym rolę regulatora czasu wiązania.

**Destrukt betonowy** – materiał mineralno-cementowy powstały w wyniku kruszenia warstw konstrukcyjnych z betonu cementowego nawierzchni drogowych.

**Emulsja asfaltowa** – wodna zawiesina drobnych cząsteczek asfaltu, w których dodatkowa zawartość emulgatorów i stabilizatorów zapewnia trwałość otrzymanego układu. W zastosowaniu w budownictwie drogowym powinna być tak dobrana, aby jej czas rozpadu umożliwił równomierne połączenie wytrąconym asfaltem wszystkich ziaren mieszanki mineralnej oraz ułożenie i zagęszczenie mieszanki MCE.

**Grunt** – materiał, którego szkielet powstał w wyniku procesów geologicznych

**Grunt stabilizowany cementem** – mieszanka, w której następuje wiązanie i twardnienie na skutek reakcji hydraulicznych, składająca się z gruntu i cementu; wymieszana w sposób zapewniający uzyskanie jednorodnej mieszanki. Może być stosowana do wykonania warstw konstrukcji nawierzchni oraz podłoża ulepszanego

**Kruszarka** – maszyna rozdrabniająca, wykorzystująca proces kruszenia do wytwarzania kruszywa. Ze względu na mobilność całej maszyny można wyróżnić kruszarki stacjonarne, semi-mobilne - na podwoziu kołowym i mobilne - na gąsienicowym.

**Kruszywo doziarniające** – kruszywo umożliwiający korektę uziarnienia destruktu betonowego i zaprojektowanie krzywej uziarnienia mieszanki mineralnej, spełniającej warunki pola dobrego uziarnienia

**Kruszywo naturalne** – kruszywo pochodzenia mineralnego, które poza obróbką mechaniczną nie zostało poddane żadnej innej obróbce

**Kruszywo z recyklingu** – kruszywo powstałe w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału zastosowanego uprzednio w budownictwie

**Mieszanka MCE** – mieszanka mineralno-cementowo-emulsyjna o ciągłym uziarnieniu, składająca się z destruktu betonowego, kruszywa doziarniającego, emulsji asfaltowej, cementu oraz wody, powstała w wyniku recyklingu na zimno w wytwórni stacjonarnej, na miejscu budowy lub w warunkach laboratoryjnych.

**Mieszanka niezwiązana** – ziarnisty materiał, zazwyczaj o określonym składzie ziarnowym, który może być stosowany do wykonania warstw konstrukcji nawierzchni oraz podłoża ulepszanego. Mieszanka niezwiązana może być wytworzona z kruszyw naturalnych, sztucznych, z recyklingu lub mieszanki tych kruszyw.

**Mieszanka związana cementem** – mieszanka, w której następuje wiązanie i twardnienie na skutek reakcji hydraulicznych, składająca się z kruszywa o kontrolowanym uziarnieniu i cementu; wymieszana w sposób zapewniający uzyskanie jednorodnej mieszanki. Może być stosowana do wykonania warstw konstrukcji nawierzchni oraz podłoża ulepszanego

**Podbudowa pomocnicza** – warstwa tworząca platformę umożliwiającą prawidłowe wbudowanie podbudowy zasadniczej, a w czasie eksploatacji nawierzchni wspomagająca warstwy górne konstrukcji nawierzchni w rozłożeniu naprężeń od kół pojazdów oraz ochronę nawierzchni przed wysadzinami powodowanymi przez szkodliwe działanie mrozu.

**Podbudowa zasadnicza** – warstwa konstrukcji nawierzchni spełniająca podstawową funkcję w rozłożeniu naprężeń od kół pojazdów. Podbudowa zasadnicza może być jednowarstwowa lub dwuwarstwowa.

**Podłoże gruntowej budowli ziemnej (nasypu lub wykopu)** – strefa gruntu rodzimego poniżej spodu budowli ziemnej, której właściwości mają wpływ na projektowanie, wykonanie i eksploatację budowli ziemnej.

**Podłoże ulepszone** – 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, odsączającą, odcinającą i wzmacniającą, a w przypadku podłoża ulepszonych może ono spełniać funkcje wszystkich tych warstw jednocześnie

**Optymalna zawartość płynów** – zawartość wody i emulsji asfaltowej umożliwiające uzyskanie maksymalnej gęstości objętościowej mieszanki MCE podczas jej zagęszczania.

**Skarpa** - zewnętrzna umocniona boczna powierzchnia nasypu lub wykopu o kształcie i nachyleniu dostosowanym do właściwości gruntu i lokalnych uwarunkowań.

**Urządzenia kruszące *in situ*** – mobilne maszyny rozdrabniające nawierzchnię betonową, bez konieczności wcześniejszej rozbiórki nawierzchni.

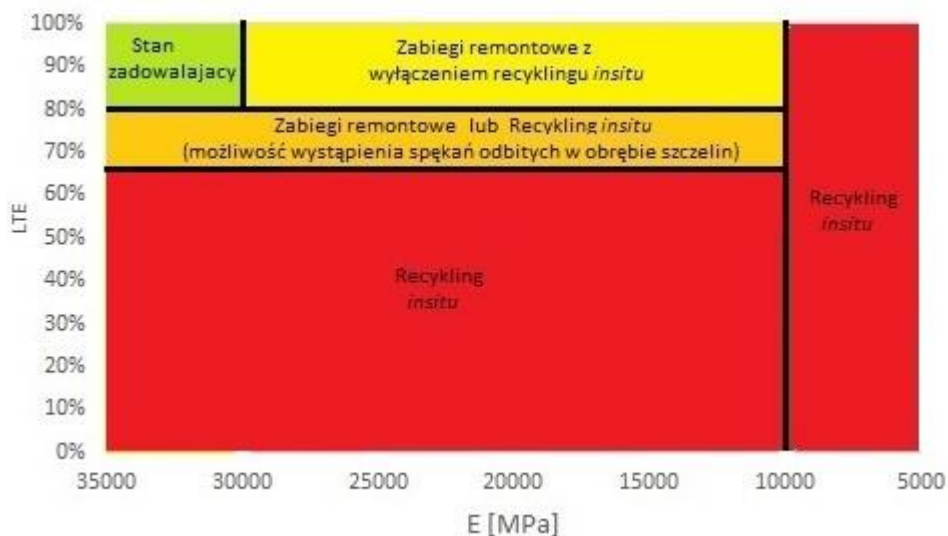
**Warstwa odsączająca** - warstwa zapewniająca odprowadzenie wody przedostającej się do spodu nawierzchni. Rolę warstwy odsączającej może pełnić warstwa mrozochronna albo warstwa ulepszonych podłoża. Aby warstwy te mogły pełnić funkcję warstwy odsączającej muszą być wykonane z materiału ziarnistego (mieszanki niezwiązanej lub z gruntu niewysadzinowego) o odpowiednim uziarnieniu i o współczynniku filtracji.

### 3. KRYTERIA REHABILITACJI NAWIERZCHNI BETONOWYCH

Zaleca się ustalanie zabiegów remontowych nawierzchni betonowych, wg rys.1, w oparciu o dwa parametry stanu oceny nawierzchni betonowych:

- Parametru (E), mówiącego o stanie nawierzchni betonowej, wyrażonego w jednostkach naturalnych tj. MPa. Wartość parametru (E) jest wynikiem identyfikacji modułu sprężystości warstwy nawierzchniowej z betonu cementowego, na podstawie pomiarów kompletnej czasy przemieszczeń (ugięć) przy użyciu ugięciomierza dynamicznego FWD. Jako wartość miarodajną parametru (E) przyjmować należy percentyl 85% ze zbioru wartości zidentyfikowanych dla odcinka jednorodnego.
- Parametru (LTE), mówiącego o współpracy płyt, wyrażonego w procentach. Wartość parametru (LTE) jest stosunkiem przemieszczeń pionowych (ugięć) dwóch sąsiednich płyt, z których jedna obciążona jest na krawędzi (D<sub>1</sub>), a druga pozostaje nieobciążona (D<sub>2</sub>) (1). Jako wartość miarodajną parametru (LTE) przyjmować należy percentyl 85% ze zbioru wartości wyznaczonych dla odcinka jednorodnego.

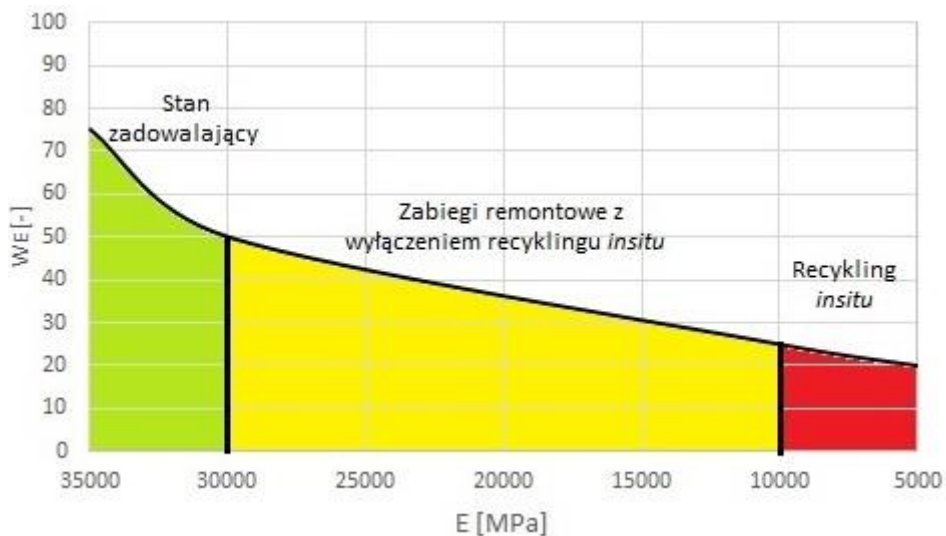
$$LTE = D_2/D_1 \times 100\% \quad (1)$$



Rys.1. Kryteria rehabilitacji nawierzchni betonowych



W przypadku braku pomiarów wartości parametru LTE dopuszcza się wyjątkowo ustalanie zabiegów remontowych wyłącznie w oparciu o wartości parametru E (rys. 2). Jest to oczywiście opcja uboższa, nie gwarantująca optymalnego rozwiązania.



Rys. 2. Kryteria rehabilitacji nawierzchni betonowych na podstawie wartości parametru E (w przypadku braku znajomości parametru LTE)

Kryteria odnośnie wzmacniania lub recyklingu nawierzchni betonowych są następujące:

- Jeżeli wskaźnik LTE jest większy lub równy od 0,8 (80%) i moduły płyt betonowych wynoszą powyżej 30 000 MPa - możliwa jest dalsza eksploatacja nawierzchni betonowych.
- Jeżeli wskaźnik LTE jest większy lub równy od 0,8 (80%) i moduły płyt betonowych wynoszą poniżej 30 000 MPa - możliwe jest wzmocnienie, w zależności od stanu płyt.
- Jeżeli wskaźnik LTE zawiera się w przedziale  $0,65 \leq LTE \leq 0,8$  i moduły płyt betonowych wynoszą powyżej 10 000 MPa - możliwe jest wzmocnienie o ograniczonej trwałości zmęczeniowej, ze względu na spękania odbite w obrębie szczelin.
- Jeżeli wskaźnik LTE jest mniejszy od 0,65 i moduły płyt wynoszą poniżej 30 000 MPa - zalecany recykling płyt.

- Jeżeli wskaźnik LTE jest mniejszy od 0,65 i moduły płyt wynoszą powyżej 30 000 MPa - zalecany recykling płyt.

#### **4. MATERIAŁ Z RECYKLINGU NAWIERZCHNI BETONOWYCH W KRUSZARKACH**

Do kruszenia betonu stosować można kruszarki stacjonarne, kruszarki mobilne oraz kruszarki mocowane do ramienia koparki. Przed przystąpieniem do kruszenia zaleca się wykonanie odwiertów i zidentyfikowanie parametrów wytrzymałościowych oraz nasiąkliwości i gęstości objętościowej betonu przeznaczonego do recyklingu, na próbkach walcowych z pobranych rdzeni, zwłaszcza w przypadku betonów o nieznanym pochodzeniu. Oceny wytrzymałości dokonać należy w oparciu o PN-EN 13791 oraz PN-EN 13877-2, jak dla rdzeni pochodzących z konstrukcji. Nie zaleca się oceny właściwości kruszywa z recyklingu na podstawie badań nieniszczących betonu przed rozkruszeniem (np. młotek Schmidta). Widok przykładowych kruszarek przedstawiono na rys. 3 i 4.



Rys.3. Przykładowa kruszarka mobilna na podwoziu gąsienicowym



Rys.4. Przykładowa kruszarka montowana do ramienia koparki

#### 4.1. WYKORZYSTANIE W WARSTWACH NIEZWIĄZANYCH

Dla każdej partii pozyskanego kruszywa z recyklingu należy określić odporność na rozdrabnianie wg PN-EN 1097-2 oraz mrozoodporność wg PN-EN 1367-1, w odniesieniu do wymagań krajowych WT-4.

Zaleca się stosowanie w warstwach niezwiązanych kruszywa z recyklingu o uziarnieniu zgodnym z WT-4, przy czym krzywa uziarnienia betonu recyklowanego zależy od typu oraz ustawień kruszarki, które powinny być dobierane na podstawie kontrolnych badań krzywej uziarnienia.

##### 4.1.1 PRZYDATNOŚĆ DO WARSTW PODBUDOWY POMOCNICZEJ I PODŁOŻA ULEPSZONEGO (W TYM WARSTW MROZOOCHRONNYCH)

Kruszywo z recyklingu nawierzchni betonowych stosowane może być w warstwach podbudowy pomocniczej i podłoża ulepszanego, w mieszankach z kruszywem naturalnym, lub samodzielnie. Do warstw podłoża ulepszanego mogą być stosowane następujące mieszanki kruszyw: 0/8; 0/11,2; 0/16; 0/22,4; 0/31,5; 0/45; 0/63. Do warstw podbudowy pomocniczej mogą być stosowane następujące mieszanki kruszyw: 0/31,5; 0/45; 0/63.

W warstwach podbudowy pomocniczej i podłoża ulepszanego zaleca się stosowanie kruszywa pozyskanego z betonu, którego graniczną klasą wytrzymałości na

ściskanie (wg pkt. 5) jest CC20, przy jednoczesnej wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu SC1,7, wg tab.1.

Tab.1. Zalecenia wobec betonu przeznaczonego do kruszenia na warstwy niezwiązane podbudowy pomocniczej i podłoża ulepszanego.

Badana cecha	Norma	Wymaganie
Wytrzymałość betonu na ściskanie	PN-EN 13877-2	CC20
Wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu	PN-EN 13877-2	SC1,7

Kruszywo do warstw niezwiązanych podbudowy pomocniczej i podłoża ulepszanego powinno spełniać wymagania wg tab.2.

Tab.2. Wymagania kruszywa do warstw niezwiązanych podbudowy pomocniczej i podłoża ulepszanego.

Badana cecha	Norma	Jednostka	Wymaganie	
			podłoże ulepszone	podbudowa pomocnicza
Odporność na rozdrabnianie	PN-EN 1097-2:2010	[%]	–	LA <sub>50</sub>
Mrozoodporność	PN-EN 1367-1:2007	[%]	F10	F10
Wskaźnik nośności CBR	PN-EN 13286 47:2012	[%]	>40	>60

Wymagania przedstawione w tab.2 (cechy kruszywa betonowego) uznaje się za nadrzędne względem zaleceń przedstawionych w tab.1 (cechy betonu przed kruszeniem), w przypadku nie spełnienia lub braku możliwości określenia cech wytrzymałościowych betonu przed kruszeniem.

#### 4.1.2. PRZYDATNOŚĆ DO WARSTW PODBUDOWY ZASADNICZEJ

Kruszywo z recyklingu nawierzchni betonowych stosowane może być w warstwach podbudowy zasadniczej, w mieszankach z kruszywem naturalnym, lub samodzielnie, pod warunkiem spełnienia wymagań WT-4.

W warstwie podbudowy zasadniczej zaleca się stosowanie kruszywa pozyskanego z betonu, którego graniczną klasą wytrzymałości na ściskanie (wg pkt. 5) jest CC30, przy jednoczesnej wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu SC2,0, wg tab.3.

Tab.3. Zalecenia wobec betonu przeznaczonego do kruszenia na warstwy niezwiązane podbudowy zasadniczej.

Badana cecha	Norma	Wymaganie
Wytrzymałość betonu na ściskanie	PN-EN 13877-2	CC30
Wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu	PN-EN 13877-2	SC2,0

Kruszywo do warstw niezwiązanych podbudowy zasadniczej powinno spełniać wymagania wg tab.4.

Tab.4. Wymagania kruszywa do warstw niezwiązanych podbudowy zasadniczej.

Badana cecha	Norma	Jednostka	Wymaganie	
			KR1-KR4	KR5-KR7
Odporność na rozdrabnianie	PN-EN 1097-2:2010	[%]	LA <sub>40</sub>	LA <sub>35</sub>
Mrozoodporność	PN-EN 1367-1:2007	[%]	F10	F10
Wskaźnik nośności CBR	PN-EN 13286 47:2012	[%]	>80	>80

Wymagania przedstawione w tab.4 (cechy kruszywa betonowego) uznaje się za nadrzędne względem zaleceń przedstawionych w tab.3 (cechy betonu przed kruszeniem), w przypadku nie spełnienia lub braku możliwości określenia cech wytrzymałościowych betonu przed kruszeniem.

#### 4.1.3 .PRZYDATNOŚĆ DO WARSTW ODSĄCZAJĄCYCH

Kruszywo z recyklingu nawierzchni betonowych stosowane może być w warstwach odsączających, w mieszankach z kruszywem naturalnym, lub samodzielnie, pod warunkiem spełnienia wymagań filtracji. Zaleca się odsianie z recyklowanego materiału przeznaczonego na warstwę odsączającą frakcji pylastej. Kruszywo do warstw odsączających powinno spełniać wymagania wg tab.5.

Tab.5. Wymagania kruszywa do warstwy odsączającej.

Badana cecha	Norma	Jednostka	Wymaganie
Współczynnik filtracji	PKN-CEN ISO/TS 17892-11	[cm/s]	> 0,0093

#### 4.1.4. PRZYDATNOŚĆ DO BUDOWY I UMACNIANIA SKARP NASYPÓW

Kruszywo z recyklingu nawierzchni betonowych stosowane może być w górnych warstwach nasypu, skarpach nasypu oraz w podłożu nasypu, w mieszankach z kruszywem naturalnym, gruntem lub samodzielnie, pod warunkiem spełnienia wymagań PN-S-02205. Wymaganie stawiane kruszywom do górnych warstwy nasypu powinno spełniać wymagania wg tab.6.

Tab.6. Wymagania kruszywa do górnych warstw nasypu.

Badana cecha	Norma	Jednostka	Wymaganie
Współczynnik filtracji	PKN-CEN ISO/TS 17892-11	[m/s]	> 6 x 10 <sup>-5</sup>
Wskaźnik różnoziarnistości	PN -B -04481	-	> 5

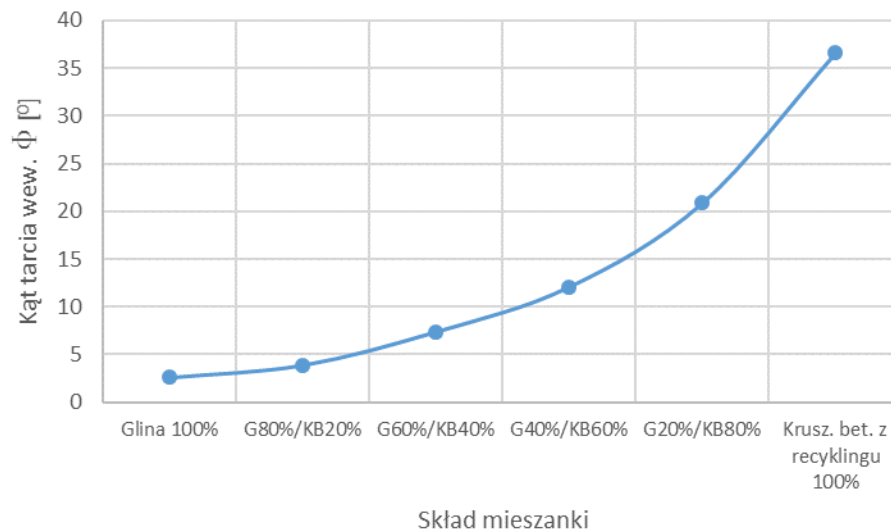
Przeprowadzone badania laboratoryjne antropogenicznego materiału gruntowego, wytworzonego w następstwie procesów kruszenia i przesiewania materiału pochodzącego z recyklingu nawierzchni betonowych oraz mieszania go z materiałem spoiwym (np. z gliną) wykazały, że posiada on właściwości gruboziarnistych gruntów niespoistych lub gruntów mało spoiwych. Zależy to od

procentowej zawartości dodawanego materiału spoiwego do destruktu betonowego (od 20 do 80%).

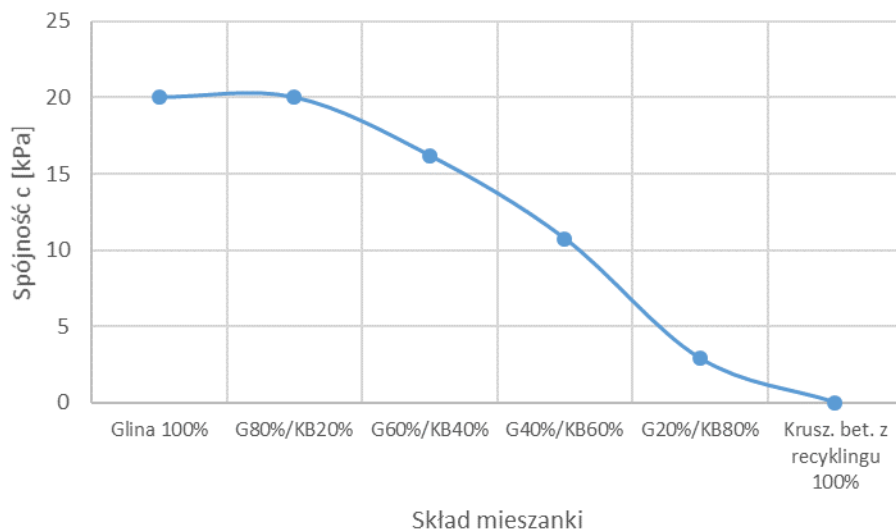
Wykonane przykładowe analizy stateczności skarp nasypów drogowych o wysokości do 10,0 m, posadowionych na podłożu nośnym (przy nachyleniu skarp 1:1,5) – wykazały, że nie wymagają one zbrojenia (skarpy), pod warunkiem zastosowania gruntów do budowy ich korpusów o następujących parametrach:

- $\phi \geq 15^\circ$ ;  $c \geq 17$  kPa;
- $\phi \geq 17^\circ$ ;  $c \geq 22$  kPa;
- $\phi \geq 32^\circ$ ;  $c = 0$  kPa.

Przykładowe szacunkowe wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności mieszanki destruktu betonowego i gliny przedstawiono na rys.5 i 6.



Rys. 5. Zmiana kąta tarcia wewnętrznego  $\Phi$  w zależności od składu mieszanki.



Rys. 6. Zmiana spójności C w zależności od składu mieszanki.

Duży jednak wpływ na stateczność skarp nasypów ma wytrzymałość i miąższość ich podłoża. Dlatego też każdy przypadek drogowych budowli ziemnych wymaga indywidualnych analiz pod kątem ich stateczności i nośności podłoża.

W przypadku występowania pod nasypem drogowym podłoża na szkodach górniczych lub podłoża słabonośnego (gruntów ściśliwych), którego nośność jest mniejsza od obciążenia nasypem, należy wzmocnić podłoże za pomocą materaca kamiennego owiniętego geosiatką. Materac ten powinien być usytuowany w podstawie nasypu i wypełniony materiałem pochodzącym z recyklingu o uziarnieniu 0/31,5 lub 0/63, spełniającego wymagania jak dla podbudowy zasadniczej. Wskaźnik zagęszczenia kruszywa min. 0,98. Grubość materaca oraz charakterystyka geosiatki i wtórny moduł na powierzchni warstwy z kruszywa powinny być określone w projekcie.



## 4.2. WYKORZYSTANIE W WARSTWACH ZWIĄZANYCH CEMENTEM

Kruszywo z recyklingu nawierzchni betonowych może być stosowane w mieszankach związanych cementem, o uziarnieniu zgodnym z PN-EN 14227-1:2013-10, lub do ulepszenia gruntów stabilizowanych cementem wg PN-EN 14227-15:2015-12.

Zalecana się ocenę parametrów wytrzymałościowych betonu przed kruszeniem, jak w pkt. 4.1.

### 4.2.1. PRZYDATNOŚĆ DO WARSTW PODBUDOWY POMOCNICZEJ I PODŁOŻA ULEPSZONEGO

Kruszywo z recyklingu nawierzchni betonowych stosowane może być w warstwach podbudowy pomocniczej i podłoża ulepszanego związanych cementem:

- w mieszankach z kruszywem naturalnym lub samodzielnie, pod warunkiem spełnienia wymagań PN-EN 14227-1:2013-10,
- w mieszankach z gruntem, pod warunkiem spełnienia wymagań PN-EN 14227-15:2015-12.

W warstwach podbudowy pomocniczej i podłoża ulepszanego zaleca się stosowanie kruszywa pozyskanego z betonu, którego graniczną klasą wytrzymałości na ściskanie (wg pkt. 5) jest CC20, przy jednoczesnej wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu SC1,7, wg tab.7.

Tab.7. Wymagania wobec betonu przeznaczonego do kruszenia na warstwy związane cementem podbudowy pomocniczej i podłoża ulepszanego.

Badana cecha	Norma	Wymaganie
Wytrzymałość betonu na ściskanie	PN-EN 13877-2	CC20
Wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu	PN-EN 13877-2	SC1,7

Kruszywo do warstw związanych cementem podbudowy pomocniczej i podłoża ulepszanego powinno spełniać wymagania odporności na rozdrabnianie wg tab.8.

Tab.8. Wymagania kruszywa do warstw związanych cementem podbudowy pomocniczej i podłoża ulepszanego.

Badana cecha	Norma	Jednostka	Wymaganie
Odporność na rozdrabnianie	PN-EN 1097-2:2010	[%]	LA <sub>60</sub>

Odstępuje się od wymagań nasiąkliwości oraz mrozoodporności kruszywa, na rzecz mrozoodporności gotowej mieszanki związanej cementem wg WT-5. Gotowa mieszanka lub grunt stabilizowany cementem powinien spełniać wymagania wytrzymałości wg tab.9 oraz mrozoodporności wg tab.10.

Tab.9. Wymagania wytrzymałości warstw związanych cementem podbudów pomocniczych i podłoża ulepszanego.

Bada cecha		KR1 – KR2	KR3 – KR4	KR5 – KR7
Klasa wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 14227-1:2013-10 lub PN-EN 14227-15:2015-12	Podbudowa pomocnicza	C <sub>1,5/2,0</sub>	C <sub>3/4</sub>	C <sub>5/6</sub>
	Podłoże ulepszone	C <sub>1,5/2,0</sub>	C <sub>1,5/2,0</sub>	C <sub>1,5/2,0</sub>

Tab.10. Wymagania mrozoodporności warstw związanych cementem podbudów pomocniczych i podłoża ulepszanego.

Rodzaj warstwy	Mrozoodporność wg pkt. 1.2.8 WT-5
	KR1 – KR7
Podbudowa pomocnicza	≥ 0,6
Podłoże ulepszone	-

#### 4.2.2. PRZYDATNOŚĆ DO WARSTW PODBUDOWY ZASADNICZEJ

Kruszywo z recyklingu nawierzchni betonowych stosowane może być w warstwach podbudowy zasadniczej związanej cementem, w połączeniu z kruszywem naturalnym, lub też stanowić wyłączny wsad do warstwy związanej, pod warunkiem

spełnienia wymagań PN-EN 14227-1:2013-10. W warstwach podbudowy zasadniczej zaleca się stosowanie kruszywa pozyskanego z betonu, którego graniczną klasą wytrzymałości na ściskanie (wg pkt. 5) jest CC30, przy jednoczesnej wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu SC2,0, wg tab.11.

Tab.11. Wymagania wobec betonu przeznaczonego do kruszenia na warstwy związane cementem podbudowy zasadniczej.

Badana cecha	Norma	Wymaganie
Wytrzymałość betonu na ściskanie	PN-EN 13877-2	CC30
Wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu	PN-EN 13877-2	SC2,0

Odstępuje się od wymagań nasiąkliwości oraz mrozoodporności kruszywa, na rzecz mrozoodporności gotowej mieszanki związanej cementem wg WT-5.

Kruszywo do warstw związanych cementem podbudowy zasadniczej powinno spełniać wymagania odporności na rozdrabnianie wg tab. 12.

Tab.12. Wymagania kruszywa do warstw związanych cementem podbudowy zasadniczej .

Badana cecha	Norma	Jednostka	Wymaganie
Odporność na rozdrabnianie	PN-EN 1097-2:2010	[%]	LA <sub>50</sub>

Gotowa mieszanka powinna spełniać wymagania wytrzymałości wg tab. 13 oraz mrozoodporności stawiane mieszankom związanym cementem wg tab. 14.

Tab.13. Wymagania wytrzymałości warstw związanych cementem podbudów zasadniczych.

Bada cecha	KR1 – KR2	KR3 – KR4	KR5 – KR7
Klasa wytrzymałości na sciskanie wg PN-EN 14227-1:2013-10	C <sub>3/4</sub> (nie więcej niż 6 MPa)	C <sub>5/6</sub> (nie więcej niż 10 MPa)	C <sub>8/10</sub> (nie więcej niż 20 MPa)

Tab.14. Wymagania mrozoodporności warstw związanych cementem podbudów zasadniczych.

Rodzaj warstwy	Mrozoodporność wg pkt. 1.2.8 WT- 5
	KR1 – KR7
Podbudowa zasadnicza	≥ 0,7

#### 4.3. WYKORZYSTANIE W WARSTWACH MCE

Kruszywo z recyklingu nawierzchni betonowych dopuszcza się do wykorzystania w warstwach MCE.

Zaleca się stosowanie następujących etapów projektowania składu mieszanek cementowo-emulsyjnych (MCE) z kruszywem z recyklingu:

##### a) Ustalenie uziarnienia mieszanki MCE

Stosowane materiały składowe należy wysuszyć do stałej masy. Następnie należy wykonać analizy sitowe materiałów składowych i przyjąć odpowiednie ilości kruszywa z recyklingu i materiału doziarniającego. Zalecana zawartość kruszywa z recyklingu w mieszance mineralnej (MM) wynosi od 20% do 60%. Krzywa uziarnienia MM powinna być płynna i ciągła oraz mieścić się w polu dobrego uziarnienia. Krzywe graniczne i pole dobrego uziarnienia mieszanki mineralnej powinny spełniać warunki wg tab.15.

Tab.15. Wymagania uziarnienia dla mieszanki mineralnej.

Sito # [mm]	Przechodzi przez sito [%]
63,0	100
31,5	80-100
16,0	55-93
8,0	35-80
4,0	25-67
2,0	16-55
1,0	9-43
0,5	5-33
0,125	2-15
0,063	0-12

b) Optymalizacja zawartości wody

Optymalna zawartość wody w mieszance MCE powinna gwarantować uzyskanie maksymalnego zagęszczenia. Wilgotność optymalną należy określić metodą Proctora wg normy PN-EN 13286-2. Należy zastosować metodę zmodyfikowaną oraz cylinder B. Całkowita zawartość wody w mieszance MCE stanowi wodę zawartą w emulsji oraz niezbędną wodę dodaną do uzyskania wilgotności optymalnej. Wilgotność naturalną kruszyw składowych należy pominąć, susząc je do stałej masy przed wykonaniem badań.

c) Zawartość emulsji asfaltowej

Zawartość emulsji asfaltowej w mieszankach MCE zawierających kruszywo z recyklingu powinna wynosić w granicach 6% - 8%.

d) Zawartość cementu

Zawartość cementu w mieszankach MCE zawierających kruszywo z recyklingu powinna wynosić w granicach 2% - 3%.

e) Formowanie próbek z mieszanki MCE i określenie cech fizycznych oraz mechanicznych wykonywanej mieszanki

Próbki należy zagęścić zgodnie z jedną z metod opisanych w normie PN-EN 13108-20 oraz z wymaganiami poszczególnych norm badawczych – tab. 16. Do zagęszczania próbek z mieszanki MCE należy stosować formy perforowane z otworami o średnicy 2 mm rozmieszczonymi równomiernie na ściankach formy. W badaniach wytrzymałości na rozciąganie pośrednie ITS, modułu sztywności IT-CY, odporności na działanie wody oraz zawartości wolnych przestrzeni należy zastosować próbki Marshalla zagęszczane przez ubijanie. Wymiary próbek Marshalla zagęszczanych przez ubijanie powinny wynosić: średnica  $101 \pm 2$  mm i wysokość  $63,5 \pm 3,5$  mm. W badaniach zespolonego modułu sztywności 4PB-PR oraz trwałości zmęczeniowej 4PB-PR należy stosować próbki w postaci pryzmatycznych beleczek. Belecze z płyty zagęszczonej przez wałowanie należy dociąć do wymiarów wymaganych przez normy badawcze. Zalecane wymiary beleczek to : wysokość  $60 \pm 3$  mm, wysokość  $50 \pm 3$  mm, długość  $380 \pm 5$  mm.

Okres dojrzewania próbek przed każdym badaniem powinien wynosić 28 dni, próbki przechowywane w powietrzu lub w wodzie. Badania należy wykonać w warunkach i zgodnie z normami badawczymi podanymi w tab. 16.

f) Wymagania dotyczące próbek z mieszanki MCE z kruszywem z recyklingu

Mieszanki MCE z kruszywem z recyklingu powinny spełniać wymagania podane w tab. 16.

Tab. 16. Wymagania dla próbek mieszanek MCE z kruszywem z recyklingu.

Właściwość	Norma badawcza	Metoda zagęszczania próbek wg PN-EN 13108-20	Wymaganie
Wytrzymałość na rozciąganie pośrednie ITS, T=+5°C, po 28 dniach w powietrzu	PN-EN 12697-23	C.1.3, PN-EN 12697-30 ubijanie, 2x75 uderzeń	0,60MPa - 1,30MPa
Moduł sztywności IT-CY, T=+5°C, po 28 dniach w powietrzu	PN-EN 12697-26	C.1.3, PN-EN 12697-30 ubijanie, 2x75 uderzeń	5000 MPa – 10000 MPa
Odporność na działanie wody (pozostała wytrzymałość na rozciąganie pośrednie w porównaniu do próbek po 28 dniach w powietrzu), T=+5°C, po 14 dniach w powietrzu i 14 dniach w wodzie	PN-EN 12697-23	C.1.3, PN-EN 12697-30 ubijanie, 2x75 uderzeń	min. 70%
Zawartość wolnych przestrzeni	PN-EN 12697-8	C.1.3, PN-EN 12697-30 ubijanie, 2x75 uderzeń	10% - 15%
Zespolony moduł sztywności 4PB-PR, T=+10°C po 28 dniach w powietrzu	PN-EN 12697-26	C.1.20, PN-EN 12697-33, wałowanie, P98-P100	2000 – 4000 MPa
Trwałość zmęczeniowa 4PB-PR, odkształcenie niszczące $\epsilon_6$ , T=+10°C, po 28 dniach w powietrzu	PN-EN 12697-24	C.1.20, PN-EN 12697-33, wałowanie, P98-P100	min. $90 \cdot 10^{-6}$ m/m

g) Ustalenie recepty mieszanki MCE

Recepta mieszanki MCE z kruszywem z recyklingu powinna spełniać wymagania dotyczące właściwości podanych w tab.16. Mieszanki MCE z kruszywem z recyklingu mogą być stosowane w warstwach podbudowy nawierzchni drogowych obciążonych ruchem KR1 – KR5.

#### 4.4. WYKORZYSTANIE W WARSTWACH NAWIERZCHNIOWYCH Z BETONU CEMENTOWEGO

Nie dopuszcza się stosowania kruszywa z recyklingu nawierzchni betonowych w nowych warstwach nawierzchniowych z betonu cementowego.

Niejednorodność materiału z recyklingu, w tym możliwość występowania zanieczyszczeń i reaktywność alkaliczno-krzemionkowa oraz wątpliwa odporność na rozdrabnianie i zdecydowanie niewystarczająca mrozoodporność dyskwalifikują kruszywo z recyklingu nawierzchni betonowych wg OST do stosowania zarówno w górnych, jak i dolnych warstwach nawierzchni z betonu cementowego.

### 5 **MATERIAŁ Z RECYKLINGU NAWIERZCHNI BETONOWYCH *IN SITU***

Materiał z recyklingu nawierzchni betonowych *in situ* dopuszcza się do wykorzystania jako warstwy niezwiązane podbudowy (zasadnicze i pomocnicze), przed wykonaniem nakładki wzmacniającej z warstw MMA lub betonu cementowego.

Ideą recyklingu *in situ* jest rozkruszenie (odprężanie) i dogęszczenie nawierzchni betonowej, co pozwala wyeliminować spękania odbite po wykonaniu nakładki wzmacniającej. Jednocześnie konieczne jest zapewnienie odpowiedniej nośności tak rozkruszonej warstwy.

Dopuszcza się dwie metody recyklingu nawierzchni betonowych *in situ*:

- a) Metoda łamacza wielomłotowego (rys. 7) - MHB (*Multi Head Breaker*), która polega na mechanicznym rozkruszaniu nawierzchni przy użyciu młotów, zwykle od 12 do 16, o ciężarze 500-900 kg, uderzających w nawierzchnię z regulowanej wysokości 0.3-1.5 m. Metoda ta pozwala na odprężanie pasa nawierzchni o szerokości od 0.8 m do 3.8 m, w zależności od ilości użytych młotów. W trakcie dziennej działki roboczej należy przyjąć przy użyciu MHB rozkruszenie 1.6 km

bieżącego nawierzchni (lub 3-5 km bieżących przy odprężaniu nawierzchni na duże bloki). Metoda ta, w zależności od ciężaru i wysokości zrzutu młotów, umożliwia uzyskiwanie mniejszych nacisków, w porównaniu z metodą RPB i może być wykorzystywana do odprężania cieńszych płyt betonowych na słabszym podłożu.



Rys.7. Widok urządzenia MHB

Wielkość kruszonych brył ma przełożenie na sztywność uzyskiwanej warstwy, im większe wymiary tym większy efektywny moduł sztywności, ale również i większe ryzyko wystąpienia spękań odbitych. Większe bryły pokruszonych płyt, wynoszące 30-45 cm korzystne są w przypadkach, gdy nośność podłoża pod płytami jest nieodpowiednia. Wówczas to rubblizing zmodyfikowany jest korzystniejszy z uwagi na mniejszą energię potrzebną w procesie łamania betonu oraz uzyskania nośnej podbudowy dla nowych warstw asfaltowych. Technologie rubblizingu uznaje się za odpowiednie rozwiązanie, gdy nawierzchnia betonowa wyczerpała już swoją żywotność. Dzieje się tak, kiedy nawierzchnia wykazuje pionowe przemieszczenia między płytami.



b) Metoda rezonansowa (rys. 8) - RPB (*Resonant Pavement Breaker*), która polega na rozkruszaniu nawierzchni za pomocą belki rezonansowej, drgającej z częstotliwością około 44 Hz, zakończonej stopą o szerokości 23 cm i masie 900 kg. Mała amplituda drgań ( 12,5-25 mm, typowo 20 mm) zapobiega degradacji dolnych warstw konstrukcji nawierzchni i podłoża oraz uszkodzeniom uzbrojenia podziemnego. Jednocześnie, uzyskuje się w tej metodzie równiejszą granulację rozkruszonego betonu, w porównaniu z metodą MHB. Prędkość przejazdu 6-8 km/h, przy niedużej szerokości stopy obciążającej, umożliwia rozkruszenie 5000 m<sup>2</sup> nawierzchni na frakcje <50mm, w ciągu dziennej działki roboczej



Rys.8. Widok urządzenia RPB

## 5.1. PRZYDATNOŚĆ DO WARSTW PODBUDOWY NOWYCH NAWIERZCHNI SZTYWNYCH I PODATNYCH

Przed kruszeniem nawierzchni betonowej *in situ* zaleca się wykonanie odwiertów kontrolnych i przeprowadzenie badań wytrzymałościowych. Ustala się graniczną dolną klasę wytrzymałości betonu przeznaczanego na warstwę podbudowy zasadniczej CC30 i jednocześnie wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu SC2,0 oraz CC20 i SC1,7, w przypadku betonu przeznaczanego na warstwę podbudowy pomocniczej.

Granulacja rozkruszonej (odprężanej) nawierzchni betonowej zależy od prędkości przejazdu urządzenia kruszącego *in situ* (MHB lub RBP). Drobniejsza granulacja rozkruszonej nawierzchni skutkuje mniejszymi modułami i większą grubością nakładki wzmacniającej. Zbyt gruba granulacja niesie za sobą ryzyko powstawania spękań odbitych po wykonaniu nakładki.

Rozróżnia się kruszenie pełne, w którym:

- 75% ziaren kruszywa betonowego po kruszeniu w górnej połowie płyty nie przekracza średnicy 50 mm,
- 98% ziaren kruszywa betonowego po kruszeniu w górnej połowie płyty nie przekracza średnicy 75 mm,
- W dolnej połowie rozkruszonej płyty występują elementy o średnicy max 300 mm

Kruszenie na bloki:

- małe – o boku 30 cm,
- średnie – o boku 60 cm,
- duże – o boku 90 cm.

W tab.17. podano szacunkowe moduły sprężystości, w zależności od stopnia rozkruszenia nawierzchni, dla płyt o grubości 22-30 cm.

Tab.17. Szacunkowe wartości modułów odprężonej nawierzchni betonowej

	$E_{min}$ [MPa]	$E_{sr}$ [MPa]	$E_{max}$ [MPa]
Pełne rozkruszanie	350	700	1000
Kruszenie na bloki	30 cm	60 cm	90 cm
E [MPa]	1500	1800	2500

Moduły sprężystości, zwłaszcza przy pełnym kruszeniu, zależą w dużym stopniu od nośności podłoża kruszonej nawierzchni.

Rozkruszanie nawierzchni na bloki jest zalecane w przypadku występowania podłoża lub warstw podbudowy o małej nośności ( $E < 50$  MPa pod nawierzchnią betonową).

Nie dopuszcza się pełnego kruszenia w przypadku występowania pod konstrukcją nawierzchni podłoża o wskaźniku nośności CBR=2% lub mniejszym. Nie dopuszcza się pełnego kruszenia płyt o grubości 10 cm lub mniejszej.

W przypadku kruszenia na bloki zalecane jest na odprężonej nawierzchni betonowej wykonanie warstwy profilującej z kruszywa, które zapobiega spękanom odbitym. Kruszywo to powinno spełniać wymagania WT-4 stawiane podbudowom zasadniczym. Jednocześnie, w przypadku pełnego rozkruszania, dopuszcza się wykonanie nakładki wzmacniającej bezpośrednio na odprężonej nawierzchni betonowej, z pominięciem warstwy profilującej.

## 5.2. ETAPY PROCESU REHABILITACJI NAWIERZCHNI BETONOWYCH *IN SITU*

Dopuszcza się odprężanie nawierzchni metodą rezonansową (RPB) lub metodą łamacza wielomłotowego (MHB).

Proces rehabilitacji nawierzchni betonowych *in situ* obejmuje kolejno:

- a) Usunięcie istniejących warstw MMA, jeżeli wykonane zostały wcześniejsze nakładki wzmacniające na płytach betonowych.

- b) Wykonanie odwiertów kontrolnych i ocenę parametrów wytrzymałościowych betonu, pod kątem przydatności do recyklingu *in situ*. Zaleca się wykonanie minimum jednego odwiertu na każdy 1 km bieżący pasa ruchu.
- c) Zapewnienie odprowadzenia wód opadowych (np. po przez ułożenie drenaży podłużnych za krawędzią pobocza), zwłaszcza w przypadku występowania wysokiego poziomu wody gruntowej. Podłoże o zbyt dużej wilgotności i małej nośności uniemożliwi właściwe rozkruszenie nawierzchni. Woda opadowa, uwięziona w warstwach rozkruszonego betonu, uniemożliwi właściwe zagęszczenie przed wykonaniem nakładki.
- d) Odcięcie nawierzchni przeznaczonej do rehabilitacji od innych powierzchni utwardzonych, po przez wykonanie pełnych dylatacji.
- e) Rozkruszenie nawierzchni betonowej do stanu podbudowy podatnej (eliminacja spękań odbitych) o jak największej nośności. Szacunkowe moduły sprężystości przyjmować wg tab. 17.
- f) Usunięcie widocznych elementów zbrojenia, dybli i kotew.
- g) Wykonanie odkrywek kontrolnych uziarnienia po rozkruszeniu. W obszarach nawierzchni, w których uzyskana granulacja po kruszeniu nie spełnia założeń metody, należy dokonać wymiany materiału np. na kruszywo kamienne.
- h) Zagęszczenie walcami, do uzyskania wymaganych parametrów nośności i zagęszczenia. Zaleca się przeprowadzenie 2-3 przejazdów walca.
- i) Kontrolę zagęszczenia warstwy można prowadzić wykorzystując ugięciomierz dynamiczny FWD. Obciążając dwukrotnie w zakresie nacisku do 35 kN i rejestrując przemieszczenia pod geofoną centralną. Stosunek ugięć przy pierwszym cyklu do ugięć w drugim cyklu nie powinien być większy od 3.
- j) Kontrola modułów rozkruszonej warstwy przed wykonaniem nakładki, po przez pomiar czaszy ugięć metodą dynamiczną (FWD). W przypadku wykonania warstwy profilującej z kruszywa pomiary ugięć należy wykonać przed i po wykonaniu warstwy profilującej. Zaleca się przeprowadzanie pomiarów ugięć nie rzadziej niż co 100 m, z przesunięciem 50 m między pasami ruchu na tej samej jezdni. W obszarach nawierzchni o niewystarczającej nośności należy dokonać wymiany materiału np. na kruszywo kamienne, spełniające wymagania WT-4.

- k) Możliwe jest zastosowanie warstwy profilującej z mieszanki niezwiązanej o uziarnieniu 0.31,5 lub 0/63 w celu doprowadzenia do wymaganych równości i spadków.
- l) Grubość nakładki wzmacniającej zaleca się projektować metodą mechanistyczną, na podstawie zidentyfikowanych modułów i wcześniejszej identyfikacji wgłębnej.
- m) Sprawdzić należy warunek mrozoodporności konstrukcji. Jeżeli nie jest spełniony to należy dodatkowo zaprojektować warstwę mrozoochronną lub inną w zależności jaką funkcję będzie spełniała warstwa poddana recyklingowi *in situ*.
- n) Zaleca się jak najszybsze wykonanie nakładki wzmacniającej, po zakończeniu procesu rozkruszania i kontroli nośności. Nie zaleca się prowadzenia ruchu pojazdów (w tym ruchu technologicznego) po odprężonej nawierzchni, przed wykonaniem nakładki.

Zalecane jest wykonanie odcinków próbnych, przed przeprowadzeniem procesu rehabilitacji nawierzchni betonowej.

## 6 NORMY I OPRACOWANIA ZWIĄZANE

PKN-CEN ISO/TS 17892-11:2009 *Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 11: Badanie filtracji przy stałym i zmiennym gradiencie hydraulicznym.*

PN-EN 1097-2:2010 *Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 2: Metody oznaczania odporności na rozdrabnianie.*

PN-EN 1097-6:2013-11 *Badania mechanicznych i fizycznych właściwości kruszyw. Część 6: Oznaczanie gęstości ziarn i nasiąkliwości.*

PN-EN 1367-1:2007 *Badania właściwości cieplnych i odporności kruszyw na działanie czynników atmosferycznych. Część 1: Oznaczanie mrozoodporności.*

PN-EN 12697-8 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 8: Oznaczanie zawartości wolnej przestrzeni.*

PN-EN 12697-23 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań. Część 23: Oznaczanie wytrzymałości mieszanki mineralno-asfaltowej na rozciąganie pośrednie.*

PN-EN 12697-24 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 24: Odporność na zmęczenie.*

PN-EN 12697-26 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 26: Sztywność.*

PN-EN 12697-30 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 30: Przygotowanie próbek zagęszczonych przez ubijanie.*

PN-EN 12697-33 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Metody badań mieszanek mineralno-asfaltowych na gorąco. Część 33: Przygotowanie próbek zagęszczanych urządzeniem wałującym.*

PN-EN 13108-20 *Mieszanki mineralno-asfaltowe. Wymagania. Część 20: Badanie typu.*

PN-EN 13286-2:2010 *Mieszanki niezwiązane i związane hydraulicznie. Część 2: Metody badań laboratoryjnych gęstości na sucho i zawartości wody. Zagęszczanie metodą Proctora.*

PN-EN 13286-47:2012 *Mieszanki niezwiązane i związane spoiwem hydraulicznym. Część 47: Metoda badania do określenia kalifornijskiego wskaźnika nośności, natychmiastowego wskaźnika nośności i pęcznienia liniowego.*

PN-EN 13791:2008 *Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych.*

PN-EN 13877-2:2013-08 *Nawierzchnie betonowe. Część 2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych.*

PN-EN 14227-1:2013-10 *Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Specyfikacje. Część 1: Mieszanki związane cementem.*

PN-EN 14227-15:2015-12 *Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym. Specyfikacje. Część 15: Grunty stabilizowane hydraulicznie.*

PN-S-02205:1998 *Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania.*

WT-4 *Mieszanki niezwiązane do dróg krajowych.*

WT-5 *Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym do dróg krajowych.*

*Instrukcja projektowania i wbudowywania mieszanek mineralno-cementowo-emulsyjnych (MCE), Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Gdańsk 2014.*

*Ogólne Specyfikacje Techniczne. Rozdział III. Dział 06. Nawierzchnia z betonu cementowego.*