

Przydatność materiałów pochodzących z recyklingu betonu przy realizacji budowli ziemnych i podłoża ulepszonego obiektów infrastruktury transportowej

Suitability of recycled concrete aggregate for transportation infrastructure embankments and improved subgrade

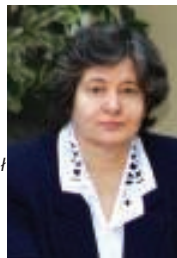


Bartłomiej Krawczyk

Dr inż.

Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Zakład Dróg i Lotnisk

b.krawczyk@pwr.wroc.pl



Elżbieta Stilger-Szydło

Prof. dr hab. inż.

Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Katedra Geotechniki, Hydrotechniki, Budownictwa Podziemnego i Wodnego

elzbieta.stilger-szydlo@pwr.edu.pl

Streszczenie: Tematem artykułu jest wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu nawierzchni betonowych w kruszarkach do wykonania nasypów drogowych i podłoża ulepszonego. Opady betonowe stanowią alternatywne źródło kruszywa, zastępując kruszywo naturalne. Przeprowadzono badania kruszywa betonowego z recyklingu w odniesieniu do obowiązujących wymagań krajowych. Wykazano przydatność kruszywa betonowego z recyklingu do ponownego wbudowania w niezwiązane i związane cementem warstwy podłoża ulepszonego oraz wskazano na ograniczenia w stosowaniu tego typu materiałów. Przedstawiono problem wykorzystania materiałów pochodzących z recyklingu nawierzchni betonowych przy budowie nasypów drogowych.

Słowa kluczowe: *Kruszywo betonowe z recyklingu; Warstwy niezwiązane; Warstwy związane cementem; Nasypy drogowe*

Abstract: The paper presents research in the field of utilizing materials recycled from concrete pavements through crushing and re-incorporating them in road embankments and improved subgrade layers. Crushed concrete rubble is an alternative source of aggregates, replacing natural aggregates. Recycled concrete aggregate was tested with regard to the current national requirements. It was proven that recycled concrete aggregate is a suitable material for incorporation into new unbound and cement-bound layers of the improved subgrade. The problem of utilization recycled concrete aggregate in road embankments is also addressed in the paper. Limitations in the use of recycled concrete aggregate are also shown in the paper.

Keywords: *Recycling concrete aggregate; unbound layers; cement bound layers; road embankments*

Kruszywo z recyklingu jest to kruszywo powstałe w wyniku przeróbki nieorganicznego materiału, zastosowanego uprzednio w budownictwie; w tym przypadku betonu [5]. Na świecie następuje systematyczny wzrost recyklingu materiałów betonowych. Wykorzystanie kruszywa betonowego z recyklingu pozwala na znaczne zredu-

kowanie zapotrzebowania na drogie i coraz trudniej dostępne kruszywo naturalne. Ponadto użycie kruszywa recyklowanego prowadzi do praktycznego rozwiązania problemu środowiskowego: redukuje negatywny wpływ na środowisko, związany z wydobyciem kruszywa z zasobów naturalnych oraz powoduje ograniczenie emisji

szkodliwych gazów cieplarnianych. Uzyskane w ten sposób korzyści ekonomiczne są nie do przecenienia. W niniejszym artykule przedstawiono badania w zakresie możliwości powtórnego wykorzystania kruszywa pochodzącego z recyklingu (RCA – Recycling concrete aggregate) nawierzchni betonowych, wytworzone-



1. Widok wstępnie rozkruszonej płyty



2. Widok kruszarki montowanej do ramienia koparki



3. Recyklowane kruszywo betonowe uzyskane po przekruszeniu płyt

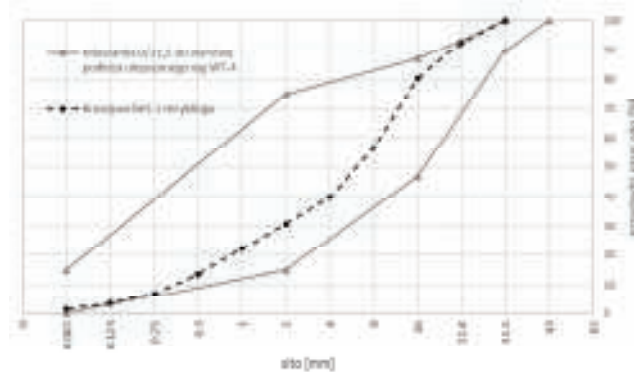
go w kruszarkach. Przeanalizowano zastosowanie RCA w mieszankach niezwiązanych i związanych cementem do warstw ulepszonych podłoża oraz do budowy nasypów, w tym warstw filtracyjnych, skarp oraz jako wzmocnienie podłoża pod nasypami. Wykazano, że w warunkach polskich możliwe jest zastosowanie recyklowanego kruszywa betonowego do wykonania podłoża ulepszonych oraz budowy nasypów po weryfikacji właściwości fizyko-mechanicznych uzyskanego kruszywa betonowego. Stwierdzono przydatność kruszywa betonowego do ponownego wbudowania w warstwy związane cementem i warstwy niezwiązane, w tym warstwy filtracyjne, górne warstwy nasypów i skarpy.

Badania kruszywa betonowego

Kruszywo z recyklingu pozyskano z rozbiórek istniejących nawierzchni betonowych z płyt prefabrykowanych oraz wylewanych na mokro. Widok przykładowych płyt z rozbiórki przedstawiono na rys. 1.

Wstępnie rozkruszone nawierzchnie przekruszono przy użyciu kruszarek semi-stacjonarnych, bądź też montowanych do ramienia koparki gąsienicowej (rys. 2), uzyskując frakcje zbliżone do typowych mieszanek 0/31,5 i 0/63, w zależności od ustawień kruszarki (rys. 3).

Na próbkach walcowych z pobranych przed kruszeniem rdzeni określono parametry wytrzymałościowe oraz nasiąkliwość i gęstość objętościową



4. Przykładowa krzywa uziarnienia kruszywa betonowego z recyklingu po przekruszeniu w odniesieniu do wymagań WT-4

betonów z płyt drogowych (P1 - prefabrykowanych, P2 – wylewanych na mokro), w porównaniu z betonem konstrukcyjnym ze stóp i ław fundamentowych budynku (K3). Klasę wytrzymałości betonu na ściskanie wg PN-EN 13877-2 [6] określono na CC30, w odniesieniu do płyt prefabrykowanych oraz CC40, w odniesieniu do płyt wylewanych na mokro. Klasę wytrzymałości betonu z elementów pochodzących z konstrukcji fundamentów obiektów kubaturowych określono na CC20.

Przydatność kruszywa betonowego do warstw niezwiązanych podłoża ulepszonych

Określono właściwości fizyko-mechaniczne kruszywa betonowego z recyklingu w podstawowych badaniach laboratoryjnych. Wyniki badań odniesiono do wymagań krajowych WT-4 [9] i zestawiono w tab. 1.

Przykładową krzywą uziarnienia kruszywa betonowego z recyklingu po przekruszeniu w kruszarce przedstawiono na rys. 4.

Stwierdzono, że pozyskane kruszywo betonowe nie spełnia wymagań nasiąkliwości stawianym podłożu ulepszonemu wg WT-4. Wyniki badań mrozoodporności wskazują jednak na możliwość wykorzystania takiego kruszywa, bez doziarniania kruszywem kamiennym (rezygnacja z wymagania nasiąkliwości 2% pod warunkiem spełnienia wymagania mrozoodporności dla kruszyw z recyklingu na poziomie 10%). Jednocześnie stwierdzono, że kruszywo betonowe pozyskane

Tab. 1. Zestawienie wyników badań kruszywa betonowego z recyklingu

Badana cecha	Norma	Jednostka	Beton			Wymagania wg WT-4
			P1	P2	K3	podbudowa pomocnicza i podłoże ulepszone
Odporność na rozdrabnianie (10/14)	PN-EN 1097-2:2010	[%]	44,4	32,2	38,6	LA ₅₀ **
Nasiąkliwość 0,063/4 4/8 8/16 16/31,5	PN-EN 1097-6:2013 (met. piknometryczna)	[%]	5,1 5,0 4,5 4,6	8,2 6,7 5,3 5,8	9,6 8,4 7,5 7,7	WA ₂₄ 2
Mrozoodporność 4/8 8/16 16/31,5	PN-EN 1367-1:2007*)	[%]	4,56 4,47 2,55	6,76 3,90 4,48	6,66 9,16 11,54	F10 kruszywa z recyklingu

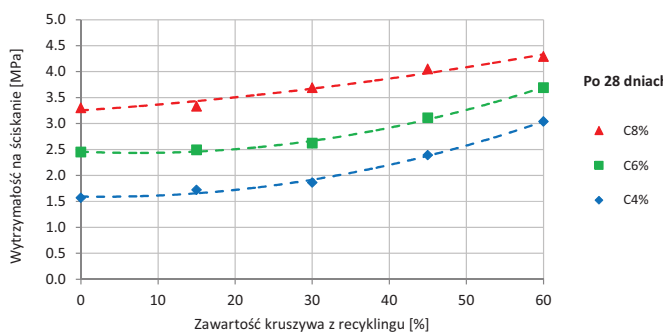
*Badanie mrozoodporności jest wymagane tylko dla kruszyw o nasiąkliwości powyżej 2%

**Nie dotyczy podłoża ulepszonych wg WT4

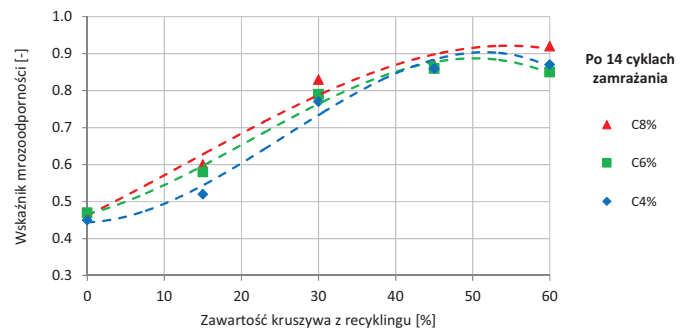
*** LA35 dla KR5 i powyżej wg WT4

Tab. 2. Wyniki badań wskaźnika nośności CBR wg PN-EN 13286-47:2012

CBR [%]	Wyniki badań			Wymagania
	Kruszywo bet. z recyklingu 0/31,5	Mieszanka betonowo-kamienna 1:1 0/31,5	Kruszywo granitowe 0/31,5	Podłoże ulepszone wg WT-4
PARTIA 1	126	141	186	> 40
PARTIA 2	90	110		



5. Wpływ zawartości kruszywa betonowego z recyklingu w mieszance na wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach w zależności od zawartości cementu C



6. Wpływ zawartości kruszywa betonowego z recyklingu w mieszance na wartość wskaźnika mrozoodporności mieszanek stabilizowanych cementem po 14 cyklach zamrażania w zależności od zawartości cementu C

z kruszenia elementów kubaturowych posiada gorszą odporność na rozdrabnianie oraz nasiąkliwość i mrozoodporność, w stosunku do kruszywa pozyskanego z kruszenia płyt drogowych. Zależność ta wyraźnie koreluje z niższą wytrzymałością na ściskanie odwiertów z elementów kubaturowych przed kruszeniem.

Przeprowadzono badania wskaźnika nośności CBR na dwóch partiach kruszywa betonowego z recyklingu pochodzącego z przekruszenia płyt wylewanych na mokro (P2) Wyniki tych badań, w odniesieniu do WT-4 zestawiono w tab. 2. Porównano nośność kruszywa betonowego z recyklingu z wynikami badań kruszywa granitowego 0/31,5 oraz mieszanki betonowo-kamiennej 1:1, także o uziarnieniu 0/31,5.

Istotnie wyższy wskaźnik nośności CBR uzyskują mieszanki z kruszywa granitowego, w porównaniu do kruszywa betonowego. Widoczna jest różnica wyników uzyskanych na obu partiach kruszywa betonowego z recyklingu. Taka niejednorodność jest charakterystyczna dla materiałów pochodzących z recyklingu, często o niesprecyzowanym wieku, pochodzeniu i różnym stopniu wyeksploatowania. Jest to problem często poruszany w literaturze światowej. W obu jednak przypadkach wymagania nośności stawiane mieszankom wg WT-4, zwłaszcza w odniesieniu do podłoża ulepszanego, zostały spełnione z nadkładkiem.

Przeprowadzono również badania współczynnika filtracji, które wskazały wystarczającą dla warstwy odsączają-

cej, wg WT-4, wodoprzepuszczalność na poziomie 0,02-0,03 cm/s po odsianiu z kruszywa betonowego z recyklingu 0/31,5 frakcji pylastej do 0,063 mm.

Przydatność kruszywa betonowego z recyklingu do warstw podłoża ulepszanego związanych cementem

Autorzy przeprowadzili badania gruntów z dodatkiem recyklowanego kruszywa betonowego, stabilizowanego cementem wg PN-S-96012:1997 [8] oraz mieszanek związanych cementem do warstw podłoża ulepszanego, wg WT-5 [10].

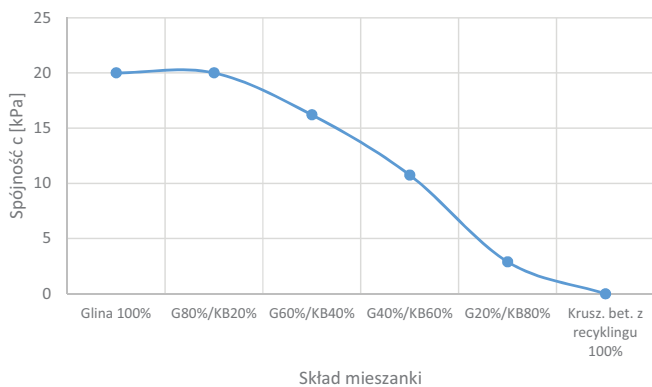
Szczegółowe wyniki badań gruntów stabilizowanych cementem z dodatkiem kruszywa betonowego z recyklingu przedstawiono w [3]. Stwierdzono możliwość ograniczenia ilości cementu w mieszance grunto-cementowej, po dodaniu kruszywa betonowego z recyklingu. Wykazano wyraźny przyrost wytrzymałości przy zawartości kruszywa betonowego z recyklingu na poziomie 40%. W zależności od zawartości cementu i kruszywa betonowego z recyklingu w mieszance grunto-cementowej uzyskano wytrzymałości na poziomie C1,5/2,0 – C3/4, co wg WT-5 obejmuje wymagania dla mieszanek na warstwy podłoża ulepszanego, a także podbudowy pomocniczej. Wyniki wytrzymałości gruntu stabilizowanego cementem, w zależności od zawartości kruszywa betonowego z recyklingu i cementu w mieszance, przedstawiono na rys. 5. Wykazano również istotny

wpływ zawartości kruszywa betonowego z recyklingu w mieszance grunto-cementowej na mrozoodporność mieszanki (rys. 6).

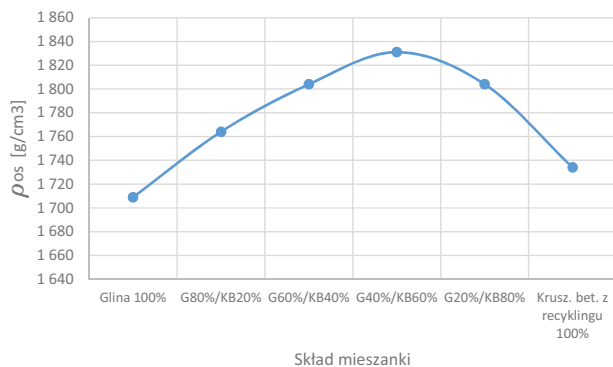
Przydatność kruszywa betonowego z recyklingu do górnych warstw nasypu, wzmacniania podłoży nasypów i umacniania skarp

Przeprowadzono badania kruszywa z recyklingu nawierzchni betonowych pod kątem wykorzystania w górnych warstwach nasypów, wzmacniania podłoży pod nasypami oraz umacniania skarp nasypów. Wykonano badania kąta tarcia i spójności. Wykonano analizy stateczności skarp nasypów, wykorzystując uzyskane parametry kruszywa i określono warunki oraz kryteria wykorzystania tego kruszywa do wzmacniania skarp nasypów, w celu uzyskania wymaganych stateczności.

Do oceny przydatności kruszywa pochodzącego z recyklingu betonu wykonano badania spójności oraz kąta tarcia wewnętrznego. Są to parametry, które decydują o stateczności skarp nasypów i wykopów. W związku z tym, że użycie samego materiału z recyklingu może być ekonomicznie nieuzasadnione, przeprowadzono badania mieszaniny gruntu i kruszywa pochodzącego z recyklingu. Do badań w aparacie ścinania użyto gruntu wątpliwej przydatności do budowy nasypów i umacniania skarp (głina pylasta) oraz kruszywa betonowego z recyklingu o zaprojektowanym uziarnieniu 0/8 mm. Wykonano badania ścinania dla gruntu, kruszywa betonowego z recyklingu oraz mieszanek



7. Zmiana wilgotności w zależności od składu mieszanki



8. Zmiana maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu w zależności od składu mieszanki

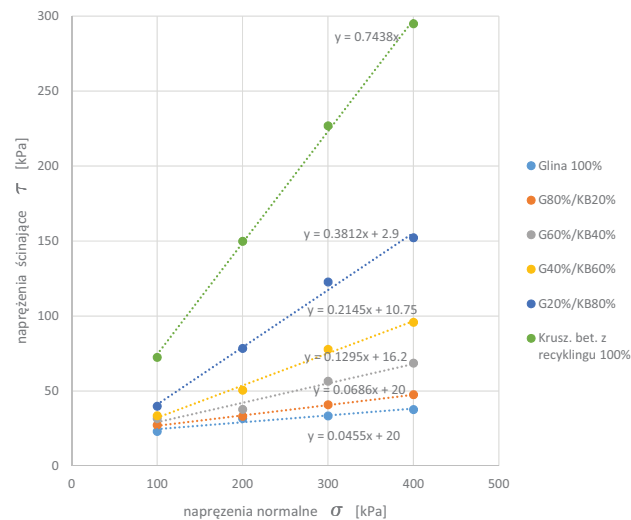
tych dwóch materiałów. Badane mieszanki miały następujące proporcje gruntu i kruszywa betonowego z recyklingu: 20/80%, 40/60%, 60/40%, 80/20%. Dla każdego z badanych materiałów określono zagęszczalność metodą Proctora. Wyznaczono wilgotność optymalną i maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego (kruszywa; mieszanki). Wyniki badań przedstawiono na rys. 7-8. Próbkę przeznaczoną do wykonania ścinania bezpośredniego zostały zagęszczane przy wilgotności optymalnej.

Każdy z badanych materiałów ścinany był cztery razy przy różnych na-

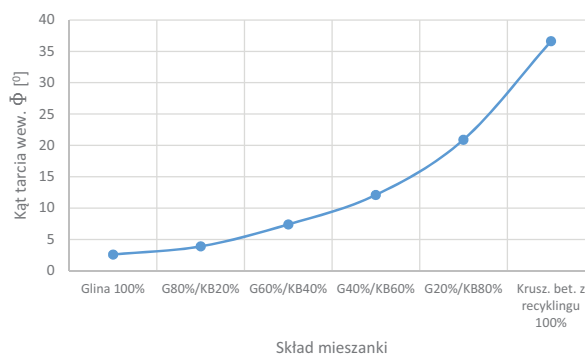
prężeniach normalnych $\sigma = 100, 200, 300$ i 400 kPa. W czasie testu wyznaczano naprężenia ścinające τ przy których następowało ścięcie próbki. Zależność naprężeń ścinających od normalnych przedstawiono na rys. 9.

Na rys. 9 przedstawiono liniowe zależności: $\tau = c + \sigma \cdot \tan \varphi$ dla każdej mieszanki. W ten sposób wyznaczono kąty tarcia wewnętrznego i spójności. Wyniki przeprowadzonych obliczeń przedstawiono na rys. 10-11.

Przeprowadzone badania laboratoryjne antropogenicznego materiału gruntowego, wytworzonego w następstwie procesów kruszenia i prze-

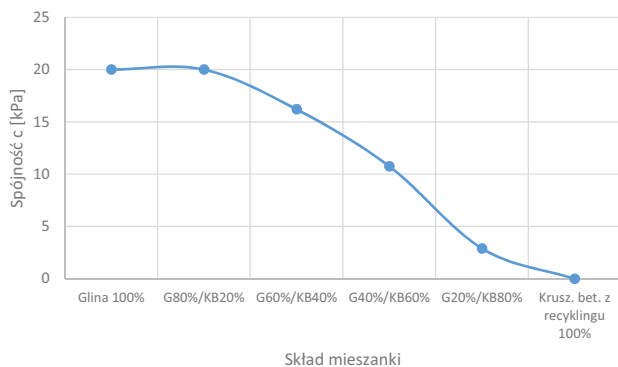


9. Zależność naprężeń ścinających od normalnych

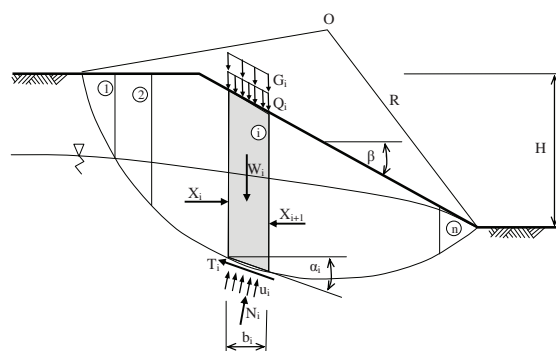


10. Zmiana kąta tarcia wewnętrznego φ w zależności od składu mieszanki

siewania materiału pochodzącego z recyklingu nawierzchni betonowych oraz mieszania go z gliną wykazały, że posiada on właściwości gruboziarnistych gruntów niespoistych lub gruntów mało spoistych. Zależy to od procentowej zawartości dodawanej gliny do kruszywa betonowego z recyklingu (od 20 do 80%). Możliwe zatem jest zastosowanie go do wbudowania w skarpy nasypu. W celu oceny przydatności kruszywa pochodzącego z recyklingu nawierzchni betonowych wykonano analizy stateczności skarp nasypów drogowych budowli ziemnych. Wobec usunięcia z Warunków



11. Zmiana spójności C w zależności od składu mieszanki



12. Schemat metody Bishopa (uproszczonej) [10]

technicznych jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich projektowanie [4] załącznika 4, w którym sprecyzowane były warunki stateczności skarp, Autorzy posłużyli się Eurokodem 7 [2]. Projektowanie zgodnie z Eurokodem 7 wymaga wykazania, że obliczeniowe skutki oddziaływań E_d są nie większe niż odpowiadający im obliczeniowy opór R_d :

$$R_d \geq E_d \quad \text{lub} \quad \frac{R_d}{E_d} \geq 1 \quad (1)$$

Analiza stateczności prowadząca do wyznaczenia minimalnej wartości wskaźnika stateczności F_{\min} powinna uwzględniać wartości obliczeniowe parametrów geotechnicznych, oddziaływań i oporów, uzyskiwanych poprzez zastosowanie współczynników częściowych. W powszechnie stosowanych, inżynierskich metodach analizy stateczności (tzw. metodach „pasków”) moment obracający należy traktować jako skutek oddziaływań M_{Ed} , a odpowiadający mu moment utrzymujący – jako opór wobec tych oddziaływań M_{Rd} . Wskaźnik stateczności w ujęciu Eurokodu 7 definiuje zależność:

$$F = \frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{ed,i}}{\sum_{i=1}^n (W_{d,i} + Q_{d,i}) \sin \alpha_i} \geq 1 \quad (2)$$

gdzie: $R_{ed,i}$ – obliczeniowy opór gruntu na ścinanie wzdłuż podstawy i -tego bloku (paska), α_i – kąt nachylenia podstawy i -tego bloku do poziomu, $W_{d,i}$ – obliczeniowy ciężar i -tego bloku, $Q_{d,i}$ – obciążenie zewnętrzne przyłożone do i -tego bloku.

Przy takim podejściu minimalny wskaźnik stateczności powinien być nie mniejszy od jedności. Do przeprowadzania analiz inżynierskich stateczności skarp drogowych nadaje się popularna metoda Bishopa (uprosz-

czona), która spełnia warunek równowagi momentów sił oraz rzutów sił poziomych. W metodzie tej, wskaźnik stateczności po wprowadzeniu stosownych współczynników częściowych [1] opisuje uogólniony wzór (3), gdzie: $c_{k,i}$ – wartość charakterystyczna spójności gruntu zalegającego w podstawie i -tego bloku, $\varphi_{k,i}$ – wartość charakterystyczna kąta tarcia wewnętrznego gruntu zalegającego w podstawie i -tego bloku, b_i – szerokość i -tego bloku, α_i – kąt nachylenia podstawy i -tego bloku do poziomu, $W_{k,i}$ – charakterystyczna wartość ciężaru i -tego bloku, $G_{k,i}$ – charakterystyczna wartość obciążenia stałego działającego na i -ty blok, $Q_{k,i}$ – charakterystyczna wartość obciążenia zmiennego działającego na i -ty blok.

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 wartościach parametrów wytrzymałości na ścinanie nie mniejszych, niż: $\varphi = 15 + 17^\circ$ oraz $c = 17 + 22$ kPa.

Odpowiada to podanym przykładowym szacunkowym wartościom kąta tarcia wewnętrznego i spójności mieszanki destruktu betonowego i gliny. Duży jednak wpływ na stateczność skarp nasypów wywiera nośność podłoża. Wynika stąd, że każdy przypadek drogowych budowli ziemnych wymaga indywidualnych analiz pod kątem ich stateczności i nośności podłoża.

Badania spójności i kąta tarcia wewnętrznego wskazują na możliwość samodzielnego wykorzystania kruszywa betonowego do budowy i umacniania skarp nasypów. Jednocześnie stwierdzono ograniczoną przydatność

kruszywa betonowego do ulepszenia materiałów spoistych, nieprzydatnych do budowy i umacniania skarp nasypów. Dodanie ekonomicznie uzasadnionych ilości kruszywa z recyklingu betonowego (około 20%) do materiału spoistego w technologii mieszania na miejscu w warunkach budowy powoduje nieistotną zmianę parametrów spójności i kąta tarcia wewnętrznego. Jednocześnie dodanie do kruszywa betonowego z recyklingu nawet niewielkich ilości (około 20%) materiału spoistego powoduje znaczny spadek kąta tarcia wewnętrznego. Zauważyć przy tym należy, że mieszanka materiału spoistego i kruszywa betonowego zagęszcza się lepiej, niż każdy z tych materiałów osobno.

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.

Kruszywo z recyklingu nawierzchni betonowych stosowane może być również w górnych warstwach nasypu pod warunkiem pod warunkiem odplukania frakcji 0/063 mm i spełnienia warunków co współczynnika filtracji oraz wskaźnika uziarnienia, wg PN-S-02205 [7].

Podsumowanie i wnioski

Przedstawione w artykule studia i badania nad możliwością wykorzystania materiałów pochodzących z recyklingu nawierzchni betonowych w kruszarkach obejmowały badania i analizę przydatności do wykorzystania

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\gamma_{R,e}} \left[\frac{c_{k,i} b_i}{\gamma_c} + (\gamma_G W_{k,i} + \gamma_G G_{k,i} + \gamma_Q Q_{k,i} - u_{k,i} b_i) \frac{\tan \varphi_{k,i}}{\gamma_\varphi} \right]}{\sum_{i=1}^n (\gamma_G W_{k,i} + \gamma_G G_{k,i} + \gamma_Q Q_{k,i}) \sin \alpha_i} \left(1 + \tan \alpha_i \frac{\tan \varphi_{k,i}}{\gamma_\varphi F} \right) \cos \alpha_i \quad (3)$$

w niezwiązanych i związanych spoiwem cementowym warstwach podłoża ulepszanego oraz do budowy nasypów, w tym warstw filtracyjnych, skarp oraz jako wzmocnienie podłoża pod nasypami.

W zakresie badań betonów przeznaczonych do recyklingu przeanalizowano wpływ pochodzenia kruszywa betonowego z recyklingu. Przebadano kruszywo uzyskane z rozkruszenia betonów drogowych (płyty prefabrykowane i wylwane in situ) oraz konstrukcyjnych (stopy, ławy fundamentowe). W przypadku betonów drogowych stwierdzono zbliżone parametry fizyko-mechaniczne. Stwierdzono jednocześnie gorsze parametry (wytrzymałość, nasiąkliwość, mrozoodporność) betonów konstrukcyjnych używanych w budownictwie obiektów kubaturowych. W przypadku betonów nieznanego pochodzenia zaleca się badania wytrzymałości na ściskanie odwiertów, jako prognozowaną ocenę właściwości kruszywa betonowego z recyklingu po przekruszeniu.

Do warstw podbudowy pomocniczej i podłoża ulepszanego (zarówno związanych, jak i niezwiązanych) zaleca się stosowanie betonów, których graniczną wytrzymałością na ściskanie jest CC20, przy jednoczesnej wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu SC1,7.

W zakresie badań nad wykorzystaniem kruszywa betonowego z recyklingu do warstw niezwiązanych stwierdzono, że stosowane może być ono w warstwach niezwiązanych podłoża ulepszanego (w tym warstwach mrozoochronnych), w mieszankach z kruszywem naturalnym, lub samodzielnie, pod warunkiem spełnienia wymagań odporność na rozdrabnianie oraz mrozoodporność pozyskanego kruszywa wg WT-4. Kruszywo betonowe pozyskane z kruszenia nawierzchni drogowych posiada lepszą odporność na rozdrabnianie oraz nasiąkliwość i mrozoodporność, w stosunku do kruszywa pozyskanego z kruszenia elementów kubaturo-

wych. Zależność ta wyraźnie koreluje z wyższą wytrzymałością na ściskanie betonów z nawierzchni drogowych, w porównaniu do betonów stosowanych w budownictwie kubaturowym. Przeprowadzone badania wykazały, że kruszywo z recyklingu nawierzchni betonowych nie spełnia wymagań nasiąkliwości stawianym podbudowom zasadniczym, pomocniczym i podłożu ulepszanemu wg WT-4, może jednak spełniać wymagania mrozoodporności. Dopuszcza się odstępnie od wymagań nasiąkliwości w przypadku kruszywa betonowego z recyklingu i wykonywanie wyłącznie badań mrozoodporności.

Z uwagi na dużą niejednorodność materiałów pochodzących z recyklingu zaleca się dla każdej partii pozyskanego kruszywa z określić odporność na rozdrabnianie oraz mrozoodporność w odniesieniu do wymagań krajowych WT-4. Kruszywo z recyklingu nawierzchni betonowych posiada wskaźnik nośności CBR wystarczający dla podłoża ulepszanego wg WT-4. Ponadto możliwe jest zastosowanie kruszywa betonowego z recyklingu do warstw odsączających podłoża ulepszanego po odsianiu frakcji pyłastej do 0,063 mm.

W zakresie badań nad wykorzystaniem kruszywa betonowego z recyklingu do związanych cementem warstw podłoża ulepszanego stwierdzono, że może ono być stosowane w mieszankach związanych cementem lub do ulepszenia gruntów stabilizowanych cementem. Odstępuje się od wymagań nasiąkliwości oraz mrozoodporności kruszywa betonowego, na rzecz mrozoodporności gotowej mieszanki związanej cementem / gruntu stabilizowanego cementem wg WT-5. Gotowa mieszanka związana / grunt stabilizowany cementem powinny spełniać wymagania wytrzymałości wg WT-5, odpowiednie dla danej warstwy. W zakresie badań nad wykorzystaniem kruszywa betonowego do gruntów stabilizowanych cementem / mieszanek związanych cementem na warstwy podbudowy

pomocniczej i podłoża ulepszanego, badania wytrzymałościowe wskazują na możliwość istotnego zmniejszenia ilości spoiwa w mieszance po dodaniu kruszywa betonowego z recyklingu. Zawartość kruszywa betonowego z recyklingu w mieszankach/gruntach stabilizowanych cementem ma duży wpływ na wytrzymałość i mrozoodporność. W zależności od zawartości kruszywa betonowego z recyklingu i ilości cementu w mieszance uzyskano wytrzymałości w zakresie C1,5/2,0 – C3/4, przy jednoczesnej wystarczającej mrozoodporności, przy zawartości kruszywa betonowego z recyklingu w mieszance na poziomie 30%. Są to wymagania wystarczające wg WT-5 dla warstw podłoża ulepszanego wszystkich kategorii ruchu. Jednocześnie stwierdzono, że zwiększanie zawartości cementu podwyższa wytrzymałość gruntu stabilizowanego cementem, ale nie ma wpływu na jego mrozoodporność.

W zakresie badań nad wykorzystaniem kruszywa betonowego z recyklingu do górnych warstw nasypów, wzmocnienia podłoża nasypów oraz budowy skarp nasypów przeprowadzono badania spójności i kąta tarcia wewnętrznego. Wykazano, że mieszanka kruszywa betonowego i gruntu spoistego zagęszcza się lepiej niż każdy z tych materiałów z osobna. Wykonane przykładowe analizy stateczności skarp nasypów drogowych z takiego materiału, posadowionych na podłożu nośnym (przy nachyleniu skarp 1:1,5), wykazały że nie wymagają one zbrojenia. Jednocześnie stwierdzono ograniczoną przydatność kruszywa betonowego do ulepszenia materiałów spoistych, z przyczyn ekonomicznych.

Przeprowadzone badania kruszywa pochodzącego z recyklingu betonu wykazały, że możliwe jest również zastosowanie badanego kruszywa do górnych warstw nasypu pod warunkiem odsiania frakcji 0/063 mm i spełnienia warunków co do współczynnika filtracji oraz wskaźnika uziarnienia. Możliwe jest także wzmocnienie pod-

łoża nasypu „materacem” z kruszywa betonowego, pod warunkiem spełnienia wymagań jak dla warstw podbudowy wg WT-4.

Niniejszy artykuł powstał w związku z realizacją zadań badawczych w projekcie pt. „Wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu”, w ramach wspólnego przedsięwzięcia Rozwój Innowacji Drogowych (RID), współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalną Dyрекcyję Dróg Krajowych i Autostrad. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Batog A., Stilger-Szydło E., Stateczność skarp nasypów drogowych w ujęciu Eurokodu 7. Drogownictwo, 1 (2010) 18-21.
- [2] Eurokod 7 (EC 7, EN 1997): Projektowanie geotechniczne.
- [3] Krawczyk B., Szydło A., Mackiewicz P., Dobrucki D.: Suitability of aggregate recycled from concrete pavements for layers made of unbound and cement bound mixtures. Roads and Bridges – Drogi i Mosty 17 (2018) 39-53.
- [4] Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 23 grudnia 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie
- [5] PN-EN 1324 Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym.
- [6] PN-EN 13877-2 Nawierzchnie betonowe. Część 2: Wymagania funkcjonalne dla nawierzchni betonowych.
- [7] PN-S-02205 Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania
- [8] PN-S-96012:1997 Drogi samochodowe - podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem.
- [9] WT 4 Mieszanki niezwiązane do dróg krajowych. GDDKiA, Warszawa 2010.
- [10] WT 5 Mieszanki związane spoiwem hydraulicznym do dróg krajowych. GDDKiA, Warszawa 2010.

REKLAMA

TOROMIERZ INERCYJNY iTEC Dokładny pomiar strzałek



www.graw.com