

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE MIESZANINY GRUNTU I ODPADÓW Z OPON SAMOCHODOWYCH

Małgorzata J. GLINICKA*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Celem wykonanych badań laboratoryjnych było ustalenie parametrów wytrzymałościowych mieszanki piasku i odpadów z opon samochodowych, w zależności od zagęszczenia i ilości dodanych odpadów. W badaniach laboratoryjnych zastosowano granulaty gumowy o wymiarach ziaren 2,5-4 mm. Badania laboratoryjne obejmowały określenie składu granulometrycznego gruntu, wskaźników porowatości, gęstości właściwej i objętościowej szkieletu, maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu i wilgotności optymalnej oraz parametrów wytrzymałościowych mieszanki piasku i odpadów. Wyniki przeprowadzonych badań piasku i mieszanin piasku z granulatem gumowym potwierdziły wpływ dodawanych odpadów z przetworzonych opon samochodowych na parametry zagęszczalności i parametry wytrzymałościowe. Dodatek 10% i 20% granulatu do piasku spowodował wzrost wytrzymałości na ścinanie. Wykorzystanie odpadów ze zużytych opon samochodowych do gruntów może przyczynić się do zagospodarowania części tych odpadów oraz zmniejszenia ilości składowanych odpadów.

Słowa kluczowe: mieszanka piasku i odpadów, opony samochodowe, recykling, zagęszczalność, wytrzymałość na ścinanie.

1. Wprowadzenie

W Polsce sprzedaje się kilkanaście milionów nowych opon samochodowych, a powtórnie przetwarza się około 700 tysięcy. Różnica trafia na składowiska i nielegalne wysypiska śmieci; odpady gumowe są porzucane w lasach i parkach (Parasiewicz i in., 2005). Dokładne określenie ilości zużytych opon samochodowych powstałych w Polsce jest trudne, gdyż nie prowadzono dotychczas ewidencji tych odpadów. Stan jaki odnotowano w 2005 roku wynosi 145 743 ton/rok. Ogólnie można rozróżnić trzy kategorie opon używanych w zależności od ich przeznaczenia. Pierwsza kategoria to opony, które można użyć zgodnie z ich pierwotnym przeznaczeniem, ponieważ mają pierwotną minimalną geometrię bieżnika oraz nie posiadają żadnych innych dyskwalifikujących wad. Druga – to nadające się do dalszej eksploatacji po nacięciu bieżnika lub bieżnikowaniu, a trzecią stanowią opony zużyte, które nie nadają się do dalszego użytkowania (Robaczyński, 2009). Opony zużyte, nienadające się do bieżnikowania, są odpadem, który należy zagospodarowywać w sposób bezpieczny dla środowiska naturalnego. Istotne znaczenie ma tu zorganizowanie efektywnego systemu zbiórki opon. Obecnie, wobec zakazu składowania i zakopywania całych zużytych opon, pozostają następujące możliwości:

recykling produktowy, recykling materiałowy, czy odzysk energii. Sposób wykorzystania rozdrobnionych odpadów gumowych zależy od stopnia ich rozdrobnienia. Na materiały pozyskiwane z recyklingu opon wprowadzono następującą klasyfikację (Parasiewicz i in., 2005):

- miał gumowy <1 mm,
- granulaty 1-10 mm,
- chipsy (ang. *chips*) 10-50 mm,
- strzępy (ang. *shred*) 50-300 mm,
- opony cięte: połówki i kawałki nie mniejsze niż 300 mm,
- ścier 0-40 mm.

Odpady gumowe ze zużytych opon samochodowych w formie całych opon lub po ich rozdrobnieniu mogą być użyte do:

- budowy nasypów drogowych i wzmocnienia podłoża gruntowego,
- poprawiania stateczności nasypów,
- zabezpieczania skarp kanałów, rowów,
- budowy ścian oporowych,
- warstw odsączających i odcinających,
- membran i warstw drenujących,
- przepustów drogowych.

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: m.glinicka@pb.edu.pl

Według literatury (Horodecka i in., 2002) wzmocnienie podłoża gruntowego stosuje się za pomocą:

- warstwy włórn gumowych o wymiarach 10-100 mm, pochodzących z rozdrobnienia zużytych opon samochodowych;
- mieszanki gruntu z włórnami gumowymi.

Badania przeprowadzone w Politechnice Warszawskiej (Pisarczyk, 2002) wykazały, że zużyte opony samochodowe, mogą być stosowane do wzmocnienia gruntów niespoistych (piasków) w nasypach komunikacyjnych, hydrotechnicznych i ogólnobudowlanych. Stwierdzono, że przy odpowiedniej zawartości przetworzonych odpadów ze zużytych opon samochodowych w gruncie wzrasta wytrzymałość mieszanki na ścinanie w stosunku do samego gruntu, a więc nasypy mogą być budowane bardziej oszczędnie i może być wbudowana znaczna ilość odpadów. Mechaniczne właściwości mieszanki piasku i odpadów z opon w formie chipsów, określonych w aparacie trójosiowego ściskania, opisano w pracy (Bałachowski i Gotteland, 2007). Wytrzymałość i dylatacja mieszanki zależy od zawartości odpadów z opon. W przypadku małej zawartości odpadów wytrzymałość na ścinanie jest niższa niż dla czystego piasku. To zachowanie, odnośnie powierzchni rozdziału piasek-chips, redukuje efekt wzmocnienia oponami. Na podstawie tych badań ustalono, że optymalna ilość dodanych opon (chipsów) wynosi 30%. Badania zagęszczalności piasku z dodatkiem odpadów z opon samochodowych w postaci granulatu wykazały, że optymalna ilość dodanych odpadów powinna wynosić 12,5% (Glinicka, 2007).

Badania eksperymentalne opisane w literaturze (Pisarczyk, 2002; Bałachowski i Gotteland, 2007; Glinicka, 2007) potwierdzają, że odpowiednio przetworzone zużyte opony samochodowe mogą być stosowane do wzmocnienia gruntów niespoistych. Celem pracy jest przedstawienie wyników badań laboratoryjnych parametrów zagęszczalności i wytrzymałościowych mieszanki piasku i odpadów z opon samochodowych, uzasadniających wykorzystanie odpadów ze względu na ich wpływ na wzrost wytrzymałości mieszanin. Wykonano badania laboratoryjne parametrów wytrzymałościowych mieszanki piasku i odpadów z granulatu gumowego w zależności od zgręszczenia i ilości dodanych „mikroelementów”. Zastosowano granulaty gumowy o wymiarach 2,5-4 mm z recyklingu zużytych opon samochodowych.

2. Badania laboratoryjne cech fizycznych mieszanki piasku i odpadów z opon samochodowych

Badania laboratoryjne parametrów fizycznych obejmowały określenie: składu granulometrycznego gruntu, wskaźników porowatości, gęstości właściwej i objętościowej oraz maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu i wilgotności optymalnej.

Na podstawie badania uziarnienia grunt zaliczono do piasków średnich. Charakteryzuje się on równomiernym uziarnieniem, a jego wskaźnik jednorodności uziarnienia C_U wyniósł 3.

Piasek średni był w stanie powietrzno-suchym. Badania gęstości objętościowej szkieletu minimalnej i maksymalnej wykonano dla piasku i piasku z dodatkiem granulatu gumowego w ilości 10% i 20%. Oznaczenie $\rho_{d \max}$ i $\rho_{d \min}$ wykonano według normy PN-88/B-04481 *Grunty budowlane. Badania próbek gruntu* stosując metalowe naczynie z tłoczkiem i widełki wibracyjne. Gęstość właściwą szkieletu mieszanki piasku i granulatu ustalono za pomocą piknometru. Omawiane badania wykonano trzykrotnie i obliczono średnią wartość parametru. W tabeli 1 przedstawiono wartości gęstości właściwej szkieletu, maksymalnej i minimalnej gęstości objętościowej szkieletu oraz wskaźników porowatości.

Badania parametrów zagęszczalności piasku i mieszanki piasku z granulatem gumowym przeprowadzono metodą standardową Proctora według PN-88/B-04481. Do badań piasku zastosowano cylinder o objętości 1 dm³, a do mieszanki 2,2 dm³. Zastosowano dodatek granulatu gumowego w ilości 10% i 20% w stosunku do masy suchego piasku. Zestawienie wyników badań parametrów zagęszczalności przedstawiono w tabeli 2, a na rysunku 1 przedstawiono wybrane krzywe zagęszczalności piasku średniego oraz mieszanki piasku z dodatkiem granulatu gumowego w ilości 10% i 20%.

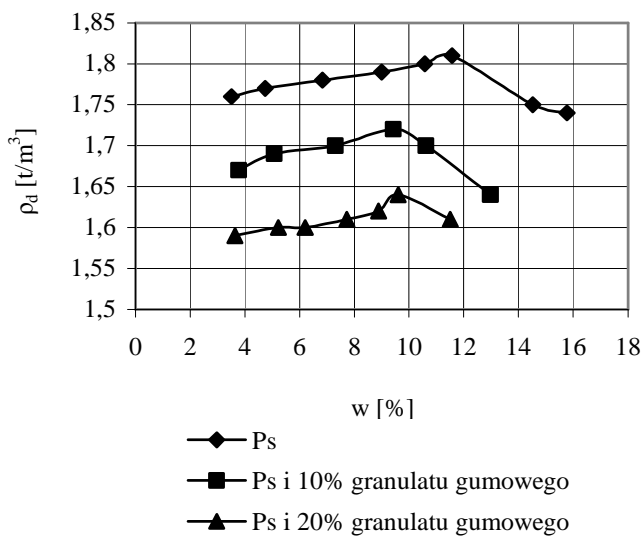
Analizując dane przedstawione w tabeli 2 i na rysunku 1 stwierdzono, że maksymalna gęstość objętościowa szkieletu mieszanki maleje wraz z ilością dodanego odpadu gumowego. Również wilgotność optymalna mieszanin zmniejsza się około 2% w przypadku obu dodatków granulatu.

Tab. 1. Wyniki badań gęstości właściwej szkieletu, minimalnej i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu oraz wskaźników porowatości

Rodzaj materiału	ρ_s [t/m ³]	$\rho_{d \max}$ [t/m ³]	$\rho_{d \min}$ [t/m ³]	e_{min} [-]	e_{max} [-]
Piasek średni	2,65	1,72	1,56	0,54	0,70
Mieszanka piasku średniego i 10% dodatku granulatu gumowego	2,34	1,61	1,47	0,44	0,59
Mieszanka piasku średniego i 20% dodatku granulatu gumowego	2,16	1,46	1,32	0,48	0,64

Tab. 2. Wyniki badań parametrów zagęszczalności $\rho_{d\max}$ i w_{opt}

Rodzaj materiału	$\rho_{d\max}$ [t/m ³]	w_{opt} [%]	$\rho_{d\max\acute{s}r}$ [t/m ³]	$w_{opt\acute{s}r}$ [%]
Piasek średni	1,81	11,7	1,81	11,8
	1,80	11,5		
	1,81	12,3		
Mieszanka piasku średniego i 10% dodatku granulatu gumowego	1,72	9,7	1,72	9,9
	1,71	10,0		
	1,72	10,0		
Mieszanka piasku średniego i 20% dodatku granulatu gumowego	1,64	9,8	1,61	9,6



Rys. 1. Krzywe zagęszczalności piasku średniego oraz mieszaniny piasku średniego i granulatu gumowego

Mieszanki piasku z 10 % i 20 % dodatkiem granulatu gumowego spełniają wymagania norm dotyczących robót ziemnych PN-S-02205 *Drogi samochodowe. Roboty ziemne wymagania i badania* oraz PN-B-06050 *Geotechnika. Roboty ziemne. Wymagania ogólne* ze względu na wartość $\rho_{d\max} > 1,6$ t/m³. Według Pisarczyka (2002) mieszanki zawierające powyżej 25 % odpadów gumowych nie są odpowiednie do budowy nasypów, biorąc pod uwagę wartości maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu.

3. Badania wytrzymałości na ścinanie w aparacie bezpośredniego ścinania

W aparacie bezpośredniego ścinania wytrzymałość na ścinanie jest wytrzymałością chwilową, osiągniętą przy stałej prędkości odkształceń. Jako wartość τ_f należy przyjmować wartość naprężeń ścinających w zakresie odkształceń względnych $\varepsilon \leq 10,0\%$ (PN-88/B-04481). Wytrzymałość na ścinanie oblicza się według wzoru:

$$\tau_f = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi_s + c_s \quad (1)$$

gdzie: τ_f jest wytrzymałością gruntu na ścinanie w kPa, σ jest naprężeniem normalnym do płaszczyzny ścinania w kPa, c_s jest oporem spójności gruntu oznaczonym metodą bezpośredniego ścinania w aparacie skrzynkowym w kPa, a φ_s jest kątem tarcia wewnętrznego oznaczonym w aparacie skrzynkowym w °.

Badania parametrów wytrzymałościowych przeprowadzono w aparacie bezpośredniego ścinania w skrzynce kwadratowej 10 × 10 cm. Próbkę obciążano przy następujących σ : 50, 100, 150, 200 i 250 kPa.

Próbki do badań przygotowano przez wymieszanie piasku z 10 % i 20 % odpadów gumowych w stosunku do suchej masy. Grunt z odpadami zagęszczano w skrzynce aparatu do określonej gęstości objętościowej.

3.1. Parametry wytrzymałościowe piasku oraz mieszanin piasku i granulatu gumowego w stanie powietrzno-suchym

Badania wykonano w aparacie skrzynkowym dla różnych stopni zagęszczenia I_D (różnych wskaźników porowatości e).

Tab. 3. Zagęszczanie próbek badanych w aparacie bezpośredniego ścinania

Rodzaj materiału	I_D		
	0,3	0,6	0,9
Piasek średni	$e = 0,65$	$e = 0,60$	$e = 0,56$
Mieszanka piasku średniego i 10% dodatku granulatu gumowego	$e = 0,55$	$e = 0,51$	$e = 0,46$
Mieszanka piasku średniego i 20% dodatku granulatu gumowego	$e = 0,59$	$e = 0,54$	$e = 0,50$

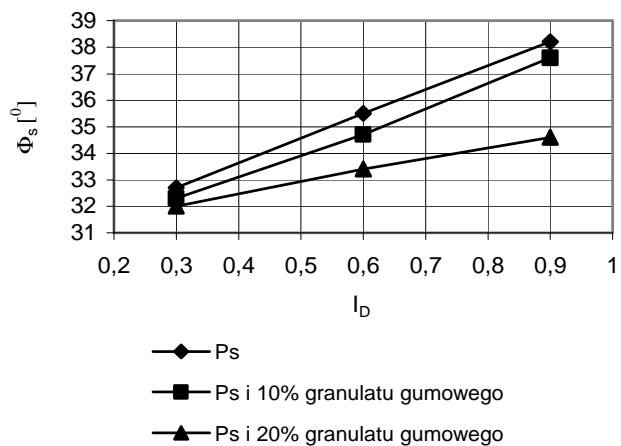
Zestawienie wyników badań parametrów wytrzymałościowych w zależności od stopnia zagęszczenia oraz wskaźników porowatości dla dwóch mieszanin piasku z granulatem gumowym i piasku przedstawiono w tabelach 4 i 5. Rysunki 2 i 3 przedstawiają zależności parametrów wytrzymałościowych od stopnia zagęszczenia dla dwóch różnych mieszanin.

Tab. 4. Kąt tarcia wewnętrzznego określony w aparacie bezpośredniego ścinania

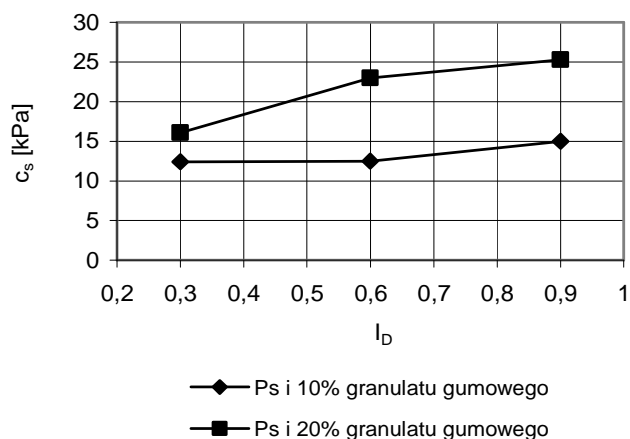
Rodzaj materiału	Kąt tarcia wewnętrzznego φ_s [°]		
	I_D		
	0,3	0,6	0,9
Piasek średni	$e = 0,65$	$e = 0,60$	$e = 0,56$
Mieszanka piasku średniego i 10% dodatku granulatu gumowego	$e = 0,55$	$e = 0,51$	$e = 0,46$
Mieszanka piasku średniego i 20% dodatku granulatu gumowego	$e = 0,59$	$e = 0,54$	$e = 0,50$
	32,7	35,5	38,2
	32,3	34,7	37,6
	32,0	33,4	34,6

Tab. 5. Opór spójności określony z badań w aparacie bezpośredniego ścinania

Rodzaj materiału	Opór spójności c_s [kPa]		
	I_D		
	0,3	0,6	0,9
Piasek średni	0	0	0
Mieszanka piasku średniego i 10% dodatku granulatu gumowego	$e = 0,55$	$e = 0,51$	$e = 0,46$
Mieszanka piasku średniego i 20% dodatku granulatu gumowego	$e = 0,59$	$e = 0,54$	$e = 0,50$
	12,4	12,5	15,0



Rys. 2. Zależność kąta tarcia wewnętrznego od stopnia zagęszczenia dla różnych mieszanin



Rys. 3. Zależność oporu spójności od stopnia zagęszczenia dla różnych mieszanin

Z analizy badań wytrzymałości na ścinanie mieszaniny piasku i granulatu gumowego oraz piasku uzyskano następujące wyniki:

- kąt tarcia wewnętrzny piasku średniego wzrósł o $5,5^\circ$ dla I_D od 0,3 do 0,9 (odpowiednio e od 0,65 do 0,56);
- kąt tarcia wewnętrzny mieszaniny piasku średniego z 10% dodatkiem granulatu gumowego wzrósł o $5,3^\circ$, a opór spójności wzrósł o 2,6 kPa dla I_D od 0,3 do 0,9 (odpowiednio e od 0,55 do 0,46);
- kąt tarcia wewnętrzny mieszaniny piasku średniego z 20% dodatkiem granulatu gumowego wzrósł o $2,6^\circ$, a opór spójności wzrósł o 9,2 kPa dla I_D od 0,3 do 0,9 (odpowiednio e od 0,59 do 0,50).

3.2. Określenie parametrów wytrzymałościowych w zależności od wilgotności i gęstości objętościowej szkieletu oraz ilości dodanych odpadów

Przeprowadzono badania eksperymentalne w aparacie bezpośredniego ścinania w zależności od wilgotności i gęstości objętościowej szkieletu, których wyniki przedstawiono w tabelach 6 i 7. Badania wykonano na próbkach o wilgotności mniejszej od wilgotności optymalnej, wilgotności bliskiej wilgotności optymalnej i wilgotności większej od wilgotności optymalnej.

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań można stwierdzić:

- największe wartości kąta tarcia wewnętrznego, zarówno w przypadku piasku jak i mieszaniny piasku i granulatu gumowego, uzyskano przy wilgotności optymalnej i $I_s = 1$ oraz wskaźnikach porowatości: $e = 0,46$ dla piasku, $e = 0,36$ dla mieszaniny piasku z 10% dodatkiem granulatu, $e = 0,34$ dla mieszaniny z 20% dodatkiem granulatu;
- największą wartość oporu spójności uzyskano przy wilgotności optymalnej i $I_s = 1$ oraz $e = 0,36$ w przypadku mieszaniny z 10% dodatkiem granulatu i $e = 0,34$ w przypadku mieszaniny z 20% dodatkiem granulatu;
- najmniejsze wartości kąta tarcia wewnętrznego uzyskano dla mieszaniny piasku i granulatu gumowego

Tab. 6. Kąt tarcia wewnętrznego określony w aparacie bezpośredniego ścinania w zależności od wilgotności i gęstości objętościowej szkieletu

Rodzaj materiału	Kąt tarcia wewnętrznego φ_s [°]			
	$w = 4,0\%$	$w = 8,0\%$	$w = w_{opt} = 11,8\%$	$w = 14,0\%$
Piasek średni	$\rho_d = 1,75 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,78 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,81 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,75 \text{ t/m}^3$
	$I_s = 0,97$	$I_s = 0,98$	$I_s = 1,0$	$I_s = 0,97$
	$e = 0,51$	$e = 0,49$	$e = 0,46$	$e = 0,51$
	$\varphi_s = 36,2^\circ$	$\varphi_s = 37,0^\circ$	$\varphi_s = 38,3^\circ$	$\varphi_s = 36,8^\circ$
Mieszanka piasku średniego i 10% dodatku granulatu gumowego	$w = 4,0\%$	$w = 7,0\%$	$w = w_{opt} = 10,0\%$	$w = 10,5\%$
	$\rho_d = 1,65 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,67 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,72 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,69 \text{ t/m}^3$
	$I_s = 0,96$	$I_s = 0,97$	$I_s = 1,0$	$I_s = 0,98$
	$e = 0,42$	$e = 0,40$	$e = 0,36$	$e = 0,38$
Mieszanka piasku średniego i 20% dodatku granulatu gumowego	$w = 4,0\%$	$w = 7,0\%$	$w = w_{opt} = 9,6\%$	$w = 11,0\%$
	$\rho_d = 1,57 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,59 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,61 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,58 \text{ t/m}^3$
	$I_s = 0,97$	$I_s = 0,98$	$I_s = 1,0$	$I_s = 0,98$
	$e = 0,38$	$e = 0,36$	$e = 0,34$	$e = 0,37$
	$\varphi_s = 33,6^\circ$	$\varphi_s = 34,0^\circ$	$\varphi_s = 34,6^\circ$	$\varphi_s = 34,5^\circ$

Tab. 7. Opór spójności określony w aparacie bezpośredniego ścinania w zależności od wilgotności i gęstości objętościowej szkieletu

Rodzaj materiału	Opór spójności c_s [kPa]			
	$w = 4,0\%$	$w = 8,0\%$	$w = w_{opt} = 11,8\%$	$w = 14,0\%$
Piasek średni	$\rho_d = 1,75 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,78 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,81 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,75 \text{ t/m}^3$
	$I_s = 0,97$	$I_s = 0,98$	$I_s = 1,0$	$I_s = 0,97$
	$e = 0,51$	$e = 0,49$	$e = 0,46$	$e = 0,51$
	$c_s = 0$	$c_s = 0$	$c_s = 0$	$c_s = 0$
Mieszanka piasku średniego i 10% dodatku granulatu gumowego	$w = 4,0\%$	$w = 7,0\%$	$w = w_{opt} = 10,0\%$	$w = 10,5\%$
	$\rho_d = 1,65 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,67 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,72 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,69 \text{ t/m}^3$
	$I_s = 0,96$	$I_s = 0,97$	$I_s = 1,0$	$I_s = 0,98$
	$e = 0,42$	$e = 0,40$	$e = 0,36$	$e = 0,38$
	$c_s = 17,4 \text{ kPa}$	$c_s = 17,8 \text{ kPa}$	$c_s = 18,2 \text{ kPa}$	$c_s = 18,0 \text{ kPa}$
Mieszanka piasku średniego i 20% dodatku granulatu gumowego	$w = 4,0\%$	$w = 7,0\%$	$w = w_{opt} = 9,6\%$	$w = 11,0\%$
	$\rho_d = 1,57 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,59 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,61 \text{ t/m}^3$	$\rho_d = 1,58 \text{ t/m}^3$
	$I_s = 0,97$	$I_s = 0,98$	$I_s = 1,0$	$I_s = 0,98$
	$e = 0,38$	$e = 0,36$	$e = 0,34$	$e = 0,37$
	$c_s = 23,1 \text{ kPa}$	$c_s = 23,5 \text{ kPa}$	$c_s = 27,5 \text{ kPa}$	$c_s = 23,2 \text{ kPa}$

w ilości 20%, odpowiednio dla określonego wskaźnika porowatości i wilgotności;

- opór spójności przy 20% dodatku granulatu był większy w porównaniu z otrzymanym dla mieszanki z 10% dodatkiem granulatu odpowiednio dla określonego wskaźnika porowatości i wilgotności.

4. Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań piasku i mieszanin piasku z granulatem gumowym potwierdziły wpływ dodawanych odpadów z przetworzonych opon samochodowych na parametry zagęszczalności

i parametry wytrzymałościowe. W przypadku badania zagęszczalności mieszanki piasku z granulatem gumowym stwierdzono, że obie badane mieszanki z dodatkiem 10% i 20% granulatu, spełniają wymagania normowe ze względu na uzyskaną wartość maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu mieszanki. Badania wytrzymałościowe wykonane w aparacie bezpośredniego ścinania wykazały, że wartości kąta tarcia wewnętrznego badanych mieszanin w stanie powietrzno-suchym są mniejsze w porównaniu do wartości tych dla piasku średniego o określonym I_D . W przypadku mieszanki piasku z granulatem gumowym uzyskano obliczeniowy opór spójności, którego największa wartość stwierdzono dla mieszanki z 20% dodatkiem granulatu przy $I_D = 0,9$.

Podsumowując, dodatek 10% i 20% granulatu do piasku średniego spowodował wzrost wytrzymałości na ścinanie.

Zaletą stosowania odpowiednio przetworzonych zużytych opon samochodowych do budowy nasypów komunikacyjnych jest ich ponowne wykorzystanie i zmniejszenie ilości składowanych odpadów.

Literatura

- Balachowski L., Gotteland P. (2007). Characteristics of tyre chips-sand mixtures from triaxial tests. *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics*, IBW PAN, Vol. 54, No. 1, 25-36.
- Glinicka M. J. (2007). Zagęszczalność piasku i odpadów z opon samochodowych oraz jej wpływ na właściwości mechaniczne. W: Problemy Naukowo-Badawcze Budownictwa, tom III, Materiały, technologie i organizacja w budownictwie. Polska Akademia Nauk, Komitet Inżynierii Lądowej i Wodnej, *Wydawnictwo Politechniki Białostockiej*, Białystok 2007, 363-370.
- Horodecka R., Kalabińska M., Piłat J., Radziszewski P., Sybilski D. (2002). Wykorzystanie zużytych opon samochodowych w budownictwie drogowym. *Studia i materiały*, zeszyt 54. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa 2002.
- Parasiewicz W., Pyskło L., Magryta J. (2005). Poradnik Recykling zużytych opon samochodowych. *Instytut Przemysłu Gumowego, "Stomil" Piastów*.
- Pisarczyk S. (2002). Badania laboratoryjne przydatności odpadów z tworzyw sztucznych i gumowych do gruntów w nasypach drogowych.. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, *Drogi i Mosty*, 02/2002, 31-51.
- Robaczyński T. (2009). Recykling opon. Źródła pozyskiwania zużytych opon. Cz. 1. *Recykling*, 01/2009, 22-23.

MECHANICAL PROPERTIES OF SOIL -TIRE WASTE MIXTURE

Abstract: The results of laboratory tests of sand-tire rubber waste mixture are presented in the paper. The purpose of the laboratory tests was determination of shear strength parameters of mixture sand-rubber waste depending on compaction and amount of added "microelements". Granulated rubber that size of grains was 2,5-4 mm was used in the tests. The sand was mixed with 10% or 20% of rubber wastes. Laboratory tests included determination of grain-size-distribution, void ratio, dry density of solid particles, density of solid particles, maximum dry density and optimum water content. Compaction was determined by Standard Proctor Method for sand and two different mixtures of sand and tire rubber waste. Shear strength of sand after adding various percentages of granulated tire rubber was study by means of the direct shear test. The test results were analysed depending on amount of added wastes and relative density index and void ratio. The direct shear test was also made on samples of mixture sand- waste for different dry density of solid particles and moisture. The test results show the influence of added rubber waste to sand on compaction and shear strength parameters. Addition of 10% and 20% rubber waste to sand caused increase in shear strength. Utilization of soil-tire rubber waste mixture for road embankment can be an economic solution to environmental problems.

Podziękowanie: Autorka dziękuje Panu Piotrowi Gołosiowi za przeprowadzenie badań laboratoryjnych.