

Wpływ dodatku bentonitu na wytrzymałość na ścinanie popiołu lotnego

Mgr inż. Mariola Wasil

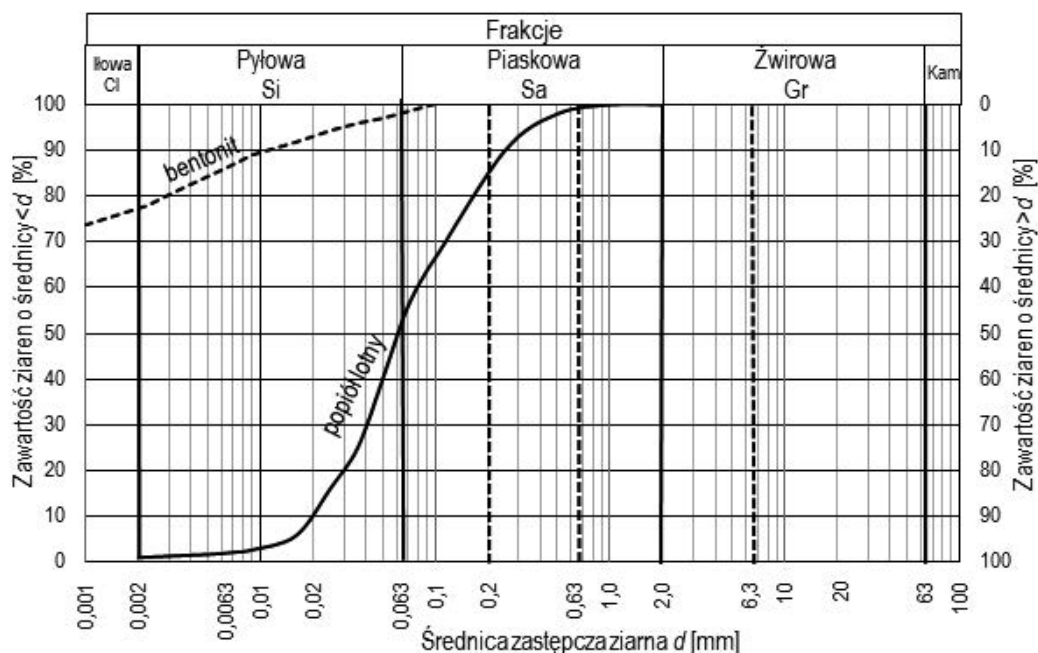
Politechnika Białostocka, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska

Badania popiołów lotnych ze spalania węgla kamiennego w konwencjonalnych paleniskach prowadzą do coraz szerszego wykorzystania tego rodzaju ubocznego produktu spalania w budowlach inżynierskich. Jednym z takich zastosowań jest możliwość wbudowywania popiołu lotnego oraz jego mieszanin z różnymi dodatkami w warstwy uszczelniające składowiska odpadów komunalnych.

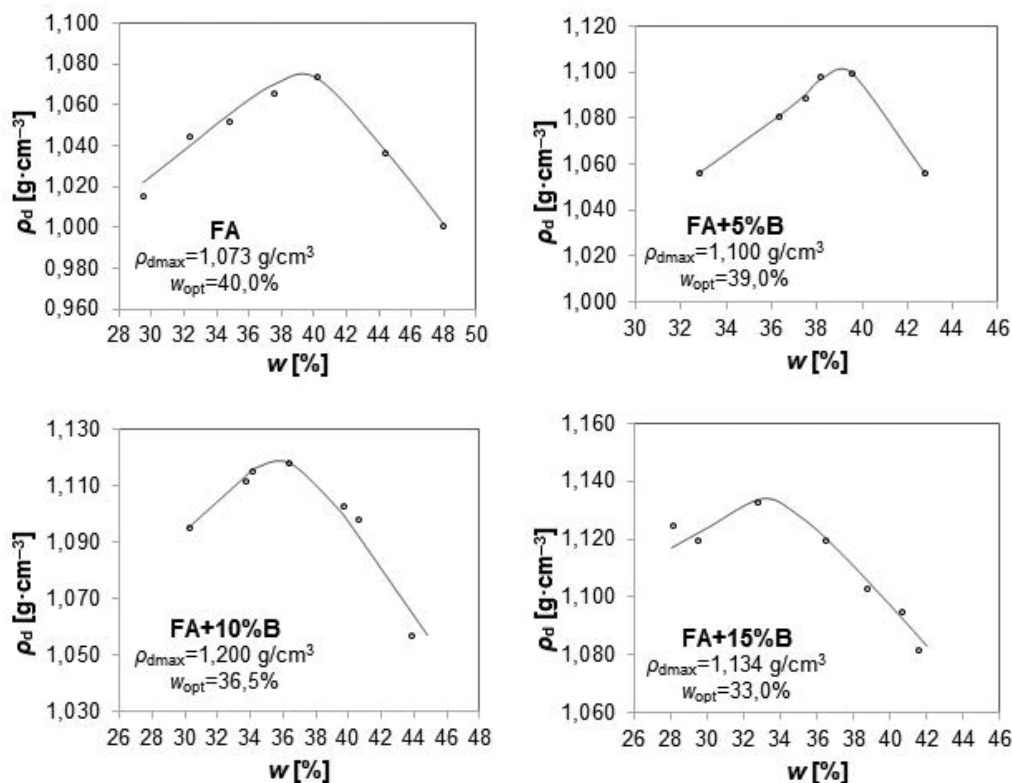
Popioły lotne pochodzące z różnych źródeł spalania różnią się właściwościami fizycznymi oraz mechanicznymi, dlatego

przed wbudowywaniem popiołu w zastępstwie gruntu naturalnego należy określić jego właściwości geotechniczne.

Celem pracy jest określenie, czy bentonit, jako dodatek poprawiający właściwości uszczelniające popiołu lotnego, nie wpływa negatywnie na wytrzymałość na ścinanie popiołu przeznaczonego do wbudowywania w warstwy uszczelniające składowisk. Zbadano również, jaki wpływ na parametry wytrzymałościowe ma czas pielęgnacji próbek.



Rys. 1. Krzywe uziarnienia: a) popiołu lotnego z węgla kamiennego, b) bentonitu sodowego



Rys. 2. Krzywe zagęszczalności popiołu lotnego i mieszanin popiołu lotnego i bentonitu sodowego

BADANY MATERIAŁ

Badania laboratoryjne przeprowadzono na próbkach popiołu lotnego z węgla kamiennego z Elektrociepłowni Białostok o uziarnieniu pyłu piaszczystego (saSi) oraz popiołu lotnego (FA) z dodatkiem bentonitu sodowego (B) w ilości 5, 10 i 15% w stosunku wagowym do suchej masy popiołu. Na rys. 1 przedstawiono krzywe uziarnienia popiołu lotnego oraz bentonitu. Bentonit, bogaty w minerały ilaste takie jak montmorylonit, charakteryzuje się dobrymi właściwościami pęczniającymi oraz dużą powierzchnią właściwą [3] i stosowany jest w konstrukcjach uszczelniających. Na rys. 2 przedstawiono krzywe zagęszczalności popiołu lotnego oraz mieszanin z różnym procentowym dodatkiem bentonitu. Wraz ze wzrostem dodatku bentonitu wzrastała maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego mieszanin, natomiast wartość wilgotności optymalnej malała.

BADANIE WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCINANIE

Metodyka badań

Wytrzymałością gruntu na ścinanie τ_f nazywany jest maksymalny (graniczny) opór, jaki stawia grunt naprężeniom ścinającym, po przekroczeniu którego następuje zniszczenie struktury gruntu. Wytrzymałość gruntu na ścinanie określa warunek Coulomba:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \phi + c \quad (1)$$

gdzie:

σ – naprężenie normalne do płaszczyzny ścinania,

ϕ – kąt tarcia wewnętrzznego,

$\operatorname{tg} \phi$ – współczynnik tarcia wewnętrzznego,

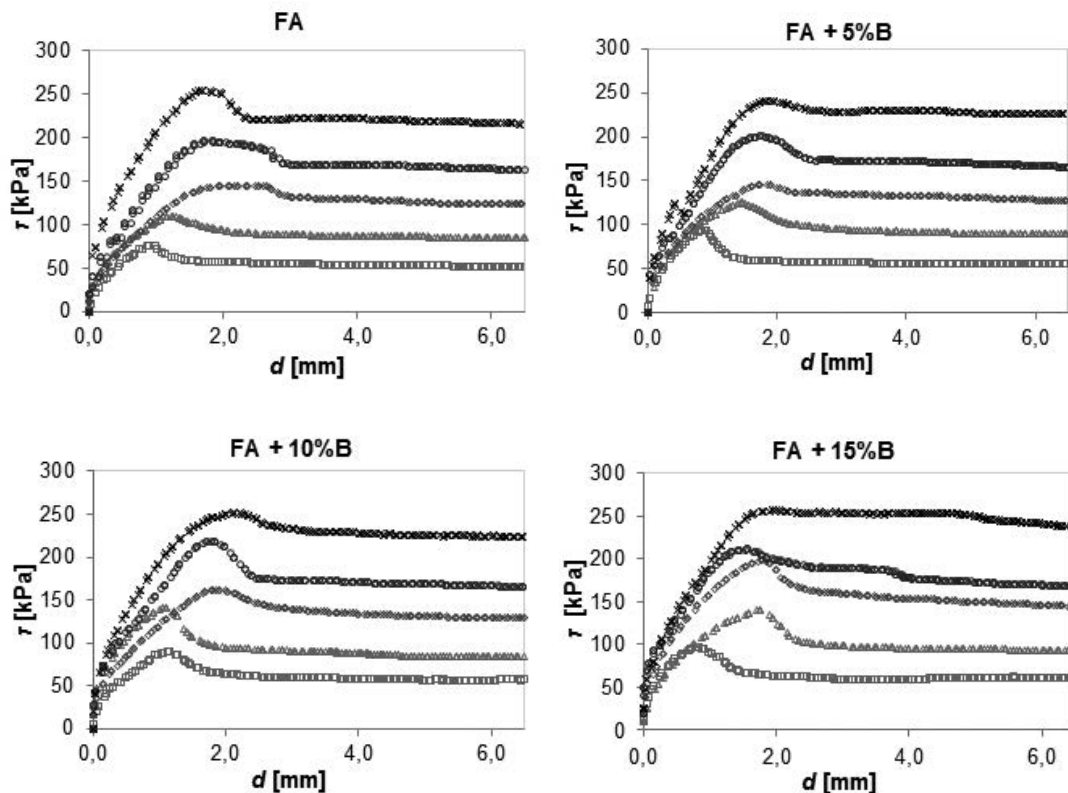
c – spójność gruntu.

Badania wytrzymałości na ścinanie wykonano w aparacie bezpośredniego ścinania wyposażonym w dwudzielną cylindryczną skrzynkę umożliwiającą badania próbek o wysokości 20 mm i średnicy 65 mm. Badanie w cylindrycznej skrzynce pozwala na wyeliminowanie koncentracji naprężeń, które w przypadku skrzynki kwadratowej występują w narożach próbki podczas jej zagęszczania [7]. Próbkę zagęszczano przy wilgotności optymalnej do uzyskania maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu w dwudzielnej formie, przeznaczonej do zagęszczania próbek do badań edometrycznych i przekładano do skrzynki aparatu bezpośredniego. Według [6], taki sposób formowania nie wpływa na parametry wytrzymałościowe próbki, która w trakcie wycinania pierścieniem traci opór spójności.

Próbki były badane bezpośrednio po zagęszczeniu oraz po 7 i 28 dniach pielęgnacji – próbki były zabezpieczone przed utratą wilgotności i były przechowywane w warunkach stałej temperatury. Próbkę były badane bez nasączania wodą, przy naprężeniu normalnym o wartości: 50, 100, 150, 200 i 300 kPa, z prędkością przesuwu skrzynki aparatu 1,0 mm/min. Uzyskane wyniki badań pozwalają na sporządzenie wykresu zależności τ_f od σ w postaci prostej Coulomba, na podstawie której określone są wartości parametrów wytrzymałościowych – kąta tarcia wewnętrznego ϕ i spójności c .

Wyniki badań

Na rys. 3 przedstawiono zależność naprężenia ścinającego od przemieszczenia zbadane dla próbek popiołu lotnego oraz



Rys. 3. Wytrzymałość na ścinanie w zależności od przemieszczenia próbek popiołu lotnego z różnym procentowym dodatkiem bentonitu badanych bezpośrednio po zagęszczeniu przy naprężeniach σ : 50, 100, 150, 200, 300 kPa

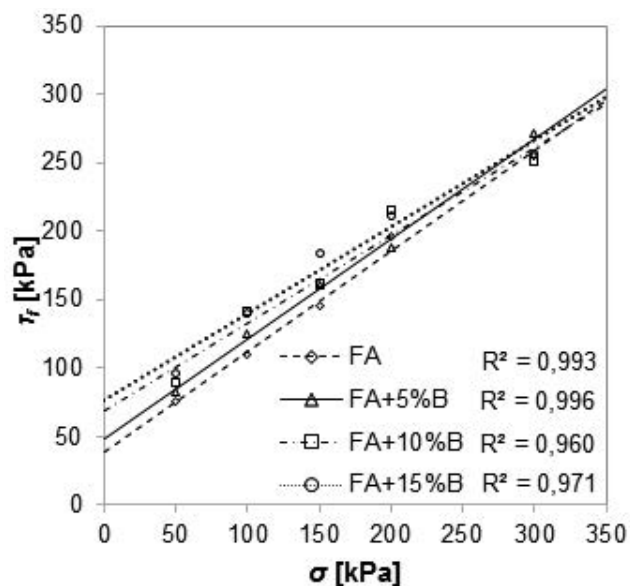
popiołu z 5, 10 i 15% dodatkiem bentonitu sodowego bezpośrednio po zagęszczeniu.

Na podstawie zaprezentowanych zależności można stwierdzić, że wraz ze wzrostem zawartości bentonitu w mieszaninie, zmienia się charakter zniszczenia próbki – w próbkach popiołowych i mieszaninach z mniejszym procentowym dodatkiem bentonitu obserwuje się wartości szczytowe wytrzymałości na ścinanie, które, w przypadku próbki z 15% dodatkiem bentonitu, nie są już tak wyraźne. Maksymalna wartość wytrzymałości na ścinanie próbek popiołowych oraz mieszanin popiołu z dodatkiem bentonitu zbadanych bezpośrednio po zagęszczeniu została osiągnięta przy przemieszczeniu nie większym niż 2,5 mm.

W badaniach własnych wytrzymałości na rozciąganie popiołu lotnego oraz jego mieszanin z bentonitem [5] również zaobserwowano zmienny charakter pracy materiału, który przy większej zawartości dodatku bentonitu wykazywał bardziej plastyczne właściwości niż w przypadku samego popiołu. Wytrzymałość na rozciąganie zbadana zarówno metodą pośrednią, jak i bezpośrednio, wzrastała wraz ze wzrostem zawartości bentonitu.

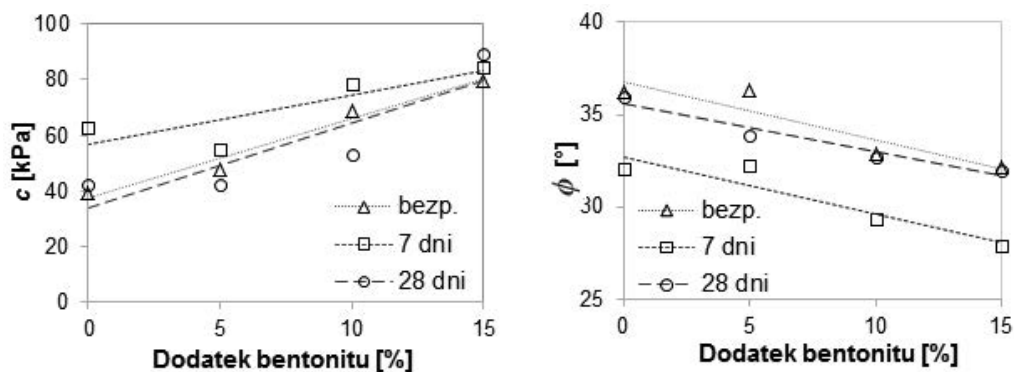
Na rys. 4 przedstawiono wytrzymałość na ścinanie popiołu lotnego oraz popiołu z 5, 10 i 15% dodatkiem bentonitu sodowego zbadaną bezpośrednio po zagęszczeniu próbek.

Na podstawie wykresu obserwuje się wpływ dodatku bentonitu na zwiększenie wytrzymałości na ścinanie popiołu lotnego, która zbadana bezpośrednio po zagęszczeniu przyjmowała najwyższe wartości dla próbek popiołu lotnego z 15% dodatkiem bentonitu. Na rys. 5 przedstawiono wykresy zależności wartości kąta tarcia wewnętrznego oraz spójności od procentowego dodatku bentonitu dla próbek badanych bezpośrednio po zagęszczeniu oraz po 7 i 28 dniach pielęgnacji.



Rys. 4. Wytrzymałość na ścinanie próbek popiołu lotnego oraz popiołu lotnego z różnym procentowym dodatkiem bentonitu zbadana bezpośrednio po zagęszczeniu

Na podstawie wykresów można stwierdzić, że dodatek bentonitu sodowego wpłynął generalnie na zmniejszenie wartości kąta tarcia wewnętrznego, który najniższe wartości przyjmował dla próbek pielęgnowanych przez 7 dni. Wartość oporu spójności natomiast wzrastała wraz ze wzrostem zawartości bentonitu w próbce, co można tłumaczyć faktem, że bentonit sodowy jest materiałem ilastym. Wartości parametrów wytrzymałościowych zestawiono w tabl. 1.



Rys. 5. Wartości kąta tarcia wewnętrznego i spójności próbek popiołu lotnego oraz popiołu lotnego z różną procentową zawartością bentonitu

Tabl. 1. Parametry wytrzymałościowe badanych mieszanin w zależności od dodatku bentonitu i czasu pielęgnacji próbek

Dodatek bentonitu	Wartości					
	c [kPa]			φ [°]		
	0 dni	7 dni	28 dni	0 dni	7 dni	28 dni
0%	39,2	62,5	42,1	36,2	32,0	35,9
5%	47,9	54,7	42,1	36,3	32,2	33,8
10%	68,8	78,1	53,2	32,9	29,3	32,7
15%	79,8	84,5	89,1	32,1	28,0	32,0

W badaniach wytrzymałości na ścinanie popiołu lotnego z różnym procentowym dodatkiem bentonitu, w ilości 0, 10, 20 i 30%, w aparacie trójosiowego ściskania w warunkach CU [4] uzyskano efektywną wartość spójności 36 kPa oraz kąta tarcia wewnętrznego 33° dla popiołu bez dodatku bentonitu. Dodatek bentonitu w ilości 10% nie wpłynął znacząco na wartość oporu spójności, natomiast spowodował zwiększenie wartości kąta tarcia wewnętrznego do 42°. Dodatek 20 i 30% bentonitu nie wpłynął na dalszy wzrost wartości kąta tarcia wewnętrznego, natomiast wartość oporu spójności wzrosła do 54 kPa.

We wcześniejszych badaniach wytrzymałości na ścinanie zagęszczonych popiołów lotnych [1] przeprowadzonych w aparacie trójosiowego ściskania w warunkach z odpływem, w zależności od czasu pielęgnacji – bezpośrednio oraz po 28 dniach – zarówno kąt tarcia wewnętrznego, jak i opór spójności nie wykazywały znacznego zróżnicowania wartości – φ przyjmowało wartości od 38 do 43°, natomiast c od 0,48 do 1,03 kPa. W badaniach przeprowadzonych w aparacie trójosiowego ściskania w warunkach bez odpływu wody [2] uzyskano większe wartości zarówno φ, jak i c (43° i 96 kPa).

W badaniach bezpośredniego ścinania popiołu lotnego zagęszczanego metodą standardową przy w_{opt} , przedstawionych przez Zabielską-Adamską [7], uzyskano wartość kąta tarcia wewnętrznego 41,9°, opór spójności natomiast wynosił 70,0 kPa.

WNIOSKI

Dodatek bentonitu oraz czas pielęgnacji próbek ma wpływ na wartości kąta tarcia wewnętrznego popiołu lotnego i popio-

łu z dodatkiem bentonitu badanych w aparacie bezpośredniego ścinania.

Największe wartości oporu spójności osiągały próbki mieszaniny popiołu lotnego z 15% dodatkiem bentonitu zarówno bezpośrednio po zagęszczeniu, jak i po 7 i 28 dniach pielęgnacji próbek.

Czas pielęgnacji wpłynął na zmniejszenie wartości oporu spójności w przypadku próbek pielęgnowanych przez 28 dni. Największe wartości spójności otrzymano dla próbek badanych po 7 dniach pielęgnacji.

W przypadku parametrów wytrzymałościowych, kąt tarcia wewnętrznego oraz oporu spójności bentonit nie zaburza ich wartości, zmienia się natomiast charakter pracy materiału, który bez dodatku wykazuje cechy materiału kruchego, natomiast wraz ze wzrostem dodatku bentonitu – wykazuje cechy plastyczne.

LITERATURA

1. Gray D. H., Lin Y. K.: Engineering properties of compacted fly ash. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 98(4): 361-380, 1972.
2. Leonards G., A., Bailey B.: Pulverized coal ash as structural fill. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 108(4): 517-531, 1982.
3. Kozłowski T.: Zastosowanie różnicowej kalorymetrii skaningowej DSC, MDSC i QI-MDSC w badaniach układów woda – il. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2015.
4. Mollamahmutoğlu M., Yilmaz Y.: Potential use of fly ash and bentonite mixture as liner or cover at waste disposal areas. *Environmental Geology*, 40, 11-12, 2001.
5. Wasil M., Zabielska-Adamska K., Falkowska A.: Wytrzymałość na rozciąganie popiołu lotnego wbudowanego w warstwy uszczelniające. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 36(3): 271-275, 2015.
6. Zabielska-Adamska K.: Właściwości geotechniczne odpadów energetycznych z Elektrociepłowni Białostok w aspekcie ich przydatności do budowy nasypów. Praca doktorska. Politechnika Białostocka, Białostok 1997, maszynopis.
7. Zabielska-Adamska K.: Popiół lotny jako materiał do budowy warstw uszczelniających. Rozprawy Naukowe. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białostok 2006.

Badania przeprowadzono w Politechnice Białostockiej w ramach pracy nr S/WBiŚ/6/2013 i sfinansowano ze środków na naukę MNiSW.