

Jan Jaremski, Grzegorz Gryz

Uaktywnianie pyłów lessowych rejonu Rzeszowa popiołami z niewielką ilością cementu

Activating of loess silts of Rzeszow region with fly ashes of low cement content

Streszczenie: W pracy przedstawiono wyniki badań nad wykorzystaniem popiołów lotnych z EC Rzeszów do poprawy właściwości geotechnicznych gruntów lessowych. Opisanie badania polegały na określeniu parametrów wytrzymałościowych mieszanin popiołowo-pyłowych uaktywnionych niewielką ilością cementu. Zarejestrowano znaczną poprawę tych parametrów, a uzyskane wartości są bliskie, niekiedy zaś wyższe od minimalnych wymaganych przez branżowe normy drogowe.

Słowa kluczowe: popiół lotny, stabilizacja gruntu, mechanika gruntów

Abstract: Results of investigations, concerning application of the Rzeszow Heat and Power Station fly ashes to improve geotechnical properties of loess soils, have been presented in the paper. Described investigations consisted in determination of strength parameters of silt-ash mixtures activated with small amount of cement. Significant improvement of these parameters was registered and obtained values were close to or sometimes higher than the values required by road engineering standards.

Key words: fly ash, soil-stabilization, soil mechanics

Wstęp

Zalegające na znacznym obszarze województwa podkarpackiego grunty pylaste cechują się w przeważającej mierze niskimi parametrami wytrzymałościowymi. Dodatkowo są one wyjątkowo wrażliwe na zmiany zawilgocenia (Jaremski, 2000; Jaremski, 2002; Jaremski, 2002a; Jaremski, 2003; Jaremski, 2004). Pomimo to grunty te często stanowią podłoże budowlane, zwłaszcza dla budowli ziemnych, np. dróg. Może się to wiązać z wymianą tych gruntów lub z zapewnieniem wyso-

Jan Jaremski, Politechnika Rzeszowska, Zakład Geotechniki i Hydrotechniki, ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów, e-mail: jjaremsk@prz.edu.pl

Grzegorz Gryz, Politechnika Rzeszowska, Zakład Geotechniki i Hydrotechniki, ul. Wincentego Pola 2, 35-959 Rzeszów, e-mail: ggryz@prz.edu.pl

kich (odpowiednich) parametrów geotechnicznych. Celem badań prowadzonych do tej pory w Zakładzie Geotechniki i Hydrotechniki Politechniki Rzeszowskiej było zmniejszenie wrażliwości gruntów lessowych na zmiany zawilgocenia. Wykorzystywano do tego odpadowe popioły lotne z Elektrociepłowni Rzeszów.

Zwracając jednak uwagę na fakt spełniania przez grunty, stanowiące podłoże czy wręcz materiał do budowy nasypów drogowych, minimalnych wartości parametrów geotechnicznych podanych np. w Polskich Normach (PN-S-96011; PN-S-96012) przeprowadzono analizę badanych do tej pory mieszanin pod tym względem. Okazało się, że mieszaniny popiołowo-pyłowe nie spełniają tych wymagań i potrzebne są dodatkowe zabiegi poprawiające właściwości geotechniczne gruntów.

Istnieje wiele sposobów polepszania właściwości geotechnicznych gruntów słabych. Jednym z nich może być stabilizacja cementem, wapnem lub aktywnymi popiołami lotnymi.

W razie zastosowania popiołów z węgla kamiennego, co ma miejsce w przypadku opisywanych badań, efekt stabilizacji jest znikomy lub żaden. Dlatego przystąpiono do uaktywniania mieszaniny cementem. Badania mają na celu ustalenie niezbędnej ilości cementu w mieszaninie, dzięki której nastąpi uaktywnienie związków wiążących zawartych w mieszaninie, a powstały w ten sposób grunt osiągnie wymagane wartości parametrów geotechnicznych.

Opis badań i ich wyniki

Do badań wykorzystywany jest pył z okolic Politechniki Rzeszowskiej oraz popiół lotny z Elektrociepłowni Rzeszów, pobierany ze składowiska o krótkim okresie składowania (Jaremski, Gryz, 2004; Jaremski, Gryz).

Dotychczasowe badania prowadzone były pod kątem rozpoznania właściwości wiążących związków znajdujących się w popiołach oraz zdolności do absorbowania wody, co mogło wpływać na zmniejszanie wrażliwości gruntów pylastych na zmiany zawilgocenia. W badaniach tych jako główne parametry określono granicę plastyczności i płynności oraz wilgotność optymalną i maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego dla pyłu i mieszanin o różnych składach procentowych popiołu i pyłu (tab. 1) (Jaremski, Gryz, 2004; Jaremski, Gryz). Wyodrębniono procentowy udział składników, przy którym mieszanina uzyskiwała maksymalną wytrzymałość na ścinanie oraz trwałość (Jaremski, Gryz). Optymalny skład tej mieszaniny to 30% popiołu i 70% pyłu (30+70).

Przeprowadzone do tej pory badania potwierdziły fakt, że najwyższe parametry uzyskiwano dla wilgotności zarobowej równej wilgotności optymalnej (Pisarczyk, 2004).

Podczas aktualnie prowadzonych badań określone wcześniej parametry fizyczne i mechaniczne badanych gruntów zostały uzupełnione. Ponieważ zmieniał się skład mieszaniny przez dodatek cementu, należało ponownie ustalić optymalny skład procentowy składników. Na początku dodatek ten przyjęto w wysokości 2% i 4% wagi względem masy szkieletu próbki. Również rodzaj badań został skorygowany i ukierunkowany bardziej na wymagania stawiane przez branżowe normy drogowe.

Tabela 1. Parametry geotechniczne badanych gruntów
Table 1. Geotechnical parameters of tested soils

Lp.	Wielkość	Symbol	Rodzaj gruntu / Wartość wielkości			
			pył	popiół	mieszanka A*	mieszanka B**
1	granica płynności (%)	w_L	30,1	58,8	34,0	36,3
2	wskaźnik plastyczności (%)	I_p	10,3	5,1	8,2	8,4
3	zawartość części organicznych (%)	I_{om}	–	15,87	–	–
4	uziarnienie:					
	frakcja piaskowa (%)	f_p	15,1	23,4	18,3	19,2
	frakcja pyłowa (%)	f_{11}	73,8	75,7	76,4	78,6
	frakcja ilowa (%)	f_i	11,1	0,9	5,3	2,2
5	wilgotność optymalna (%)	w_{opt}	13,7	54,8	19,1	21,5
6	maksymalna gęstość objętościowa szkieletu (g/cm^3)	ρ_{ds}	1,800	0,899	1,573	1,500

mieszanka A* – 20% popiołu, 80% pyłu
mieszanka B** – 30% popiołu, 70% pyłu

Mając na uwadze przeprowadzone do tej pory badania i wyciągnięte z nich wnioski, do analizy wzięto mieszaniny o składzie: 20+80 i 30+70.

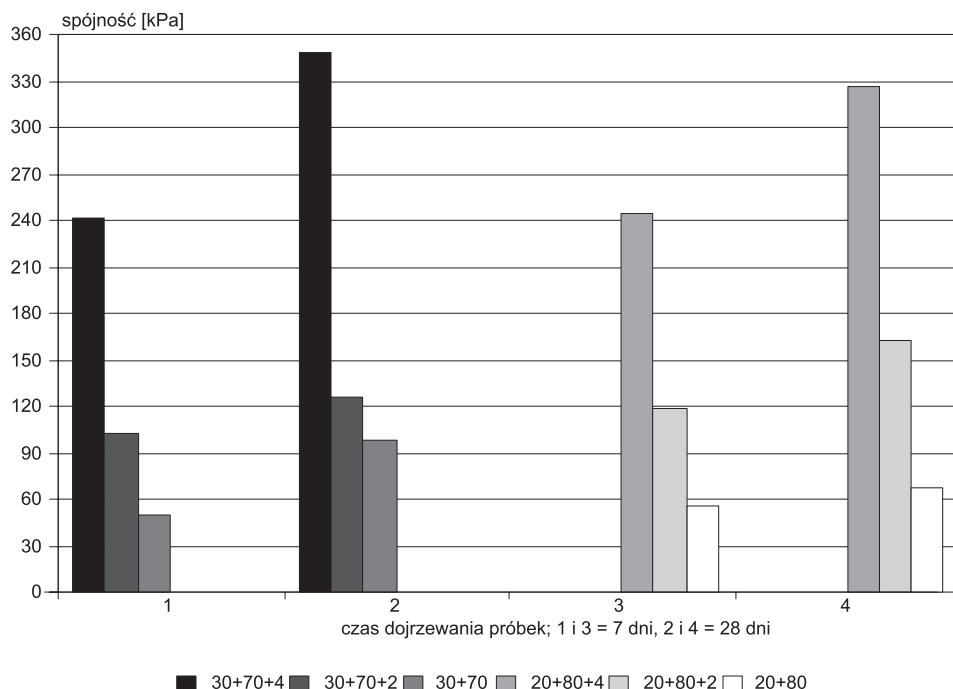
W trakcie badań określono skład granulometryczny pyłu i popiołu metodą analizy areometrycznej, oddzielnie dla pyłu i popiołu i oddzielnie dla ich mieszanin, oraz uzupełniono badania wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego według normalnej próby Proctora (PN-88/B-04481). Natomiast nie określano bezpośrednio w badaniach wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego mieszaniny z udziałem cementu, lecz przyjmowano ją według schematu podanego w PN-S-96011.

Zbadano również zdolność do pęcznienia mieszaniny 20+80 i 30+70 oraz mieszanin o innych składach, z podanym dodatkiem cementu, w celu stosunkowo łatwej i szybkiej weryfikacji efektu stabilizacji. Badania te wykonano w edometrze na próbkach preparowanych w pierścieniach edometrycznych przy zachowaniu wilgotności optymalnej. Próbkę zagęszczano w sposób dynamiczny do uzyskania maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego. Tak przygotowane próbki przechowywano bez możliwości utraty wilgotności przez trzy doby (PN-S-96011). Następnie przez cztery doby próbki poddawano nasączeniu wodą w celu określenia wartości pęcznienia. Po badaniu poddawano je dokładnym oględzinom w celu zaobserwowania ewentualnych uszkodzeń lub zmian jakości powierzchni.

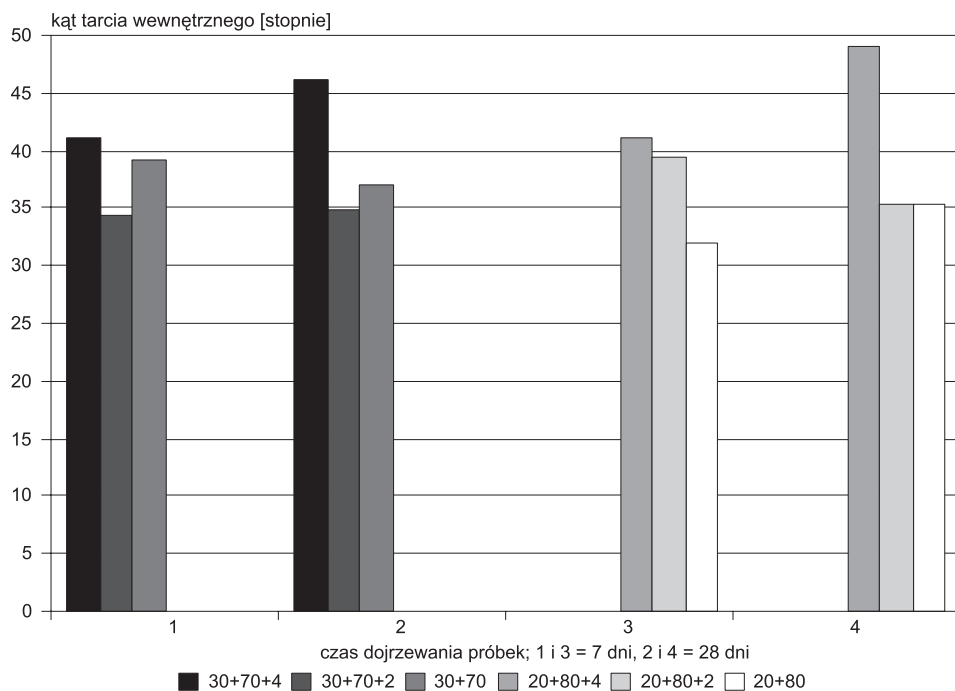
Uzyskany wskaźnik pęcznienia dla mieszanin o składzie: 20+80+2; 20+80+4; 30+70+2; 30+70+4 wynosił 0,00%, przy wilgotności pęcznienia większej od wilgotności zarobowej średnio o 3,5%. Próbkę po badaniu dobrze zachowywały kształt bez znacznego zwiększania wilgotności na zewnętrznych powierzchniach. Niemniej jednak dało się zauważyć większe zwilżenie krawędzi dla mieszanek z 2-procentowym dodatkiem cementu. Natomiast dla mieszanin: 40+60+2; 40+60+4;

50+50+2; 50+50+4 wskaźnik pęcznienia dla niektórych próbek był różny od zera, chociaż nieznacznie, ponieważ wynosił około 0,10%. Ponadto zaobserwowano, że znaczne zwilżenie krawędzi i powierzchni próbki oraz zmniejszanie stabilności kształtu występowało prawie w każdym przypadku i narastało wraz z większym udziałem popiołu w mieszaninie. Należy wnioskować, że większa zawartość popiołu opóźnia lub pogarsza proces wiązania.

Badania wytrzymałości na ścinanie obejmowały wykonanie kilkudziesięciu próbek mieszaniny popiołowo-pyłowej, po kilkanaście dla tego samego składu, o wilgotności i gęstości początkowej równych wartościom otrzymanym w próbie Proctora. Analizie poddano mieszaniny o następujących składach: 20% popiołu + 80% pyłu (20+80) i 30% popiołu + 70% pyłu (30+70) z 2- i 4-procentowym dodatkiem cementu. Tak spreparowane próbki przechowywane były zgodnie z zaleceniami PN-S-96012, a następnie określano ich wytrzymałość na ścinanie bezpośrednio w aparacie bezpośredniego ścinania AB-2a po 7 i 28 dniach pielęgnacji. Otrzymane wartości parametrów wytrzymałościowych mieszanin z dodatkiem cementu przedstawiono na wykresie (ryc. 1, 2). Wartości te znacznie przewyższają (dwu-, a nawet trzykrotnie w przypadku spójności) odpowiednie wartości tych parametrów dla mieszanin bez dodatku cementu. Wyniki te wskazują na znaczne uaktywnienie związków zawartych w popiołach.



Ryc. 1. Porównanie wartości spójności dla różnych mieszanin
Fig. 1. Comparison of cohesion value of different mixtures



Ryc. 2. Porównanie wartości kąta tarcia wewnętrzznego dla różnych mieszanin
 Fig. 2. Comparison of internal friction angle value of different mixtures

Zgodnie z PN-S-96012 decydującym kryterium przydatności mieszanki cementowo-gruntowej do wykonania warstwy podbudowy lub warstwy ulepszonego podłoża gruntowego jest wytrzymałość na ściskanie oraz wskaźnik mrozoodporności.

Do tej pory przeprowadzono badania wytrzymałości na ściskanie dla mieszanin o składzie: 20+80+4 i 30+70+4 na kilku próbkach sześciennych $8 \times 8 \times 8$ cm, przechowywanych przez 7 i 28 dni. Przygotowanie próbek i pielęgnacja przebiegała tak samo jak dla próbek przeznaczonych do ścinania bezpośredniego, zgodnie z zaleceniami PN-S-96012. Próbkę ścisane były z prędkością 1,92 kN/s (prędkość zalecana dla badania wytrzymałości chudego betonu). Wartości średnie wytrzymałości na ściskanie przedstawiono w tabeli 2.

Niestety nie określono jeszcze mrozoodporności, co będzie przedmiotem dalszych badań.

Tabela 2. Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie

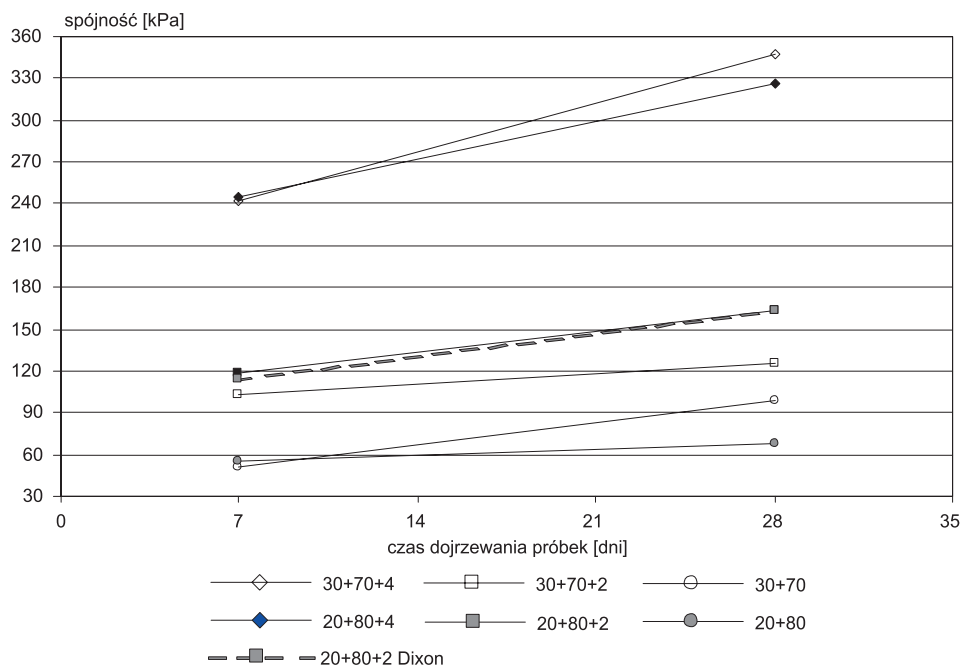
Table 2. Results of shear strength test

Rodzaj gruntu	Gęstość objętości szkieletu ρ_d (g/cm ³)	Dni przechowywania	Wytrzymałość na ściskanie R_c (MPa)
20+80+4	1,563	7	1,311
		28	2,295
30+70+4	1,488	7	1,707
		28	2,409

Analiza statystyczna wyników ścinania

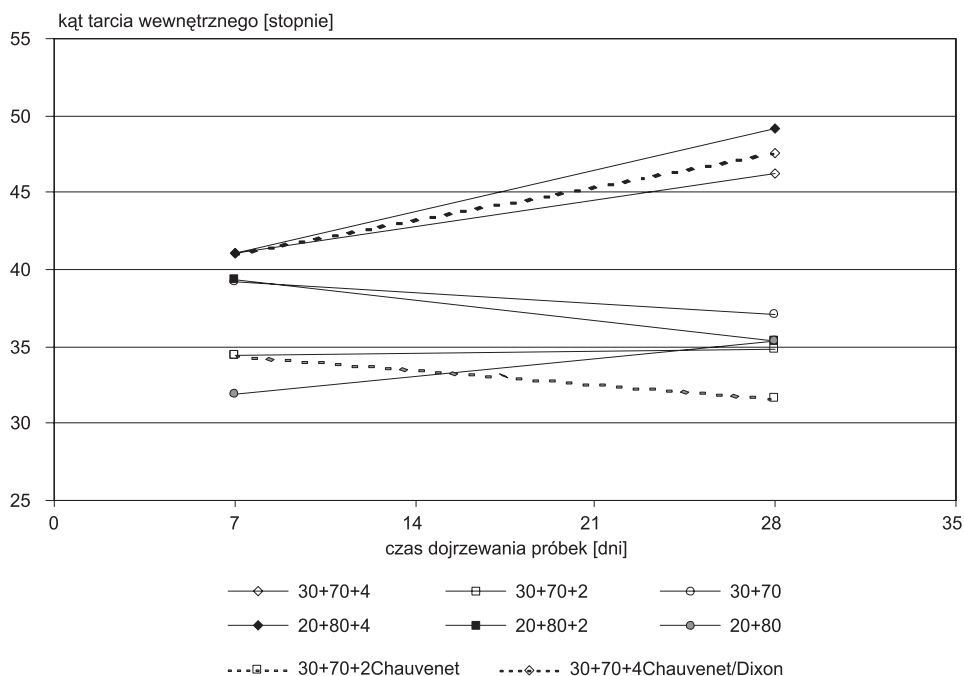
Przedstawiane w pracy rezultaty badań wstępnych zostały przeanalizowane z wykorzystaniem zbiorów o liczebności od czterech do pięciu wyników. Dla wyodrębnionych zbiorów zastosowano dwa testy statystyczne pozwalające na wyłonienie i eliminację wyników wątpliwych. Testy te to: kryterium Chauveneta, polegające na odrzuceniu wyników wykazujących odchylenia, których prawdopodobieństwo P w badaniu o liczebności n jest mniejsze od 0,5 (Brunarski, Runkiewicz, 1975), oraz test Dixona, przystosowany dla prób o liczebności $n \leq 10$ i dla zmiennych losowych niezależnych o rozkładzie normalnym. W teście Dixona zakłada się, że wątpliwy jest tylko jeden, najmniejszy $x_{(1)}$ lub największy wynik $x_{(n)}$ (Bobrowski, 1986).

W większości przypadków przy wyznaczaniu wartości średnich dla badanych wielkości wzięto pod uwagę wszystkie wyniki badań, co może wskazywać na brak zakłóceń lub pomyłek w procesie badawczym wg zaproponowanych testów. Wyjątek stanowi zbiór dla określenia spójności mieszanki o składzie 20+80+2 i zbiory dla określenia kąta tarcia wewnętrznego mieszanki o składzie 30+70+2 i 30+70+4. W przypadku zbioru 20+80+2 odrzucono największy wynik spójności, określanej po 7 dniach, wg testu Dixona, natomiast w przypadku zbioru 30+70+2 odrzucono największą wartość kąta tarcia wewnętrznego, określaną po 28 dniach, wg kryterium Chauveneta. Dla zbioru 30+70+4 najbardziej odbiegającym wynikiem kąta tarcia wewnętrznego po 28 dniach okazała się wartość najmniejsza, co



Ryc. 3. Statystyczny model wartości spójności dla różnych mieszankin

Fig. 3. Statistical model of cohesion value of different mixtures



Ryc. 4. Statystyczny model wartości kąta tarcia wewnętrzny dla różnych mieszanin
 Fig. 4. Statistical model of internal friction angle value of different mixtures

wykazały obydwie testy. Wpływ zastosowanej analizy statystycznej na końcowe wartości oznaczanych parametrów został pokazany na rycinach 3 i 4.

Wnioski

Najkorzystniejsze parametry wytrzymałościowe osiągnęły próbki mieszanin o składzie 70% pyłu, 30% popiołu i 4% cementu, preparowane przy wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego.

Otrzymane wyniki badań wytrzymałości na ściskanie są wyższe od wymaganych dla gruntów stabilizowanych tylko cementem, podanych w PN-S-96012.

Literatura

- Bobrowski D., 1986. Probabilistyka w zastosowaniach technicznych. Wyd. Nauk-Techn., Warszawa.
- Brunarski L., Runkiewicz L., 1975. Podstawy i przykłady stosowania metod nieniszczących w badaniach konstrukcji z betonu. ITB, Warszawa.
- Jaremski J., 2000. O konieczności prowadzenia badań gruntów lessowych i lessopodobnych rejonu Rzeszowa. Mat. IV Konferencji Naukowo-Technicznej: „Aktualne Problemy Naukowo-Badawcze Budownictwa”, Olsztyn-Łańsk.

- Jaremski J., 2002. O niektórych aspektach zmian parametrów geotechnicznych lessów i lessopodobnych rejonu Rzeszowa. Mat. V Konferencji Naukowo-Technicznej, Olsztyn-Łańsk.
- Jaremski J., 2002a. Parametry geotechniczne lessów i lessopodobnych rejonu Rzeszowa. Mat. konf. VII Międzynarodowej Konferencji Naukowej Lwowsko-Koszycko-Rzeszowskiej, Koszyce.
- Jaremski J., 2003. Parametry geotechniczne niektórych gruntów występujących na obszarze województwa podkarpackiego. Mat. XIII Krajowej Konferencji Mechaniki Gruntów i Fundamentowania, Szczyrk.
- Jaremski J., 2003a. Propozycja badań zmiany parametrów geotechnicznych ze szczególnym uwzględnieniem zmian zawilgocenia w czasie. Mat. konf. VI Konferencji Naukowo-Technicznej, Olsztyn-Kortowo.
- Jaremski J., 2004. Badania parametrów geotechnicznych gruntów lessowych rejonu Rzeszowa. Mat. Jubileuszowej Międzynarodowej Konferencji Naukowej, Olsztyn.
- Jaremski J., Gryz G., 2004. Zastosowanie popiołów lotnych z Elektrociepłowni Rzeszów do poprawy właściwości geotechnicznych gruntów lessowych. Mat. sesji naukowej: „Zastosowanie odpadów przemysłowych i geosyntetyków w budownictwie ziemnym”, Kraków.
- Jaremski J., Gryz G. Badania nad zastosowaniem popiołów lotnych z Elektrociepłowni Rzeszów do poprawy właściwości geotechnicznych gruntów pylastych. Artykuł po recenzji do Zeszytów Naukowych Politechniki Rzeszowskiej.
- Pisarczyk S., 2004. Grunty nasypowe. Politechnika Warszawska, Warszawa.
- Zabielska-Adamska K., 1997. Właściwości geotechniczne odpadów z elektrociepłowni Białystok w aspekcie ich przydatności do budowy nasypów. Praca doktorska, Politechnika Białostocka, Białystok.
- PN-88/B-04481. Grunty budowlane. Badania laboratoryjne.
- PN-S-96011. Drogi samochodowe. Stabilizacja gruntów wapnem do celów drogowych.
- PN-S-96012. Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem.
- PN-S-96035. Drogi samochodowe. Popioły lotne.