

MAŁGORZATA J. GLINICKA¹⁾

WŁAŚCIWOŚCI GEOTECHNICZNE GRUNTÓW SPOISTYCH Z TERENU BIAŁEGOSTOKU WZMACNIANYCH CEMENTEM LUB WAPNEM²⁾

STRESZCZENIE. Artykuł dotyczy badań właściwości geotechnicznych gruntów z terenu Białegostoku ulepszonych wapnem i cementem do budowy nasypów i podłoża nawierzchni. Celem badań było ustalenie wpływu dodatku wapna i cementu portlandzkiego popiołowego Cem II/B-V 32,5 R na parametry zagęszczalności i wytrzymałości gruntów spoistych tj. gliny piaszczystej i gliny pylastej zwięzłej. Dodatek cementu powoduje zwiększenie maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu, natomiast dodatek wapna powoduje zmniejszenie maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu w przypadku badanych gruntów. Stwierdzono, że dodatek cementu do gruntu spoistego powoduje wzrost wytrzymałości na ściskanie cemento-gruntu. Badania gruntu spoistego z dodatkiem wapna w aparacie bezpośredniego ścinania wykazały wzrost wytrzymałości na ścinanie takiej mieszanki. Wyniki tych badań omówione zostały na tle publikacji wymienionych w wykazie bibliografii.

1. WSTĘP

Dla zapewnienia trwałości nawierzchni drogowej, podłoże gruntowe powinno zapewniać właściwą nośność. Ulepszenie podłoża ma na celu zwiększenie nośności gruntów oraz zmniejszenie ich odkształcalności i wrażliwości na czynniki atmosferyczne. Metody powierzchniowego wzmocniania podłoża są następujące: zagęszczanie gruntu warstwami, ulepszanie i stabilizacja mechaniczna bądź chemiczna wbudowywanego

¹⁾ dr inż. – Politechnika Białostocka

²⁾ pracę wykonano w ramach projektu badawczego S/IIB/1/06

materiału gruntowego [1].

Stabilizowane grunty stosuje się w następujących przypadkach [2]:

- pod nawierzchnie drogowe, lotniskowe i torowiska linii kolejowych,
- przy wymianie słabych gruntów pod projektowane fundamenty bezpośrednie,
- jako wypełnienie wykopów pod nawierzchniami kolejowymi oraz obok podpór mostów lub przepustów,
- jako materiał do budowy nasypów drogowych i hydrotechnicznych oraz ogólnobudowlanych.

Stabilizacja cementem jest metodą wzmocniania gruntów niespoistych, mało spoistych, średnio spoistych oraz kruszyw. Wymagania dotyczące gruntów przeznaczonych do stabilizacji cementem są przedstawione w normie PN-S-96012 [3] oraz specyfikacji technicznej [4]. Zakres uziarnienia gruntów nadających się do stabilizacji cementem przedstawiono w pracy [5]. Do stabilizacji gruntu należy stosować cemeny powszechnego użytku klasy 32,5 lub 32,5 R zgodnie z normą [3]. Proces technologiczny stabilizacji cementem polega na zmieszaniu rozdrobnionego gruntu z optymalną ilością cementu i wody, a w razie potrzeby dodatków ulepszających oraz na zagęszczeniu tej mieszanki. O efekcie stabilizacji cementem decyduje wytrzymałość na ściskanie. Na wytrzymałość ściskanego cemento-gruntu ma wpływ: rodzaj stabilizowanego gruntu, ilość dodanego cementu i jego rodzaj oraz wilgotność, zagęszczenie, czas i „cykle mrożenia” jak podano w literaturze [2]. Autor pracy [6] wskazuje na możliwości stosowania podbudowy z gruntów stabilizowanych cementem na przykładzie budowy autostrady austriackiej. W pracy przedstawiono wyniki badań jednoosiowego ściskania na próbkach gruntu przy różnej zawartości cementu i różnej wilgotności optymalnej. Zaobserwowano wzrost wytrzymałości na ściskanie wynikający ze zwiększonego dozowania cementu. Bardzo ważne są badania przydatności gruntu do stabilizacji. W przypadku gruntów wysadzinowych wrażliwych na przemarzanie konieczne są badania mrozoodporności (cykle zamarzania i odmarzania). Praca [2] przedstawia wyniki badań wytrzymałości na ściskanie w zależności od rodzaju gruntu, ilości dodanego cementu oraz jego rodzaju. Przedstawione w tej pracy wyniki badań wykazały, że wytrzymałość na ściskanie próbek cemento-gruntu nasyconych wodą w większym stopniu zależy od rodzaju gruntu i marki cementu niż od rodzaju cementu.

Stabilizacja wapnem jest metodą wzmocnienia nadmiernie wilgotnych gruntów spoistych o wskaźniku plastyczności $I_p > 7\%$ zawierających materiały ilowe wchodzące w reakcje z wapnem. Zawartość frakcji kamienistej w gruncie nie powinna przekraczać 15%. Stabilizacja gruntów wapnem polega na ich rozdrobnieniu, zmieszaniu z wapnem oraz zagęszczeniu mieszanki przy wilgotności optymalnej. Do stabilizacji gruntu można stosować zarówno wapno palone niegaszone, jak i suchogaszone oraz dopuszcza się stosowanie wapna karbidowego [7]. Grunty do stabilizacji wapnem powinny spełniać wymagania podane w specyfikacji [8]. Ilość wapna i wody powinna być ustalona za pomocą badań laboratoryjnych. Zjawiska fizykochemiczne występujące w czasie mieszania gruntu z wapnem powodują: wymianę jonów, koagulację i osuszenie

gruntu. Grunty spoiste zmieszane z wapnem przyjmują strukturę gruzełkową, co poprawia ich urabialność i zagęszczalność. Grunt zmieszany z wapnem łatwiej się zagęszcza, co w połączeniu z wiązaniem hydraulicznym poprawia wytrzymałość wykonanej warstwy [9]. W pracy [2] przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na ściskanie pyłu i gliny pylastej stabilizowanych wapnem palonym przy maksymalnym ich zagęszczeniu i wilgotności optymalnej. Z przedstawionych zależności wynika, że wytrzymałość na ściskanie wapno-gruntu zależy od rodzaju gruntu, ilości dodanego wapna, wilgotności i czasu twardnienia próbek.

W pracy [10, 11] autorzy przedstawili zasady projektowania i badania mieszanek oraz organizację, wykonanie i kontrolę laboratoryjną związaną ze stabilizacją gruntów spoistych wapnem. Praca [12] zawiera wyniki badań, dotyczących stabilizacji gruntów spoistych wapnem takich jak wpływ dodatku wapna na zmianę wilgotności, zagęszczalność gruntu, wskaźnik nośności (CBR) i wytrzymałość. W przypadku wszystkich badanych gruntów przy dodaniu wapna zaobserwowano podwyższenie granic konsystencji, ale tylko przy określonych ilościach wapna. Badania wykazały, że dodatek wapna wpływa na podniesienie wilgotności optymalnej gruntu oraz na obniżenie jego gęstości. Ustalono optymalny dodatek wapna wynoszący około 7 %, przy którym reakcja wzmacniająca mieszanek wapienno-gruntową przebiegała najbardziej efektywnie, otrzymano najwyższe wytrzymałości na ściskanie.

Autorzy pracy [13] badali wpływ ilości dodanego wapna i cementu z zakładu Heidelberg's Cement typu HT-35 na parametry zagęszczenia i parametry wytrzymałościowe gruntów drobnoziarnistych. Badano właściwości gruntów spoistych z dodatkiem cementu i wapna w następujących ilościach: 2 %, 4%, 6 % i 8 % w stosunku do suchej masy gruntu. Wykonane badania wykazały wzrost wytrzymałości na ścinanie w przypadku badanych gruntów z dodatkami cementu i wapna. Lepsze rezultaty otrzymano przy zastosowaniu cementu. W przypadku badań zagęszczenia zaobserwowano zmniejszenie maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego wraz ze wzrostem ilości dodanego spoiwa. Dodatek cementu lub wapna do gruntu powoduje polepszenie parametrów wytrzymałościowych i zmniejszenie ściśliwości [14].

W artykule przeznaczonym do opublikowania przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych zagęszczalności i wytrzymałości gruntów spoistych wzmocnionych cementem i wapnem. Celem badań było ustalenie wpływu dodatku wapna i cementu na parametry zagęszczalności i parametry wytrzymałości gruntów spoistych z terenu Białegostoku.

2. BADANIA DOŚWIADCZALNE

2.1. MATERIAŁY I METODY BADAŃ

Do badań właściwości cemento-gruntu zastosowano grunt średnio spoisty pobrany z wykopu na terenie Białegostoku. Na podstawie wykonanych badań makroskopowych i analizy areometrycznej sklasyfikowano grunt jako glinę piaszczystą. Parametry

fizyczne tego gruntu są następujące: wskaźnik plastyczności $I_p = 14,07$, granica płynności $w_L = 25,32\%$, granica plastyczności $w_p = 11,25\%$. Do badań zastosowano cement portlandzki popiołowy Cem II/B-V 32,5R. Cement stosowano w następujących ilościach: 4 %, 6 %, 8 %, 10 % w stosunku do masy suchej próbek.

Do badań właściwości wapno-gruntu zastosowano glinę pylastą zwięzłą z terenu Białegostoku o granicy płynności $w_L = 31\%$ oraz wapno hydratyzowane budowlane CL 90-S, w ilości: 2 %, 4 %, 6 % i 8 % w stosunku do masy suchej próbki.

Według norm [3, 8] zagęszczanie mieszanki cementowo-gruntowej i mieszanki gruntu z wapnem powinno być wykonane, przy wilgotności optymalnej, po zakończeniu mieszania i profilowania, w przypadku dodatku cementu nie później niż przed zakończeniem czasu jego wiązania. Zagęszczanie powinno być wykonane sprzętem mechanicznym: walcami ogumionymi wibracyjnymi lub statycznymi albo płytami wibracyjnymi w miejscach mniej dostępnych. W celu oceny zagęszczenia koniecznym jest określenia parametrów zagęszczalności mieszaniny gruntu i cementu lub gruntu i wapna metodą Proctora.

Dla uzyskanych mieszanin gruntu i cementu przeprowadzono następujące badania:

- badania zagęszczalności metodą standardową Proctora według normy [15],
- badania wytrzymałości na ściskanie w prasie hydraulicznej według normy [3],

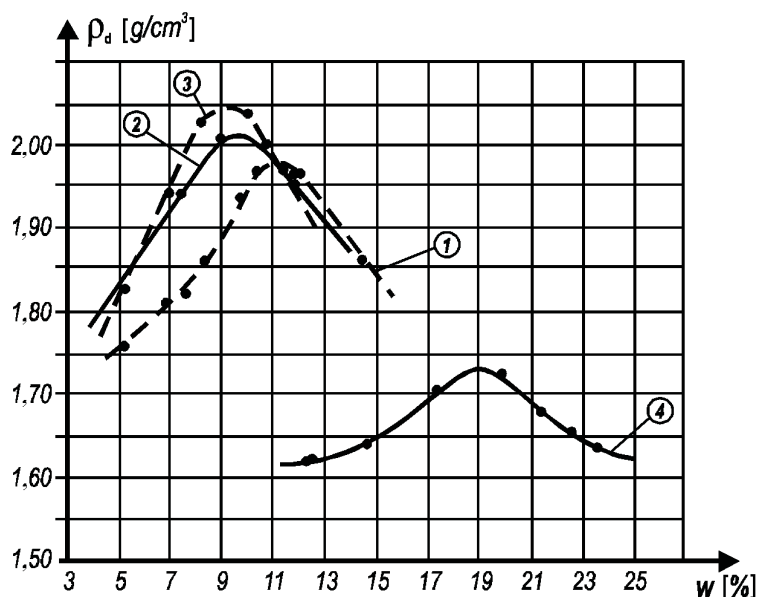
Badania laboratoryjne mieszaniny gruntu z wapnem obejmowały określenie:

- zagęszczalności metodą standardową Proctora według normy [15],
- parametrów wytrzymałościowych w aparacie bezpośredniego ścinania według normy jak wyżej.

2.2 PARAMETRY ZAGĘSZCZALNOŚCI WZMOCNIONYCH GRUNTÓW SPOISTYCH

Do najważniejszych cech wpływających na zagęszczenie gruntów należą: uziarnienie gruntu, wilgotność gruntu oraz zastosowana metoda badań [16]. W pracy [17] przedstawiono wyniki badań cech mechanicznych zagęszczonych gruntów spoistych. Wartości kąta tarcia wewnętrznego, w przypadku badanej gliny, zmniejszają się wraz ze wzrostem wilgotności, a największą wartość spójności uzyskano przy wilgotności optymalnej. Wyniki badań własnych, w postaci krzywych zagęszczalności różnych rodzajów gruntów spoistych uzyskane przy zagęszczaniu próbek gruntów metodą standardową Proctora – metodą I według normy [15], przedstawiono na rysunku 1. Otrzymano charakterystyczny kształt krzywych zależności zagęszczalności „ $\rho_d - w$ ”, typowy dla zagęszczalności gruntów spoistych.

Przebieg krzywych zagęszczalności dla gliny, gliny piaszczystej i piasku gliniastego jest zbliżony. Krzywa zagęszczalności iłu pylastego jest bardziej spłaszczona, tzn. że grunt ten jest mniej wrażliwy na zagęszczalność wobec zmian zawartości wody. W zależności od rodzaju zagęszczanego gruntu uzyskano różne wartości maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i wilgotności optymalnej.



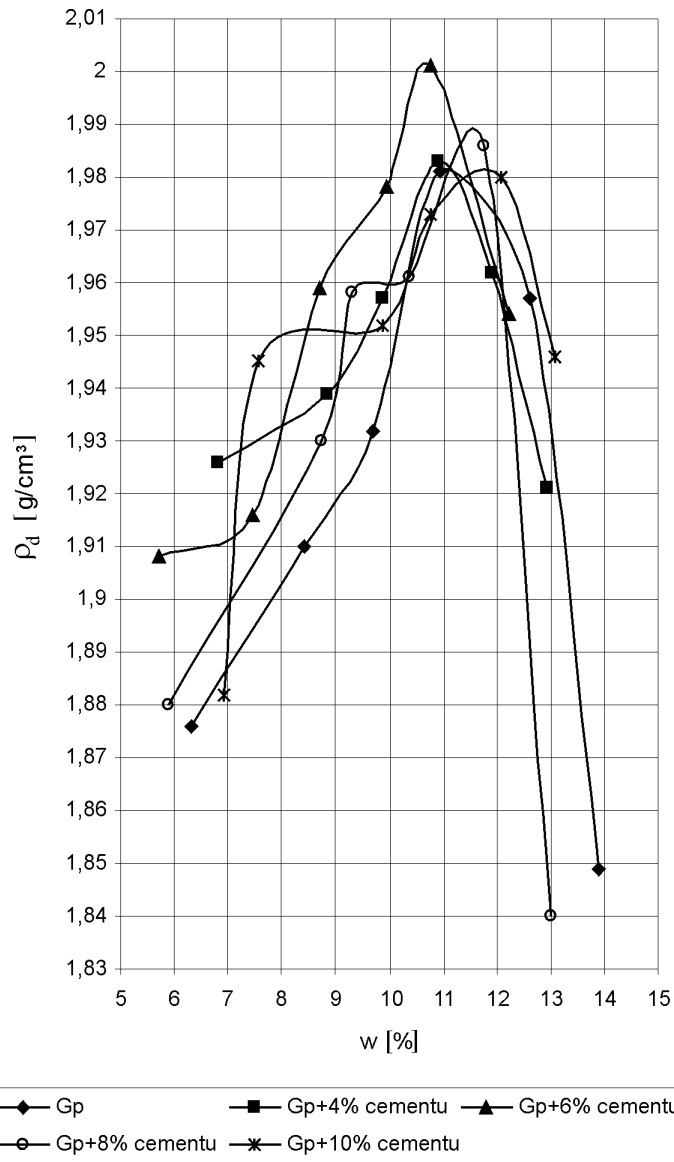
Rys.1. Krzywe zagęszczalności gruntów spoistych uzyskane metodą standardową Proctora:
 1-gлина, 2-пісок глинистий, 3-глина піщависта, 4-іл пиластий
 Fig.1. Compaction curves of cohesive soils obtained with Standard Proctor Method:
 1-clay, 2-clayey sand, 3-sandy clay, 4-silty clay

Tablica1. Wyniki badań parametrów zagęszczalności gliny піщавистej i gliny піщавистej z dodatkiem cementu Cem II / B-V 32,5 R
 Table1. Results of compactibility parameters for sandy clay and sandy clay with addition of cement Cem II / B-V 32,5 R

Ilość dodanego cementu	Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego	Wilgotność optymalna
[%]	[g/cm ³]	[%]
0	1,974	11,1
4	1,995	11,2
6	1,999	10,5
8	1,991	11,2
10	1,979	11,8

Badania zagęszczalności gliny піщавистej z dodatkiem cementu wykonano metodą standardową Proctora. Grunt zagęszczano w cylindrze o objętości 1 dm³ w trzech warstwach. Każda warstwa zagęszczana była 25 uderzeniami ubijaka lekkiego opuszczanego z wysokości 320 mm. Zastosowano aparat mechaniczny Proctora. Próbkę gruntu

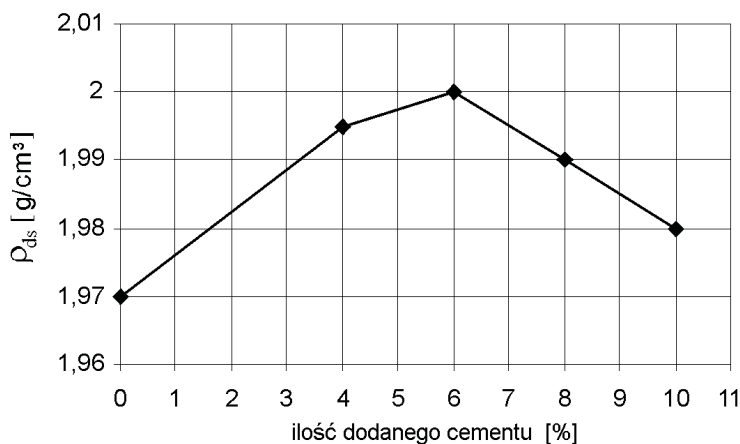
spoistego o określonej wilgotności przygotowano według zaleceń normy [15] i przechowywano w workach foliowych przez okres 1 doby. Po upływie tego czasu każdą próbkę mieszano z określoną ilością cementu i natychmiast po wymieszaniu ubijano w znormalizowany sposób. Wyniki badań przedstawiono w postaci krzywych zagęszczalności gliny piaszczystej i gliny piaszczystej z dodatkiem cementu (rys. 2).



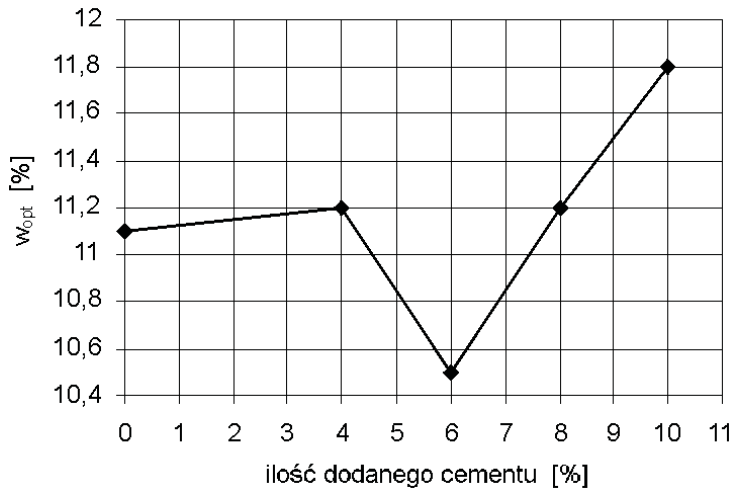
Rys.2. Krzywe zagęszczalności gliny piaszczystej (Gp) i gliny piaszczystej z różną ilością dodatku cementu CEM II / B-V 32,5 R

Fig.2. Compaction curves of sandy clay and sandy clay with different amount of cement addition CEM II / B-V 32.5 R

Zarówno dla samego gruntu jak i gruntu wzmocnionego cementem uzyskano zbliżony kształt krzywych. Przy zawartości cementu 8 % oraz 10 % część odcinka krzywej zagęszczalności po stronie suchej ($w < w_{opt}$) jest płaska. Badania parametrów zagęszczalności wykonano trzykrotnie dla każdej ilości dodatku cementu. W tabelicy 1 podano natomiast, wartości średnie maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i wilgotności optymalnej. Największą wartość maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego uzyskano dla gliny piaszczystej z 6 % dodatkiem cementu oraz jednocześnie najmniejszą wartość wilgotności optymalnej. Zależności maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego ρ_{ds} i wilgotności optymalnej w_{opt} od ilości dodanego cementu przedstawiono na rysunkach 3 i 4. Wartość ρ_{ds} zwiększyła się wraz ze wzrostem ilości dodanego cementu i osiągnęła największą wartość przy 6 % dodatku cementu, a następnie zmniejszyła się. Różnica względna pomiędzy wartością ρ_{ds} dla gliny piaszczystej oraz ρ_{ds} otrzymaną dla gliny piaszczystej z 6 % dodatkiem cementu wynosiła 1,3 %. Natomiast różnica względna pomiędzy wartością ρ_{ds} dla gliny piaszczystej oraz ρ_{ds} otrzymaną w przypadku 10 % dodatku cementu wynosiła 0,25 %. Jak widać, wpływ dodanego cementu na zmianę wartości maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego jest mały. Wilgotność optymalna wzrosła nieznacznie przy 4 % dodatku cementu, a następnie zmniejszyła się przy 6 % dodatku o 0,6 % w stosunku do w_{opt} otrzymanej dla gliny piaszczystej. Różnica pomiędzy w_{opt} przy 10 % dodatku cementu, a w_{opt} dla gliny piaszczystej wynosiła 0,7 %. Zaobserwowano nieduże różnice pomiędzy uzyskanymi wartościami wilgotności optymalnej w doświadczalnej zależności tej wilgotności od ilości dodanego cementu przemysłowego portlandzkiego CEM II / B-V-32,5 R (rys. 4).



Rys.3. Zależność maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego od ilości dodanego cementu CEM II / B-V 32,5 R do gruntu (głina piaszczysta)
 Fig.3. Relationship between maximum dry density of soil and amount of cement CEM II / B-V 32.5 R added to soil (sandy clay)



Rys.4. Zależność wilgotności optymalnej od ilości dodanego cementu CEM II / B-V 32,5 R do gruntu (głina piaszczysta)

Fig.4. Relationship between optimum water content and amount of added cement CEM II / B-V 32.5 R to soil

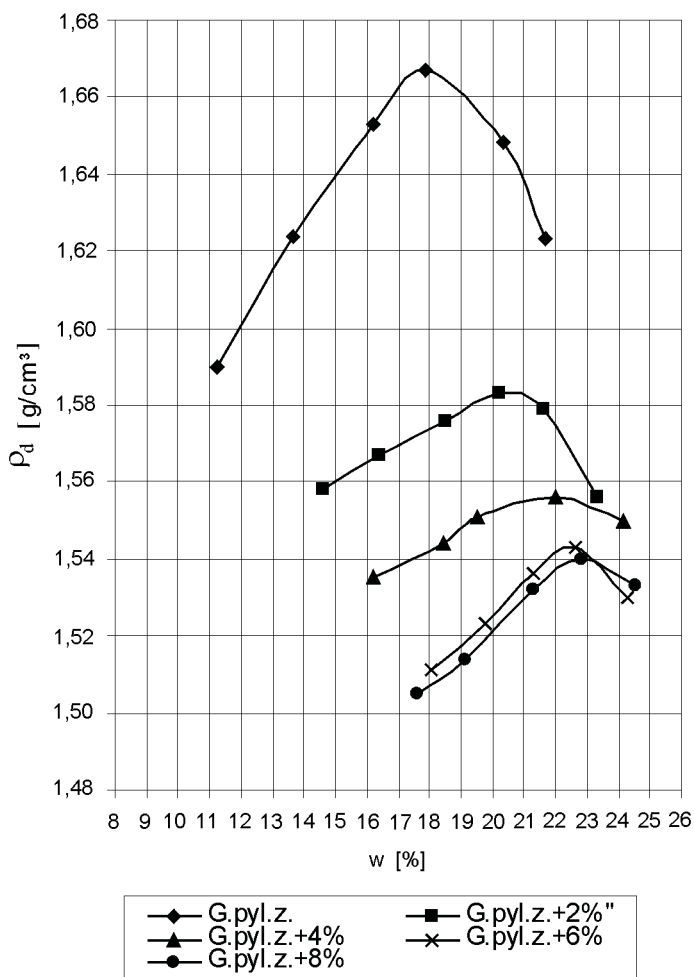
Badania laboratoryjne zagęszczalności mieszaniny gruntu spoistego i wapna wykonano metodą standardową Proctora stosując aparat mechaniczny. Badany grunt z wapnem układany był w 3 warstwach i zagęszczany 25 uderzeniami ubijaka lekkiego opuszczanego z wysokości 320 mm. Przygotowywano próbki o różnej wilgotności według normy [15] i przechowywano w workach plastikowych przez okres jednej doby. Wapno dodawano do gruntu i mieszano przed wykonaniem badania w aparacie Proctora. Zastosowany dodatek wapna wynosił: 2 %, 4 %, 6 % i 8 % w stosunku do masy suchej próbki gruntu.

Rysunek 5 przedstawia krzywe zagęszczalności gliny pylastej zwięzłej oraz gliny pylastej zwięzłej z różną ilością dodatku wapna. Zależności gęstości objętościowej szkieletu gruntowego od wilgotności dla gruntu z dodatkiem wapna są podobne jak dla samego gruntu. Uzyskano różne wartości parametrów zagęszczalności w zależności od ilości dodanego wapna do gruntu. Wraz ze zwiększeniem ilości dodanego wapna zmniejszyła się maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego i wzrosła wilgotność optymalna.

Badania parametrów zagęszczalności wykonano trzykrotnie dla każdej ilości dodatku wapna. W tabelicy 2 przedstawiono natomiast, średnie wartości maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego i wilgotności optymalnej. Rysunki 6 i 7 przedstawiają odpowiednio zależności maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu i wilgotności optymalnej od ilości dodanego wapna.

Analiza porównawcza wartości ρ_{ds} dla gliny pylastej zwięzłej oraz ρ_{ds} dla gliny pylastej zwięzłej z różną zawartością wapna wykazała że:

- różnica względna pomiędzy wartością ρ_{ds} dla gliny pylastej zwięzłej a ρ_{ds} otrzymaną dla tego gruntu z 2 % dodatkiem wapna wynosiła 5,5 %, natomiast w_{opt} była o 2,1 % większa przy 2 % dodatku,
- różnica względna pomiędzy wartością ρ_{ds} dla gliny pylastej zwięzłej a ρ_{ds} dla tego gruntu z 8 % dodatkiem wapna wynosiła 8,3 %, natomiast w_{opt} była o 4,6 % większa przy 8% dodatku,
- różnica względna pomiędzy wartościami ρ_{ds} przy 6 % oraz 8 % dodatku wapna wynosiła 0,2 %, a różnica pomiędzy wartościami w_{opt} wynosiła 0,4 %.

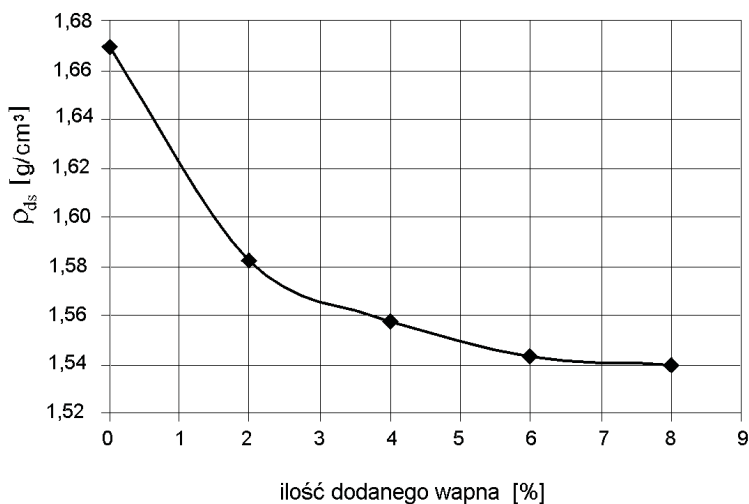


Rys.5. Krzywe zagęszczalności gliny pylastej zwięzłej i gliny pylastej zwięzłej z różną ilością dodatku wapna

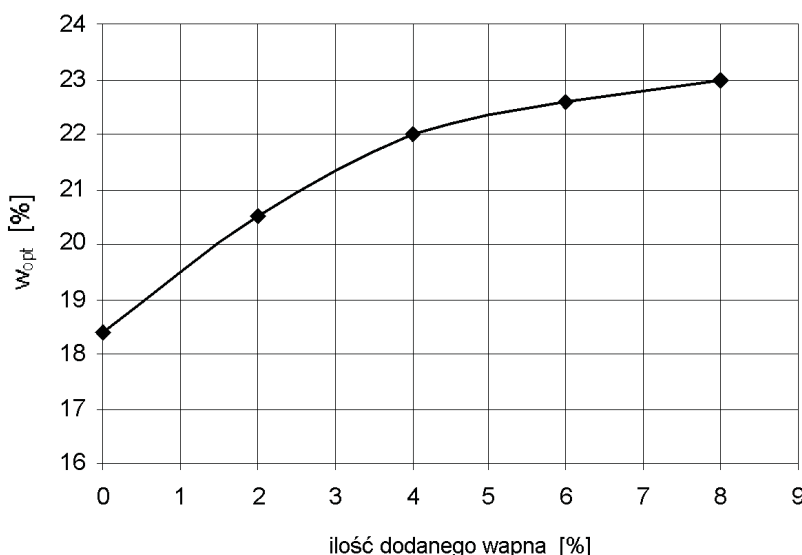
Fig.5. Compaction curves of silty clay and silty clay with different amount of lime additive

Tablica 2. Wyniki badań parametrów zagęszczalności gliny pylastej zwięzłej i gliny pylastej zwięzłej z dodatkiem wapna
 Table2. Results of compactibility parameters for silty clay and silty clay with lime additive

Ilość dodanego wapna	Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego	Wilgotność optymalna
[%]	[g/cm ³]	[%]
0	1,669	18,4
2	1,582	20,5
4	1,557	22,0
6	1,543	22,6
8	1,540	23,0



Rys.6. Zależność maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego od ilości dodanego wapna do gruntu (głina pylasta zwięzła)
 Fig.6. Relationship between maximum dry density of soil and amount of added lime to soil (silty clay)

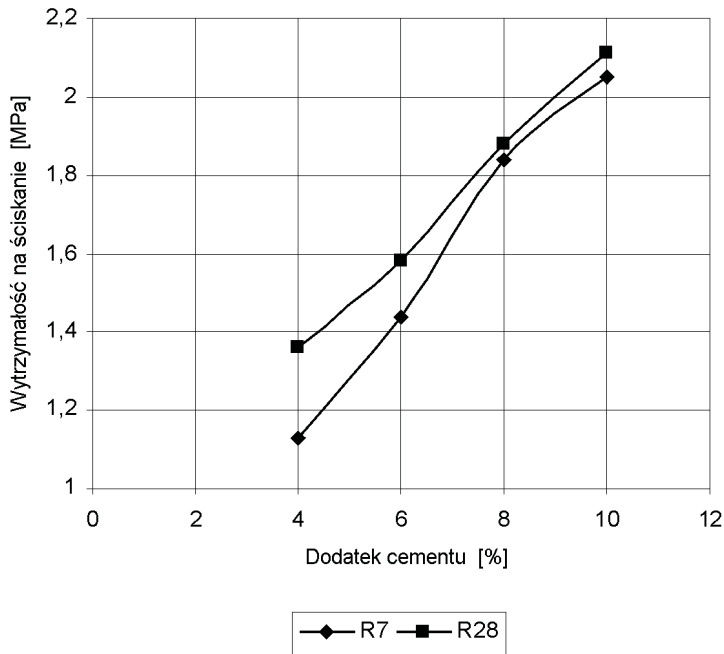


Rys.7. Zależność wilgotności optymalnej od ilości dodanego wapna do gruntu (głina pylista zwięzła)

Fig.7. Relationship between optimum water content and amount of added lime to soil (silty clay)

2.3. PARAMETRY WYTRZYMAŁOŚCIOWE WZMOCNIONYCH (STABILIZOWANYCH) GRUNTÓW SPOISTYCH

Badania wytrzymałości na ściskanie wykonano na 6 próbkach walcowych dla jednej mieszanki gruntu z cementem. W tym 3 próbki użyto do oznaczenia 7-dniowej wytrzymałości oraz 3 próbki do oznaczenia 28-dniowej wytrzymałości gruntu stabilizowanego cementem. Próbkę walcową z mieszanki cementowo-gruntowej zagęszczano dynamicznie energią odpowiadającą zagęszczeniu według metody I normy [15], przy wilgotności optymalnej mieszanki, w formie o wymiarach $d = h = 8$ cm. Do ubijania próbek użyto ubijaka o masie 4,5 kg, który opadał z wysokości 50 cm na próbkę. Próbkę zagęszczano w dwóch warstwach, po 5 uderzeń na każdą warstwę. Pielęgnację próbek przeznaczonych do badania wytrzymałości na ściskanie wykonano zgodnie z normą [3]. Próbkę ściskania przeprowadzono w prasie hydraulicznej typu ZDM 10. Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono na próbkach gliny piaszczystej z dodatkiem cementu: 4 %, 6 %, 8 % oraz 10 %. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 8. Wytrzymałość na ściskanie wzrasta wraz ze zwiększeniem ilości dodanego cementu. Wartości wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach są większe od wartości tych po 7 dniach. Norma [3] podaje wymagane wytrzymałości na ściskanie gruntu stabilizowanego cementem w zależności od rodzaju warstwy w konstrukcji nawierzchni drogowej.



Rys.8. Zależność wytrzymałości na ściskanie próbek cemento-gruntu po 7 dniach (R7) oraz 28 dniach (R28) od zawartości cementu

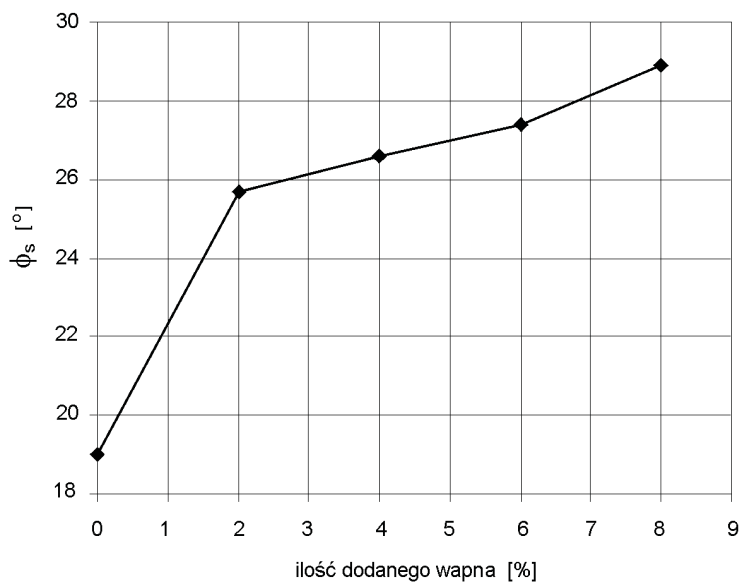
Fig.8. Relationship between compressive strength of cement-soil samples after 7 as well as 28 days and cement content in soil

Badanie wytrzymałości na ścinanie w przypadku gruntu spoistego z dodatkiem wapna przeprowadzono w aparacie skrzynkowym na próbkach o boku kwadratowym 6×6 cm i wysokości 2 cm. Ścinanie próbek wykonano przy obciążeniu normalnym wynoszącym: 50, 100, 150, 200 i 250 kPa. Próbkę gruntu i wapno-gruntu zagęszczano w aparacie Proctora przy wilgotności optymalnej gruntu oraz wilgotności optymalnej mieszanki gruntu i wapna. Gruntu wypychano z cylindra i wycinano próbki za pomocą stalowych ramek kwadratowych do badań wytrzymałości na ścinanie. Wykonano 5 serii badań różniących się ilością dodatku wapna: 0 %, 2 %, 4 %, 6 % i 8 %. Oznaczenie wytrzymałości na ścinanie wykonano na 3 próbkach dla określonej ilości dodatku po 7 dniach pielęgnacji. Dodatkowo dla wybranej ilości dodatku wapna tj. 4 % wykonano 2 serie badań wytrzymałości na ścinanie po 14, 28 dniach pielęgnacji. Tablica 3 przedstawia wyniki kąta tarcia wewnętrznego i spójności w zależności od ilości dodanego wapna do gliny pylastej zwięzłej po 7 dniach pielęgnacji. Badania wykonano trzykrotnie, natomiast w tablicy 3 przedstawiono wartości średnie. Rysunki 9 i 10 przedstawiają zależności parametrów wytrzymałościowych od ilości dodatku wapna.

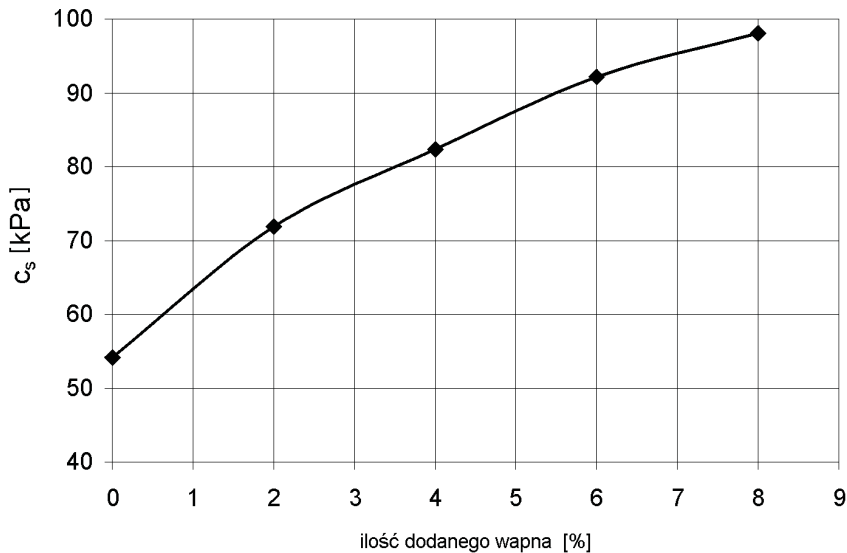
Tablica 3. Wyniki badań parametrów wytrzymałościowych gliny pylastej zwięzłej i gliny pylastej zwięzłej z dodatkiem wapna po 7 dniach pielęgnacji
 Table 3. Results of strength parameters for silty clay and silty clay with lime additive after 7 days of curing

Ilość dodatku wapna	φ_s	c_s
[%]	[°]	[kPa]
0	19	54,2
2	25,7	71,9
4	26,6	82,4
6	27,4	92,2
8	28,9	98,1

Z zestawionych danych na rysunkach 9 i 10 oraz tablicy 3 wynika, że przy dodaniu wapna wzrasta kąt tarcia wewnętrzznego i spójność. Przy dodaniu do gruntu 2 % wapna kąt tarcia wewnętrzznego wzrasta o $6,7^\circ$ a spójność o 17,7 kPa. Wraz ze wzrostem ilości dodanego wapna zwiększają się parametry wytrzymałościowe. Przy dodaniu 8 % wapna do gruntu kąt tarcia wewnętrzznego zwiększył się o $9,9^\circ$, a spójności o 43,9 kPa w stosunku do otrzymanych wyników dla gliny pylastej zwięzłej. Wyniki badań przedstawione w pracy [13] wskazują na wzrost parametrów wytrzymałościowych w zależności od ilości wapna.

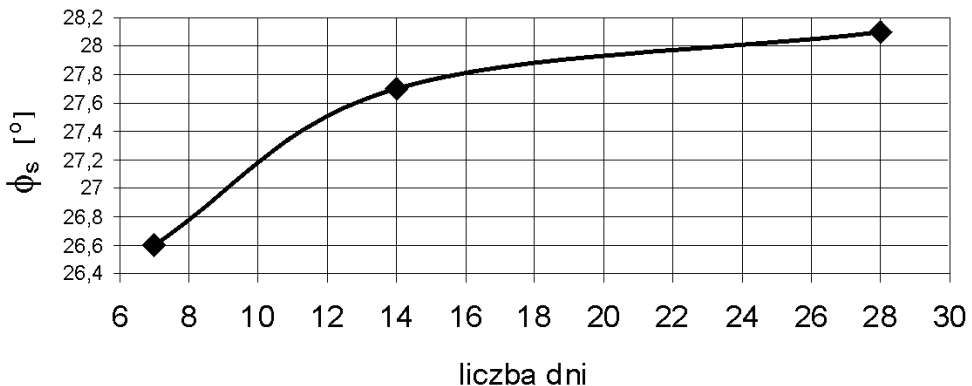


Rys.9. Zależność kąta tarcia wewnętrzznego od zawartości wapna w gruncie (gлина pylasta zwięzła)
 Fig.9. Relationship between internal friction angle and lime content in soil (silty clay)

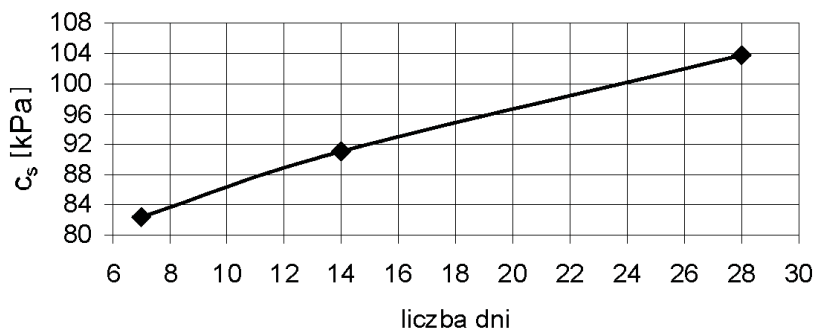


Rys.10. Zależność spójności od zawartości wapna w gruncie (gлина pylasta zwięzła)
 Fig.10. Relationship between cohesion and lime content in soil (silty clay)

W przypadku dodatku 4 % wapna do masy próbki wykonano dodatkowo badania po 14 i 28 dniach. Wyniki tych badań w zależności od czasu pielęgnacji próbek przedstawiono na rysunkach 11 i 12. Zaobserwowano wzrost parametrów wytrzymałościowych wraz ze wzrostem liczby dni pielęgnacji próbek. Otrzymane wyniki kąta tarcia wewnętrznego po 7 oraz 28 dniach różnią się o $1,5^\circ$, natomiast spójności o 21,4 kPa.



Rys.11. Zależność kąta tarcia wewnętrznego od liczby dni pielęgnacji próbek gliny pylastej zwięzłej z dodatkiem 4 % wapna
 Fig.11. Relationship between internal friction angle and days number of silty clay samples curing for 4 % of lime additive



Rys.12. Zależność spójności od liczby dni pielęgnacji próbek gliny pylastej zwięzłej z dodatkiem 4 % wapna

Fig.12. Relationship between cohesion and number days of silty clay samples curing for 4 % of lime additive

3. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski.

- Przez zagęszczanie cemento-gruntu i wapno-gruntu metodą standardową Proctora uzyskano charakterystyczny kształt krzywych zagęszczalności, zbliżony do używanego dla gruntów naturalnych. W przypadku zastosowania cementu wpływ ilości dodatku na maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego był nieznaczny. Największą wartość maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego uzyskano przy 6 % dodatku cementu Cem II / B-V 32,5 R. W przypadku zastosowania wapna maksymalna gęstości objętościowa szkieletu gruntowego zmniejszała się, podczas gdy zwiększano ilość dodatku wapna. Optymalna ilość dodatku wapna ze względu na zagęszczenie wynosi 2 %.
- Zastosowanie cementu spowodowało wzrost wytrzymałości na ściskanie badanych próbek cemento-gruntu wraz z ilością dodatku cementu. Badania wytrzymałości na ścinanie w aparacie bezpośredniego ścinania wykazały zwiększenie parametrów wytrzymałościowych wapno-gruntu w zależności od ilości dodanego wapna. Dodatek wapna do gliny pylastej zwięzłej powoduje wzrost wytrzymałości na ścinanie.
- Przeprowadzone badania wykazały, że wykorzystanie cementu i wapna do wzmocnienia gruntów spoistych z terenu Białegostoku jako materiału do budowy nasypów lub podłoża nawierzchni jest zasadne.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Wytyczne wzmocnienia podłoża gruntowego w budownictwie drogowym. Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa 2002
- [2] *Pisarczyk S.*: Grunty nasypowe. Właściwości geotechniczne i metody ich badania. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2004
- [3] PN-S-96012 Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem. PKN, Warszawa 1997
- [4] D-04.05.01 Ogólne specyfikacje techniczne. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu lub kruszywa stabilizowanego cementem. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa 1998
- [5] *Pisarczyk S.*: Geoinżynieria. Metody wzmocnienia podłoża gruntowego. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2005
- [6] *Brandl H.*: Weiterentwicklungen des mixed in place – Verfahrens für hydraulisch gebundene Tragschichten. Straße und Autobahn, 8/1998, 410 - 416
- [7] PN-S-96011 Drogi samochodowe. Stabilizacja gruntów wapnem do celów drogowych. PKN, Warszawa 1998
- [8] D-04.05.02 Ogólne specyfikacje techniczne. Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego wapnem. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych, Warszawa 1998
- [9] *Rolla S.*: Ulepszanie gruntów wbudowywanych w nasyp. Drogownictwo, nr 8/2001, 248 - 251
- [10] *Pachowski J., Skarżyński Z.*: Zasady projektowania i badania mieszanek przy stabilizacji gruntów spoistych wapnem i popiołami lotnymi. Drogownictwo, nr 9/1961, 215 - 219
- [11] *Pachowski J., Skarżyński Z.*: Stabilizacja gruntów spoistych wapnem i popiołami lotnymi na podstawie doświadczeń krajowych. Drogownictwo, nr 4/1962, 81 - 84
- [12] *Słupski W.*: Badania uzupełniające i nowelizacja na ich podstawie wytycznych stabilizacji gruntów wapnem. Prace COBiRTD, nr 1/1968 oraz Zastosowanie gruntów spoistych do wykonywania nasypów drogowych. Prace COBiRTD, nr 3/1974
- [13] *Gay G., Schad H.*: Influence of cement and lime additives on the compaction properties and shear parameters of fine grained soils. Otto-Graf Journal, **11**, 2000, 19 - 31
- [14] *Van Impe W.F.*: Soil improvement techniques and their evaluation. Balkema, Rotterdam 1989
- [15] PN-88/B-04481. Grunty budowlane. Badania próbek gruntu. PKN, Warszawa 1988
- [16] *Glinicka M.J.*: Factors influencing the laboratory compaction of fine-grained soils. Proceeding of the 12th Danube-European Conference, Passau, 27-28 May 2002, 319 - 322
- [17] *Glinicka M.J.*: Właściwości geotechniczne zagęszczanych gruntów spoistych. IX Międzynarodowa Konferencja Trwałe i Bezpieczne Nawierzchnie Drogowe, Kielce 2003, 271 - 278

GEOTECHNICAL PROPERTIES OF COHESIVE SOILS FROM BIALYSTOK AREA IMPROVED BY CEMENT AND LIME

Abstract

The paper relates to tests of geotechnical properties of improved soils by cement and lime addition for construction embankments and road pavement. The purpose of the investigation was the determination of influence of cement and lime addition on the compactibility and shear parameters of cohesive soils. The addition of cement CEM II / B - V 32,5 R caused an increase of maximum dry density, however the addition of lime caused a decrease of maximum dry density in the case of tested soils. The addition of cement for cohesive soil caused an increase of compressive strength. Tests of improved cohesive soil performed in direct shear apparatus showed an increase of shear strength of lime-soil.