

## Geologiczno-inżynierska ocena wybranych gruntów jako podłoża autostrady A2 w rejonie Grodziska Mazowieckiego i wyniki badań nad polepszeniem ich właściwości

Anna Tekielska<sup>1</sup>



**Engineering geological characteristics of selected soils north of Grodzisk Mazowiecki and their stabilization for Highway A2.** Prz. Geol., 56: 253–257.

*Abstract.* The soils along a proposed new route of Highway A2 north of Grodzisk Mazowiecki between Thuste and Żuków consists of three different classes of geological-engineering conditions: good, average and bad. Most of the area is characterized by unfavorable conditions because of high groundwater level. The study area is mainly covered by clays which are prone to emerge a frost heave. The analysis of the mechanical and physical characteristics of the soils showed that one of the soils did not meet the standard set for highways. Therefore the optimum soil composite and cementation methods have been employed. The suitability of the method of improving soils has been varified by means of such parameters as, compression strength samples containing from 4–10% of cement and the frost resistance index. The research revealed that samples containing from 4–8 % of cement do not comply with the norms for highways. Despite the correct compression strength criterion for mixtures that contain 10% of cement, low value of frost resistance index limits the possibilities of using this cement-soil mixture in the upper layers of the ground. Based on the unfavorable geological-engineering conditions and results of cementation in the soils it turned out that they are still not useful for the proposed highway project.

**Keywords:** geological engineering conditions, highway, frost heave, soils

### Charakterystyka terenu badań

Teren badań, obejmujący około 4,3 km<sup>2</sup>, znajduje się 30 km na zachód od Warszawy — w powiecie grodziskim (ryc. 1). Jego morfologia nie jest zróżnicowana — spadki terenu nie przekraczają 5%. Cały obszar pokrywają utwory plejstocenu i holocenu — głównie gliny zwałowe, piaski wodnolodowcowe oraz piaski, żwiry i mułki deluwialne, piaski eoliczne, piaski humusowe i namuły den dolinnych (Szalewicz, 1988). Głębokość zalegania zwierciadła wód gruntowych waha się od 0 do 4 m, lecz przeważnie wynosi od 0,5 do 1 m. Ważnym elementem krajobrazu są ciekі Mrowna i Rokitnica, a także liczne sztuczne zbiorniki wód.

### Cel badań

Celem badań była ocena geologiczno-inżynierskich właściwości podłoża gruntowego autostrady A2 w rejonie Grodziska Mazowieckiego — na odcinku Thuste–Żuków — i zbadanie możliwości polepszenia właściwości występujących w tym rejonie gruntów słabych.

Założono, że aby osiągnąć cel nadrzędny, należy:

- ocenić warunki geologiczno-inżynierskie;
- określić właściwości fizyczne i chemiczne badanych gruntów;
- ocenić wysadzinowość gruntów na podstawie badań wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej oraz nośności gruntów;
- ocenić przydatność cementacji do stabilizacji wybranych gruntów.

### Zakres badań

**Ocena warunków geologiczno-inżynierskich.** Ocena warunków geologiczno-inżynierskich opracowano zgodnie

z zaleceniami zawartymi w *Instrukcji sporządzania mapy warunków geologiczno-inżynierskich w skali 1 : 10 000 i większej dla potrzeb planowania przestrzennego w gminach oraz w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie*, uwzględniając również głębokość przemarzania gruntu. Do oceny warunków geologiczno-inżynierskich zastosowano 3 kryteria:

- spadków terenu;
- litologii utworów powierzchniowych;
- głębokości występowania zwierciadła wód gruntowych.

Na terenie badań wydzielono 3 klasy warunków geologiczno-inżynierskich.

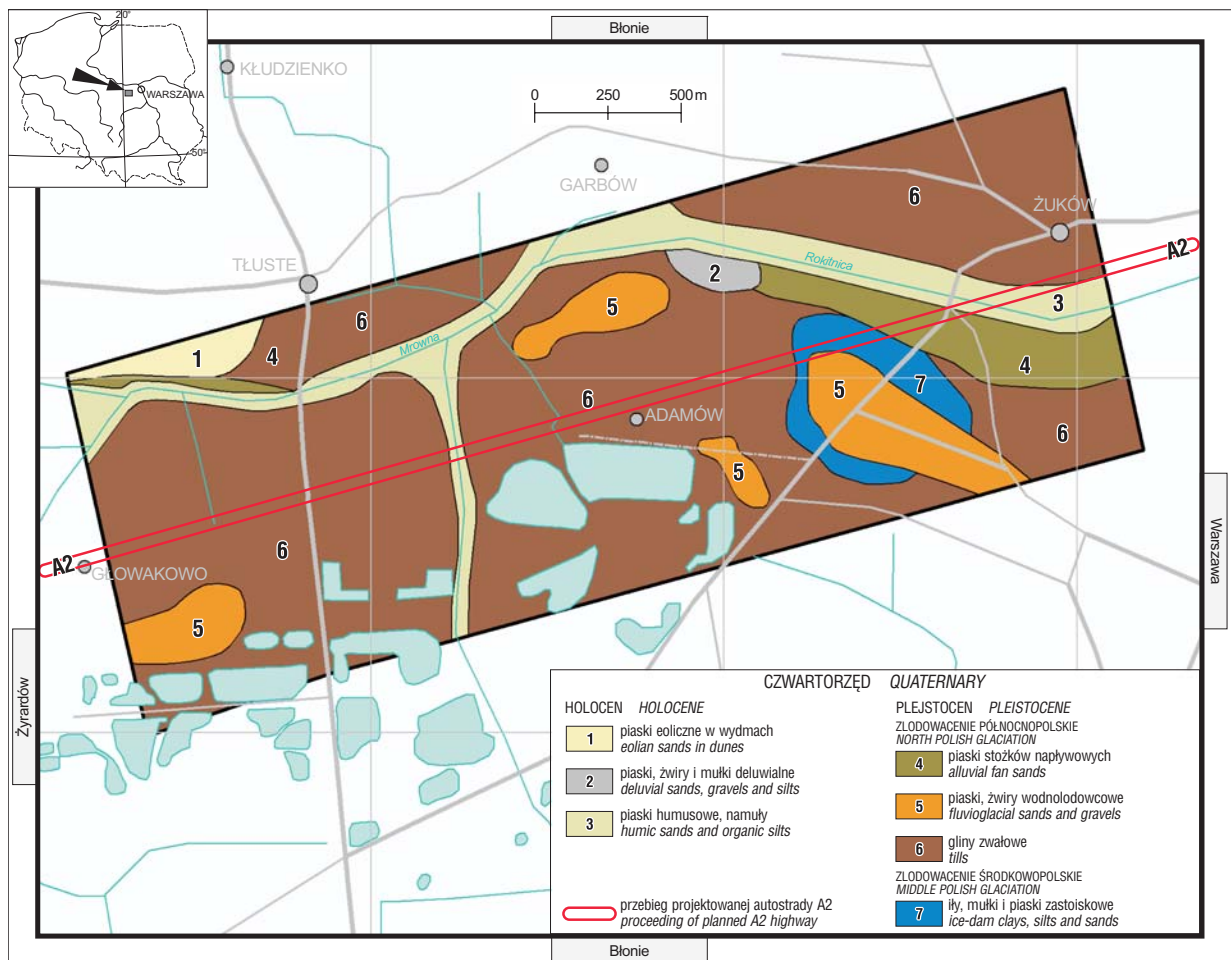
Do klasy I należą rejonu o dobrych dla budownictwa warunkach geologiczno-inżynierskich. Charakteryzują się one spadkami terenu mniejszymi od 5%, zwierciadło wód występuje poniżej 2 m p.p.t., a stopień zagęszczenia gruntu ( $I_D$ ) jest większy od 0,33. Tylko 8% terenu badań można zaliczyć do I klasy warunków geologiczno-inżynierskich.

Klasa II to rejonu o średnich dla budownictwa warunkach geologiczno-inżynierskich. Spadki terenu nie przekraczają na nich 5%, zwierciadło wód zalega na głębokości od 1 do 2 m p.p.t., stopień zagęszczenia gruntu ( $I_D$ ) jest większy od 0,33, a stopień plastyczności gruntu ( $I_L$ ) jest mniejszy od 0,25. Na terenie badań warunki geologiczno-inżynierskie II klasy występują na powierzchni 17% obszaru.

Klasa III to rejonu o złych dla budownictwa warunkach geologiczno-inżynierskich. Spadki terenu nie przekraczają 5%, jednak zwierciadło wód zalega na głębokości od 0 do 1 m p.p.t., a stopień plastyczności gruntu ( $I_L$ ) jest większy od 0,25. Warunki klasy III występują na powierzchni ponad 75% badanego obszaru.

**Makroskopowe i laboratoryjne badania wybranych gruntów.** W trakcie prac terenowych ze strefy bezpośred-

<sup>1</sup>Państwowy Instytut Geologiczny, ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa; anna.tekielska@pgi.gov.pl



Ryc. 1. Lokalizacja i mapa utworów czwartorzędowych terenu badań  
Fig. 1. Locality and a map of Quaternary deposits in the study area

niego wpływu podłoża na nawierzchnię pobrano próbki trzech gruntów:

- gliny pylastej zwięzłej (G1),
- piasku drobnego (P1),
- piasku średniego (P2).

Badania makroskopowe, wykonane zgodnie z normą PN-88/B-04481, umożliwiły wydzielenie zespołów gruntów o zbliżonych cechach oraz wytypowanie próbek do badań laboratoryjnych. Badania laboratoryjne przeprowadzono zgodnie z *Instrukcją Badań Podłoża Gruntowego Budowli Drogowych i Mostowych* (1998).

Oznaczenie wskaźnika nośności zostało wykonane zgodnie z normą PN-70/8931-05 *Drogi samochodowe. Oznaczenie wskaźnika nośności gruntu jako podłoża nawierzchni podatnych*. Na podstawie obliczeń sporządzono wykresy zależności wskaźnika nośności od wilgotności gruntu w określonych warunkach badania. Umożliwiło to wyznaczenie miarodajnego wskaźnika nośności (CBR).

**Zastosowanie cementacji w celu stabilizacji wybranych gruntów.** Na podstawie kryteriów oceny przydatności gruntów do budowy dróg, zawartych w *Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 r.*, glina pylasta zwięzła została wytypowana do dalszych badań, mających na celu poprawę jej właściwości jako podłoża. Do stabilizacji tego gruntu wybrano metodę cementacji, ponieważ jest ona przeznaczona dla dróg szybkiego ruchu i daje bardzo dobre wyniki. Metoda ta jest stosowana do stabilizacji gruntów nieorganicznych —

żwirów, piasków, pyłów, glin i ilów o granicy płynności ( $w_L$ ) < 60%. Przeważnie dobre efekty daje zastosowanie cementogratu o zawartości 4% cementu, a zalecana przez normę maksymalna zawartość cementu do stabilizacji podłoża dróg kategorii KR 6 wynosi 8%. Ponieważ badana glina pylasta zwięzła nie spełnia wszystkich wymagań, jakim powinien odpowiadać grunt przeznaczony do stabilizacji cementem, uznano, że konieczna jest modyfikacja metody poprzez poddanie badaniom również próbek o zawartości 10% cementu. Poszerzenie zakresu badań okazało się słuszne, gdyż wyniki badań próbek zawierających 8% cementu nie dały ostatecznej odpowiedzi na pytanie, jaką zawartość cementu należy zastosować, aby uzyskać jak najlepsze wyniki stabilizacji.

Do sporządzenia mieszanki gruntowych użyto cementu portlandzkiego CEM I 32,5 R S. Stabilizacja cementem została wykonana zgodnie z normami: PN-S-96012 *Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoża z gruntu stabilizowanego cementem*; PN-88/B-30000 *Cement portlandzki*; PN-B-19701 *Cement. Cement powszechnego użytku. Skład, wymagania i ocena zgodności*.

W ocenie przydatności mieszanki cementowo-gruntowej do wykonania warstwy ulepszonego podłoża wzięto pod uwagę jej wytrzymałość na ściskanie (oznaczaną po 7 i 28 dniach cementacji) oraz wskaźnik mrozoodporności.

Ściskanie próbek zostało przeprowadzone w prasie ZD-10, pierwszej klasy dokładności, o zakresie 4 T, dokładności działki 20 KG i dokładności odczytu 10 KG. Ściskanie przeprowadzono z prędkością posuwu tłoka 0,2–0,4 mm/s.

Wytrzymałość na ściskanie po 7 i 28 dobach cementacji została wyznaczona zgodnie z normą PN-S-96012 *Podbudowa i ulepszone podłoże z gruntu stabilizowanego cementem*. Wytrzymałość gruntu stabilizowanego cementem obliczono z dokładnością do 0,1 MPa jako średnią arytmetyczną z 3 wyników. Do obliczania średniej arytmetycznej odrzucano wynik niższy lub wyższy o 30% od tej średniej i wyznaczano średnią arytmetyczną z pozostałych wyników.

### Wyniki badań

**Warunki geologiczno-inżynierskie.** Oceniając występujące na obszarze badań warunki geologiczno-inżynierskie

stwierdzono, że ponad 75% obszaru należy zaliczyć do III klasy, czyli obszarów o warunkach złych dla budownictwa.

### Ocena wybranych właściwości badanych gruntów.

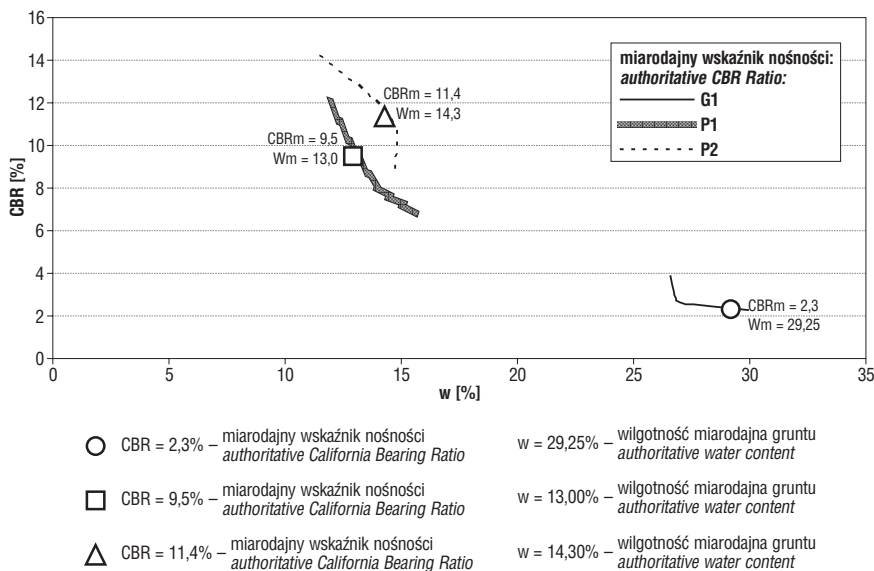
Wyniki badań laboratoryjnych (tab. 1) dowiodły, że pokrywająca większość badanego obszaru glina pylasta zwięzła jest gruntem podatnym na działanie wody, o bardzo małej zawartości frakcji piaskowej i stosunkowo dużej zawartości frakcji ilowej. Uzyskane w toku badań granice konsystencji tego gruntu miały wysokie wartości — wyższe od wartości typowych dla glin. Badany grunt charakteryzuje się dużym skurczem liniowym, co oznacza, że w warunkach

**Tab. 1. Właściwości fizyczne i chemiczne badanych gruntów**

Table 1. Chemical-physical properties of the soils studied

Parametr <i>Parameter</i>	Gлина pylasta zwięzła (G1) <i>Silty loam soil</i>	Piasek drobny (P1) <i>Fine sand</i>	Piasek średni (P2) <i>Medium sand</i>
Stan gruntu <i>State of soil</i>	twardoplastyczny <i>hardplastic</i>		
Stopień zagęszczenia <i>Density index <math>I_D</math> [-]</i>	–	średnio zagęszczony <i>medium-compacted</i> ( $I_D = 0,65$ )	zagęszczony <i>compacted</i> ( $I_D = 0,68$ )
Barwa gruntu, <i>Soil color</i>	brązowoszara <i>brownish-grey</i>	żółta <i>yellow</i>	jasnobrązowoszara <i>light brownish-grey</i>
Wilgotność <i>Water content</i>	wilgotny <i>wet</i>	suchy <i>dry</i>	wilgotny <i>wet</i>
Zawartość frakcji ilowej [%] <i>Clay fraction content</i>	25,2	–	–
Zawartość frakcji pyłowej [%] <i>Silt fraction content</i>	68,1	0,77	0,55
Zawartość frakcji piaskowej [%] <i>Sand fraction content</i>	6,7	99,23	91,64
Zawartość frakcji żwirowej [%] <i>Gravel fraction content</i>	–	–	7,81
Gęstość właściwa szkieletu gruntowego <i>Density of solid particles <math>\rho_s</math> [Mg/m<sup>3</sup>]</i>	2,71	2,66	2,67
Gęstość objętościowa gruntu <i>Density of soil <math>\rho</math> [Mg/m<sup>3</sup>]</i>	1,92	1,77	1,65
Gęstość objętościowa szkieletu gruntowego <i>Density of dry soil <math>\rho_d</math> [Mg/m<sup>3</sup>]</i>	1,53	1,66	1,54
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego <i>Maximum index density <math>\rho_{ds}</math> [Mg/m<sup>3</sup>]</i>	1,53	1,79	1,86
Wilgotność naturalna <i>Natural water content <math>w_n</math> [%]</i>	24,95	6,54	7,00
Zawartość substancji organicznej <i>Content of organic substances [%]</i>	3,38	–	0,48
Granica plastyczności <i>Plastic limit <math>w_p</math> [%]</i>	24,34	–	–
Granica skurczalności <i>Shrinkage limit <math>w_s</math> [%]</i>	13,60	–	–
Granica płynności <i>Liquid limit <math>w_L</math> [%]</i>	53,71	–	–
Wskaźnik plastyczności <i>Plasticity index <math>I_p</math> [%]</i>	29,37	–	–
Stopień plastyczności <i>Liquidity index <math>I_L</math> [%]</i>	0,02	–	–
Skurcz liniowy <i>Linear shrinkage <math>L_s</math> [%]</i>	11,62	–	–
Powierzchnia właściwa <i>Specific surface area <math>S_s</math> [m<sup>2</sup>/g]</i>	145,81	–	–
Zawartość węglanów <i>Content of carbonates [%]</i>	13,67	–	–
pH, <i>Soil pH [-]</i>	6,8	–	–
Wilgotność optymalna <i>Optimum water content <math>w_{opt}</math> [%]</i>	26,60	11,90	11,50
Kapilarność bierna <i>Passive capillarity <math>H_{kb}</math> [-]</i>	> 1,0	0,5	0,2
Wskaźnik piaskowy <i>Sand index WP [%]</i>	–	56,20	46,03
Wskaźnik nośności <i>California Bearing Ratio CBR [%]</i>	2,3	9,5	11,4





Ryc. 2. Miarodajne wskaźniki nośności badanych gruntów: G1 — glina pylasta zwięzła, P1 — piasek drobny, P2 — piasek średni  
 Fig. 2. Calculation of authoritative CBR Ratio: G1 — silty loam soil, P1 — fine sand, P2 — medium sand

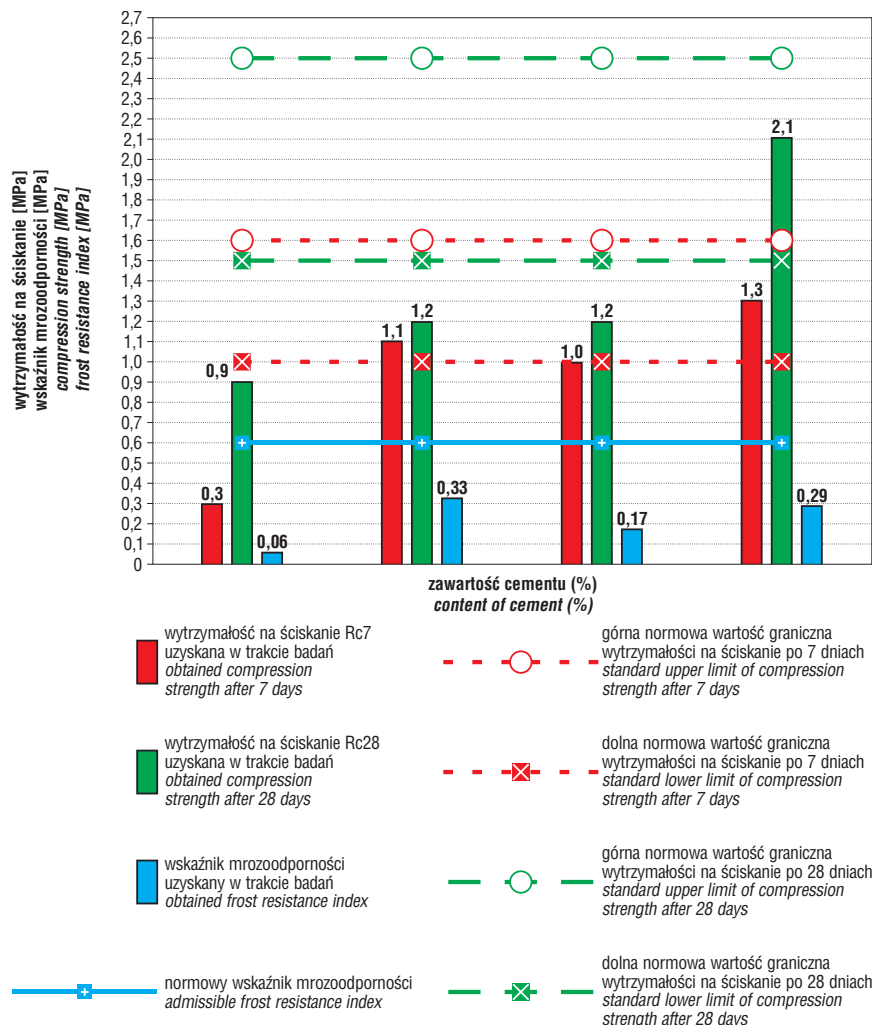
przesuszenia glina ta znacznie zmienia swą objętość, a zatem może niekorzystnie wpływać na wszelkie posadowione na niej obiekty budowlane. Duża zawartość frakcji ilowej odzwierciedla się w znacznej kapilarności biernej tego gruntu (> 1). Bardzo mały udział frakcji piaskowej jest przyczyną niskiej wartości wskaźnika piaskowego (tab. 1). Jest to grunt zły ze względu na przydatność do budowy dróg (Dec, 1984).

Biorąc pod uwagę wartość wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej oraz wskaźnika nośności stwierdzono, że piasek drobny i piasek średni są gruntami niewysadzinowymi, a glina pylasta zwięzła jest gruntem wysadzinowym. Na podstawie wartości wskaźnika piaskowego oceniono, że występujący na terenie badań piasek średni należy do grupy gruntów prawie zawsze dobrych do budowy dróg (o WP należącym do przedziału 35–54), a piasek drobny zaklasyfikowano do grupy gruntów bardzo dobrych do budowy dróg (o WP w przedziale 55–99; Dec, 1984).

Spośród badanych gruntów piasek średni charakteryzuje się największą wartością miarodajnego wskaźnika nośności (CBR), natomiast gruntem najsłabszym jest glina pylasta zwięzła (ryc. 2). Uzyskane w trakcie badań



Ryc. 3. Wytrzymałość na ściskanie i wskaźnik mrozoodporności badanych gruntów  
 Fig. 3. Results of compression strength and frost resistance index in the soils studied



laboratoryjnych wartości wskaźników nośności są porównywalne do wartości, które są podawane dla tego rodzaju gruntów przez Wiluna (2001) — *Klasyfikacja gruntów i ich przydatność do budowy dróg i lotnisk*.

**Wytrzymałość na ściskanie po 7 dniach nasycania wodą.** Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie próbek cementogrunтів po 7 dniach nasycania wodą dowodzą, że udział cementu w próbkach wyraźnie wpływa na ich wytrzymałość (ryc. 3). Wytrzymałość próbek zawierających 4% cementu była 3- lub nawet 4-krotnie mniejsza od wytrzymałości próbek zawierających 6, 8 i 10% cementu. Największą wytrzymałość miały próbki zawierające 10% cementu. Odnotowano anomalne obniżenie wytrzymałości próbek o zawartości 8% cementu w stosunku do wytrzymałości próbek o zawartości 6% cementu.

We wszystkich próbkach powstały spękania podłużne równoległe do kierunku siły ścisakającej. Próbki zawierające 6 i 10% cementu wykazywały większą stabilność struktury w trakcie badania wytrzymałości niż próbki o zawartości 4 i 8% cementu, które uległy rozpadowi. W próbkach zawie-

rających 4% cementu liczba spękań była zdecydowanie większa niż w pozostałych próbkach; obserwowano w nich również największe deformacje. Najmniejsze naruszenie struktury nastąpiło w próbkach o zawartości 6 i 10% cementu. Liczba spękań była dużo mniejsza niż w pozostałych próbkach. Trudno wytłumaczyć obniżenie wytrzymałości na ściskanie próbek o zawartości 8% cementu. Być może w gruncie wykorzystanym do wykonania mieszanki 8% była obecna materia organiczna, która znacznie obniża wytrzymałość cementogrunty. Możliwe jest również, że duża zawartość cząstek iłowych sprawiła trudności w rozdrobnieniu gruntu i nie został on dobrze wymieszany z cementem. Niezwiązane z cementem cząstki gruntu mogły pęcznieć, przez co zmniejszyły spójność i wytrzymałość materiału i spowodowały rozsądzenie cementogrunty. Zgodnie z normą PN-S-96012 za przydatne do budowy dróg uznaje się grunty, których wytrzymałość na ściskanie po 7 dniach nasycania wodą zawiera się w granicach od 1,0 do 1,6 MPa. Tylko wytrzymałość próbki zawierającej 4% cementu nie mieściła się w tym zakresie. Pozostałe próbki spełniały wymagania normy pod względem wytrzymałości (ryc. 3).

**Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach nasycania wodą.** Po 28 dniach twardnienia zróżnicowanie wytrzymałości 4, 6, 8 i 10% próbek cementogrunty było mniejsze niż po 7 dniach. Wyraźnie zaznaczyła się przewaga wytrzymałości na ściskanie próbki o zawartości 10% cementu (ryc. 3). We wszystkich próbkach powstały spękania podłużne. Obserwowano blokowy rozpad wzdłuż działającej siły nacisku. Próbki zawierające 10% cementu odznaczały się największą liczbą spękań, świadczącą o większej wytrzymałości próbek i bardziej kruchym rozpadzie. Spękania ukośne zaobserwowano w części wewnętrznej próbek, natomiast spękania poprzeczne nie nastąpiły. Zgodnie z normą PN-S-96012 za przydatne do budowy dróg uznaje się cementogrunty, których wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach nasycania wodą wynosi od 1,5 do 2,5 MPa. Tylko wytrzymałość próbek z domieszką 10% cementu mieściła się w tym zakresie. Pozostałe próbki mieszanek grunto-cementowych nie spełniały wymagań normy (ryc. 3).

**Wskaźnik mrozoodporności.** Badanie wskaźnika mrozoodporności poprzedzono 14 cyklami zamrażania i odmrażania. Struktura próbek uległa znacznemu osłabieniu już po 7 cyklach. Wpływ zmian temperatury najwyraźniej zaznaczył się w próbkach zawierających 4% cementu. Ich struktura uległa osłabieniu i nastąpił duży ubytek masy. Próbki 10% pozostały niezmiennione. Podobnie do próbek o zawartości 10% cementu wyglądały próbki 6%. Ubytek ich masy był niewielki. Próbki o zawartości 8% cementu ujawniały większe osłabienie struktury niż próbki 6%.

Wytrzymałość na ściskanie po 14 cyklach zamrażania i odmrażania była bardzo zróżnicowana w zależności od zawartości cementu. Wytrzymałość próbek 10% była 12,5 razy większa od wytrzymałości próbek 4%. Próbki ulegały zniszczeniu wzdłuż kierunku siły niszczącej, rozpadając się na pojedyncze bloki. Największy wskaźnik mrozoodporności miały próbki zawierające 6% cementu (0,33), niewiele mniejszy próbki 10% (0,29). Zgodnie z normą PN-S-96012 wskaźnik mrozoodporności grunty przydatnych do budowy dróg kategorii ruchu KR 6 powinien być większy od 0,6. Żaden z badanych cementogrunty nie

odpowiadał wymaganiom normy. Największy wskaźnik mrozoodporności miał grunt o zawartości 6% cementu (0,33), lecz był on o połowę mniejszy od wymaganego.

### Wnioski końcowe

Większa część obszaru charakteryzuje się niekorzystnymi dla budownictwa warunkami geologiczno-inżynierskimi. Głównym czynnikiem obniżającym warunki geologiczno-inżynierskie jest płytkie występowanie zwierciadła wód gruntowych.

Występujący na terenie badań piasek drobny i piasek średni może być użyty do wykonania dolnych warstw nasypów poniżej strefy przemarzania, dolnych warstw nasypów w strefie przemarzania oraz w wykopach do strefy przemarzania.

Pokrywająca prawie cały obszar badań glina pylasta zwięzła jest gruntem wysadzinowym. Chociaż sporządzony z niej 10%-cementogrunty spełnia wymagania normy pod względem wytrzymałości na ściskanie, to jednak niska wartość wskaźnika mrozoodporności ogranicza możliwości zastosowania takiej mieszanki cementowo-gruntowej w górnych warstwach podłoża. Ponieważ cementacja gliny nie dała zadowalających wyników stabilizacji tego gruntu, na odcinku drogi, który przebiega przez obszar pokryty badaną gliną pylastą zwięzłą, a tym bardziej na odcinku płytkiego występowania zwierciadła wód gruntowych, zaleca się wymianę gruntu.

### Literatura

- BAŻYŃSKI J., DRĄGOWSKI A., FRANKOWSKI Z. & KACZYŃSKI R. 1999 — Instrukcja sporządzania mapy warunków geologiczno-inżynierskich w skali 1:10 000 i większej dla potrzeb planowania przestrzennego w gminach. Min. Środ., Państw. Inst. Geol.
- DEC T. 1984 — Mechanika grunty. Wzmacnianie grunty w budownictwie wojskowym. Skrypt Wyd. Wojskowej Akademii Technicznej, Warszawa.
- GRABOWSKA-OLSZEWSKA B. & SIERGIEJEW E. 1977 — Gruntoznawstwo. Wyd. Geol.
- FALKIEWICZ A. 1962 — Właściwości fizyczno-mechaniczne glin zwałowych środkowego Mazowsza. Biul. Geol., 2: 95–107.
- Instrukcja Badań Podłoża Gruntowego Budowli Drogowych i Mostowych, cz. 1, 1998. Inst. Bad. Dróg i Mostów, Warszawa.
- Polska Norma PN-70/8931-05 — Drogi samochodowe. Oznaczenie wskaźnika nośności gruntu jako podłoża nawierzchni podatnych.
- Polska Norma PN-88/B-04481 — Grunty budowlane. Badania próbek grunty.
- Polska Norma PN-88/B-30000 — Cement portlandzki.
- Polska Norma PN-B-19701 — Cement. Cement powszechnego użytku. Skład, wymagania i ocena zgodności, 1997.
- Polska Norma PN-S-96012 — Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoża z gruntu stabilizowanego cementem, 1997.
- Polska Norma PN-S-02205 — Drogi samochodowe. Roboty ziemne. Wymagania i badania, 1998.
- Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 2 marca 1999 w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dz. U. Nr 43, poz. 430, dz. V, roz. 2, zał. 4.
- STRYZER A. 2005 — Geologiczno-inżynierska ocena grunty w rejonie planowanej autostrady na północ od Grodziska Mazowieckiego z uwzględnieniem polepszenia ich właściwości. Arch. Wyd. Geol. UW.
- SZALEWICZ H. 1988 — Objaśnienia do szczegółowej mapy geologicznej Polski w skali 1 : 50 000, ark. Grodzisk Mazowiecki. Wyd. Geol.
- WIŁUN Z. 2001 — Zarys geotechniki. Wyd. Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- Wytyczne wzmacniania podłoża grunty w budownictwie drogowym — 2002. Inst. Badaw. Dróg i Mostów, Warszawa.

Praca wpłynęła do redakcji 18.08.2006 r.

Po recenzji akceptowano do druku 16.01.2008 r.