

*Bogusław Kamiński, Małgorzata Sobalak, Adam Kozłowski*

## **STABILIZACJA PIASKÓW DROBNYCH RÓWNOZIARNISTYCH PUSZCZY NOTECKIEJ CEMENTAMI PORTLANDZKIMI**

### **Streszczenie**

W badaniach wykorzystano piasek drobny równoziarnisty oraz piasek drobny równoziarnisty próchniczny. Grunty pobrano z nawierzchni gruntowych dróg leśnych położonych na obszarze Puszczy Noteckiej. Do stabilizacji użyto cementu portlandzkiego oraz cementu portlandzkiego wieloskładnikowego. Mieszanki cementowo-gruntowe wykonano z 4 dawkami (3,6,9,12%) obu cementów. Próbkę do badań wytrzymałości przechowywano w warunkach wilgotności optymalnej, wysycenia wodą oraz zamrażania i rozmrażania. Wyniki badań porównano do kryteriów wytrzymałości dla nawierzchni drogowych wg PN-S-96012, 1997. Ogólnie stwierdzono, że oba grunty były trudne do stabilizacji cementami, a szczególnie piasek próchniczny. Cement portlandzki wykazywał 2-krotnie lepsze efekty stabilizacji w stosunku do cementu wieloskładnikowego. Mieszanki wykazywały wysoką wodoodporność oraz niską mrozoodporność.

Na dolną warstwę ulepszonych podłoża warunki wytrzymałości na ściskanie spełnił piasek drobny próchniczny z 9% dodatkiem cementu portlandzkiego oraz piasek drobny z 9% dodatkiem cementu wieloskładnikowego. Na górną warstwę ulepszonych podłoża warunki wytrzymałościowe spełniła tylko mieszanka piasku drobnego z 12% dodatkiem cementu portlandzkiego. Należy wykonywać dalsze badania z większymi dawkami cementu portlandzkiego oraz po próbach doziarnienia gruntu rodzimego, przed stabilizacją cementem.

**Słowa kluczowe:** stabilizacja piasków, cement portlandzki, cement portlandzki wieloskładnikowy, mieszanki cementowo-gruntowe

## WSTĘP

Sieć dróg leśnych na terenie Puszczy Noteckiej w zdecydowanej większości posiada nawierzchnie gruntowe. Tylko część dróg głównych ma nawierzchnie „glinowane”. Są to jednak nawierzchnie stare, budowane w okresie międzywojennym, które obecnie nie spełniają warunku nośności dla stale rosnących obciążeń osiowych nowoczesnych środków transportowych. Potrzeby w zakresie wzmocnienia i modernizacji sieci drogowej na tym obszarze są olbrzymie. Wybór technologii budowy nawierzchni zależy w dużej mierze od gruntów podłoża drogowego. W powierzchniowych warstwach obszarów puszczy najczęściej zalegają piaski drobne równoziarniste pochodzenia aluwialnego w sąsiedztwie rzek Warty i Noteci oraz eolicznego w środkowym obszarze pagórków wydmy. W niniejszej pracy podjęto próbę stabilizacji cementem gruntów pobranych z dróg leśnych Puszczy Noteckiej. Zastosowanie tej technologii jest bezpieczne dla środowiska leśnego, potwierdzają to badania Czerniaka (Czerniak A. 2004). Ponadto stabilizacja należy do procesów tanich i szybkich w wykonawstwie, ponieważ umożliwia wysoki stopień zmechanizowania prac [Kamiński, Kokowski 1994].

## CEL BADAŃ

Celem badań było określenie możliwości stabilizacji piasku drobnego równoziarnistego dwoma rodzajami cementu. Ponadto podjęto również próbę określenia wpływu zawartości części organicznych w gruncie na efekty stabilizacji.

## METODYKA

Oznaczenie składu granulometrycznego gruntu podłoża wykonano zgodnie z normą PN-B-04481 (PN-88/B-04481), stosując metodę analizy sitowej.

Wilgotność optymalną  $w_{opt}$  i maksymalną gęstość objętościową szkieletu gruntowego  $\rho_{ds\ max}$  oznaczono metodą normalną Proctora I, zgodnie z normą PN-B-04481 (PN-88/B-04481).

Przyjęto cztery dawki procentowe cementów (3%, 6%, 9% i 12%), obliczone w stosunku do suchej masy gruntu.

Próbki do badań wytrzymałości na ściskanie  $R_c$  wykonano z gruntu stabilizowanego cementem w formach cylindrycznych,

w postaci walców o wymiarach  $h=75$  mm,  $d=50$  mm. Próbki zagęszczano w wilgotności optymalnej do maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu.

Przed badaniem wytrzymałości  $R_c$  próbki pielęgnowano w następujących warunkach:

– próbki przeznaczone do badań w warunkach wilgotności optymalnej  $R^{o_7}$  i  $R^{o_{28}}$ , przechowywano odpowiednio przez 7 i 28 dni w temperaturze  $18^\circ\text{C}$ , zabezpieczono przed utratą wilgotności (w workach foliowych);

– próbki nasycone wodą  $R^{m_7}$  - przechowywano 3 doby w warunkach wilgotności optymalnej,

1 dobę zanurzone w wodzie do poziomu 1 cm, a pozostałe 3 doby całkowicie zanurzone w wodzie oraz  $R^{m_{28}}$  - 13 dni przechowywano w warunkach wilgotności optymalnej, 1 dzień zanurzone w wodzie do poziomu 1 cm i 14 dni całkowicie zanurzone w wodzie;

– próbki przeznaczone do badań  $R_c$  po cyklach zamrożeń  $R^{z_{o_{28}}}$  - 13 dni przechowywano w warunkach wilgotności optymalnej, 1 dzień całkowicie zanurzone w wodzie o temperaturze  $18^\circ\text{C}$ , a następnie poddano 14 cyklom zamrożeń i odmrożeń (jeden cykl polegał na 8 godzinnym zamrożeniu w temperaturze  $-23^\circ\text{C}$  i 16 godzinnym odmrażaniu w wodzie o temperaturze  $18^\circ\text{C}$ ).

Wytrzymałość na ściskanie  $R_c$  stabilizowanego gruntu wykonano w prasie ZD 10/90, o prędkości posuwu tłoka  $0,3$  mm/s.

Wyznaczono wskaźnik mrozoodporności, który został obliczony jako stosunek wytrzymałości na ściskanie próbek poddanych 14 cyklom zamrażania i odmrażania  $R^{z_{o_{28}}}$  do wytrzymałości na ściskanie próbek poddanych pełnemu nasyceniu wodą  $R^{m_{28}}$ .

Wskaźnik rozmakania obliczono jako stosunek wytrzymałości na ściskanie próbek nasyconych wodą do wytrzymałości na ściskanie próbek przechowywanych w warunkach wilgotności optymalnej ( $R^{m_7}/R^{o_7}$ ,  $R^{m_{28}}/R^{o_{28}}$ ).

Wyniki badań podano jako średnie z pięciu powtórzeń.

## MATERIAŁY UŻYTE DO BADAŃ

Do badań użyto następujących materiałów:

- piasku drobnego równoziarnistego,
- piasku drobnego równoziarnistego – próchnicznego,
- cementu portlandzkiego EN 197-1-CEM I 32,5 R,

- cementu portlandzkiego wieloskładnikowego EN 197-1-CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R,
- wody wodociągowej.

**Piasek drobny równoziarnisty.** Grunt pochodził z nawierzchni gruntowej drogi leśnej, z obszaru Nadleśnictwa Wronki położonego w południowej części Puszczy Noteckiej.

Grunt ten cechowała niska zawartość części organicznych (straty prażenia wynosiły 0,43%). Po przeprowadzeniu analizy sitowej stwierdzono, że badany grunt to piasek drobny, w którym ziarna o średnicy mniejszej niż 0,25 mm stanowiły 83,26% jego masy. Obliczony na podstawie składu granulometrycznego wskaźnik uziarnienia wyniósł 2,47, co pozwoliło zakwalifikować go do gruntów równoziarnistych o złej zagęszczalności. Potwierdził to test Proctora, w którym grunt osiągnął swoją maksymalną gęstość objętościową szkieletu  $\rho_{ds}=1,703 \text{ g/cm}^3$  przy wilgotności optymalnej  $w_{opt}=7,6\%$ . Grunty o takiej charakterystyce granulometrycznej są trudne do stabilizacji.

**Piasek drobny równoziarnisty** zawierający części humusowe. Podobnie jak piasek drobnoziarnisty niezawierający części humusowych, opisany grunt pochodził z nawierzchni leśnej drogi gruntowej Nadleśnictwa Wronki.

Analiza sitowa wykazała, że jest to piasek drobny, w którym zawartość ziaren o średnicy mniejszej niż 0,25 mm wynosiła 65,11%. Dla badanego gruntu wskaźnik uziarnienia wynosił 3,73, co oznacza, że grunt należy do równoziarnistych. Badanie Proctora wykazało, że przy wilgotności optymalnej  $w_{opt}=12,6\%$  maksymalna gęstość objętościowa szkieletu badanego gruntu wyniosła  $\rho_{ds}=1,718 \text{ g/cm}^3$ . Barwa piasku sugerowała, że jest to grunt zawierający części organiczne. Ich zawartość określona stratami prażenia wyniosła 1,12%. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że badany grunt to piasek drobny równoziarnisty – próchniczny.

**Cement portlandzki EN 197-1-CEM I 32,5 R.** Cement portlandzki powszechnego użytku najpowszechniej stosowany zarówno w Polsce, jak i na świecie. Należy do klasy wytrzymałościowej 32,5 o wysokiej wytrzymałości początkowej (R). Charakteryzuje go umiarkowane ciepło hydratacji, umiarkowana dynamika narastania wytrzymałości wczesnych oraz umiarkowana dynamika narastania wytrzymałości w długich okresach dojrzewania. Cement EN-197-1-CEM I 32,5 R jest zgodny z normą EN 197-1.

**Cement portlandzki wieloskładnikowy EN 197-1-CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R.** Cement portlandzki powszechnego użytku, zaliczany do grupy cementów wieloskładnikowych mieszanych – CEM II. Należy do klasy wytrzymałościowej 32,5 o wysokiej wytrzymałości początkowej (R). Składniki główne występują w tym cemencie w ilości większej niż 5% sumy masy wszystkich składników, a drugorzędne w ilości mniejszej niż 5%. Cement ten ma nieco większą szybkość wydzielania ciepła niż cement niskokaloryczny, jednak szybkość wzrostu wytrzymałości jest taka sama jak dla zwykłego cementu portlandzkiego. Cement EN 197-1-CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R jest zgodny z normą EN 197-1.

**Woda wodociągowa.** Woda w mieszaninie cementowo - grun-  
towej wpływa na stopień zagęszczenia mieszaniny oraz zapewnia optymalny przebieg reakcji hydrolizy i hydratacji cementu, które wpływają na efektywność jego wiązania. Do stabilizacji gruntu zastosowano wodę z wodociągu, która odpowiadała wymaganiom PN-88/B-04481.

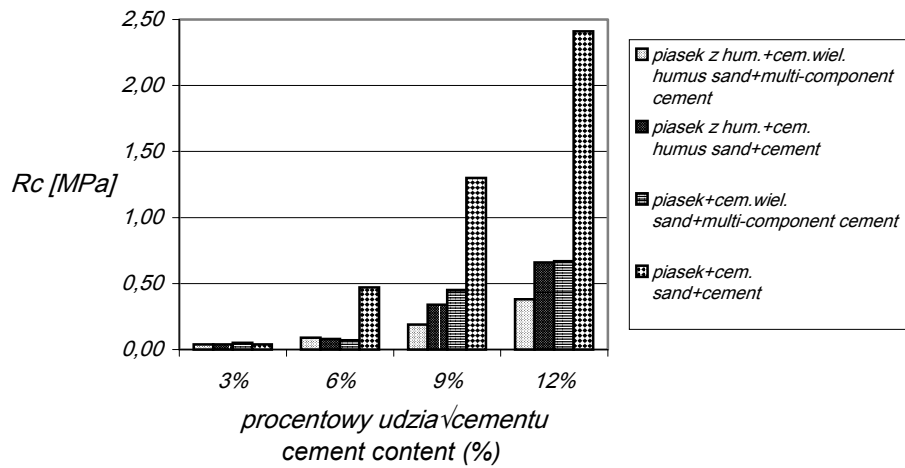
#### ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

Celem analizy wyników badań było ustalenie kształtowania się wytrzymałości na ściskanie  $R_c$  próbek z mieszanek gruntów z cementami po różnych warunkach pielęgnacji w zależności od czynników je warunkujących takich jak: grunt oraz udział w nim próchnicy, rodzaj i dawka stabilizatora. Wyniki wytrzymałości próbek pielęgnowanych w warunkach optymalnych (rys. 1) oraz nasycenia wodą (rys. 2) wskazują na wzrost  $R_c$  wraz z dodatkiem cementów, przy czym dodatek stabilizatorów w dawce 3 i 6% dał efekt negatywny w przypadku obu gruntów.

Udział humusu w piasku wpływał niekorzystnie na wyniki stabilizacji. Na podstawie oceny próbek z dodatkiem 12% cementów wiążących w warunkach nasycenia wodą  $R_{28}^m$  (rys. 2) stwierdzono, że piasek z ilością 0,43% części organicznych wykazywał z obu cementami około 2-krotnie wyższe wyniki  $R_c$  w stosunku do piasku z 1,12% udziałem. Również rodzaj stabilizatora wpływał na efekt stabilizacji gruntów. W przypadku tych samych próbek z 12% udziałem cementów dojrzewających w warunkach  $R_{28}^m$  oba grunty z cementem portlandzkim wieloskładnikowym wykazały 2-krotnie niższe wytrzymałości w stosunku do mieszanek z cementem portlandzkim bez domieszek.

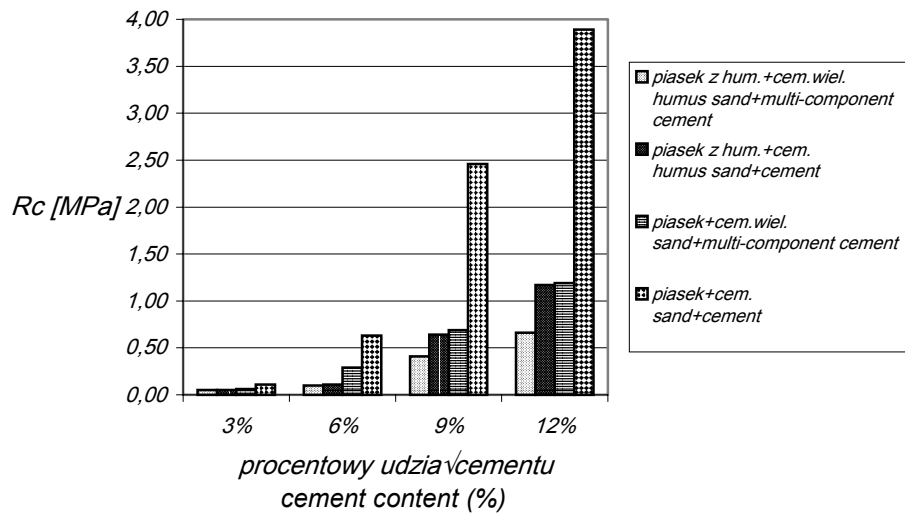
### Próbki 7-dniowe

#### 7-day samples



### Próbki 28-dniowe

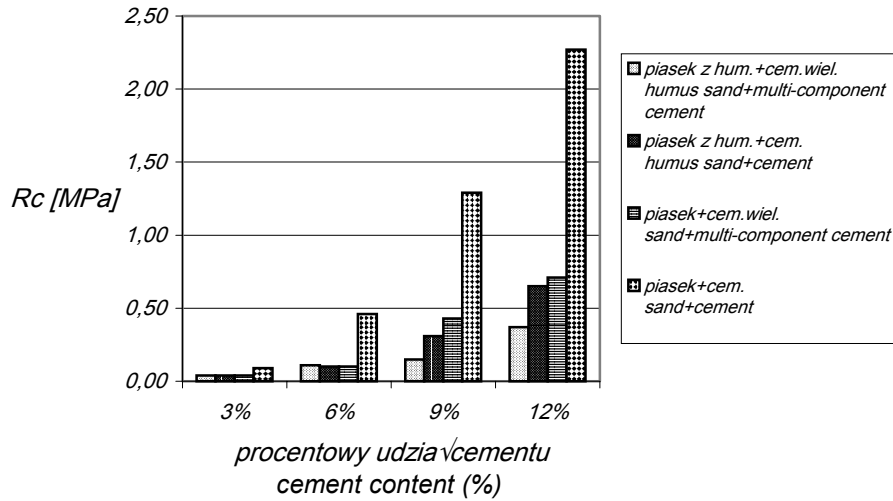
#### 28-day samples



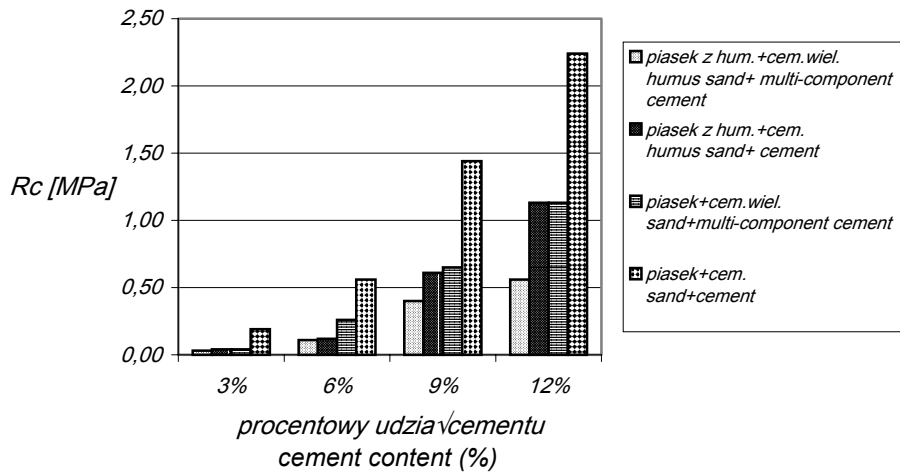
**Rysunek 1.** Wytrzymałość na ściskanie  $R_c$  próbek 7- i 28- dniowych wiążących w warunkach wilgotności optymalnej

**Figure 1.** Compression strength  $R_c$  of 7- and 28-day setting samples under optimum humidity condition

**Próbki 7-dniowe**  
**7-day samples**



**Próbki 28-dniowe**  
**28-day samples**



**Rysunek 2.** Wytrzymałość na ściskanie  $R_c$  próbek 7- i 28-dniowych wiążących w warunkach nasycenia wodą  
**Figure 2.** Strength  $R_c$  of 7- and 28-day setting samples under water saturation conditions

Badanie mieszanek gruntowo-cementowych wykazało dużą odporność na rozmakanie, co oznacza zbliżoną wytrzymałość  $R_c$  próbek nasączonych wodą i pielęgnowanych w wilgotności optymalnej. Wskaźniki rozmakania (tab.1) są wtedy zbliżone do jedności.

**Tabela 1.** Wartości wskaźnika rozmakania dla próbek 7- i 28-dniowych oraz wskaźnika mrozoodporności

**Table 1.** Values of water logging index for 7- and 28-day samples and freeze resistance index

Rodzaj wskaźnika <i>Index</i>	Rodzaj próbek <i>Samples</i>	Procentowa zawartość cementu <i>Cement content (%)</i>			
		3%	6%	9%	12%
Wskaźnik rozmakania <i>Water logging index</i> $R^{m_7}/R^{o_7}$	AI	2,25	0,98	0,99	0,62
	AII	0,80	1,43	0,95	1,06
	BI	1,00	1,25	0,91	0,98
	BII	1,00	1,22	0,79	0,97
Wskaźnik rozmakania <i>Water logging index</i> $R^{m_{28}}/R^{o_{28}}$	AI	1,73	0,89	0,59	0,58
	AII	0,67	0,90	0,94	0,95
	BI	0,80	1,09	0,95	0,97
	BII	0,60	1,10	0,98	0,56
Wskaźnik mrozoodporności <i>Freeze resistance index</i> $R^{zo_{28}}/R^{m_{28}}$	AI	0,11	0,50	0,45	0,40
	AII	–	0,12	0,18	0,35
	BI	–	–	0,33	0,99
	BII	–	–	0,53	0,25

A – piasek drobny równoziarnisty; *fine uniform sand*

B – piasek drobny równoziarnisty – próchniczny; *fine uniform humus sand*

I – cement portlandzki EN 197-1-CEM I 32,5 R; *Portland cement EN 197-1-CEM I 32,5 R*

II – cement portlandzki wieloskładnikowy EN 197-1-CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R;

*multi-component Portland cement EN 197-1-CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R*

Oceny przydatności badanych mieszanek do budowy nawierzchni dróg leśnych dokonano na podstawie porównania parametrów wytrzymałości  $R_c$  próbek ( $R_7^m$ ,  $R_{28}^m$ ) z obowiązującymi kryteriami dla poszczególnych warstw konstrukcji nawierzchni drogowej, (PN-S-96012, 1997). Aby określić parametry konstrukcji nawierzchni projektowanej drogi należy najpierw określić jej przewidywane



obciążenie ruchem. Ruch na drogach leśnych należy do kategorii lekkiej oznaczonej symbolem KR1. Stąd dla dolnej warstwy ulepszanego podłoża warunki wytrzymałościowe próbek nasączonych wodą zostały spełnione przez następujące mieszanki: piasek drobny – próchniczny z 9% cementu portlandzkiego oraz piasek drobny z 9% cementu wieloskładnikowego. Na górną warstwę ulepszanego podłoża warunki wytrzymałościowe spełniła tylko mieszanka piasku drobnego z 12% cementu portlandzkiego.

Normowego kryterium mrozoodporności wyrażonego wskaźnikiem mrozoodporności [PN-S-96012 1997] nie spełniła żadna z badanych mieszanek. To kryterium w przypadku sypkich gruntów Puszczy Noteckiej z bardzo głębokim poziomem lustra wód gruntowych w kontekście badań Sherwooda [Sherwood 1982] wydaje się mało istotne.

Do stabilizacji gruntów cementem zaleca się stosować dawki do 12%. Na podstawie wyników badań można przyjąć z dużym prawdopodobieństwem, że zwiększenie dawki cementu do 14% spełni warunki normowe mrozoodporności a nawet wymagania na podbudowę zasadniczą nawierzchni. Powyższe przypuszczenia należy sprawdzić w dalszych badaniach. Należy również podjąć próbę neutralizacji humusu w gruncie przed jego stabilizacją cementem oraz doziarnienia gruntów równoziarnistych, ponieważ zabiegi te znacznie poprawiają efekty stabilizacji [Kamiński, Czerniak 1994; Kamiński, Kozłowski 2004].

## WNIOSKI I UOGÓLNIENIA

Na podstawie przeprowadzonych badań wyciągnięto następujące wnioski:

1. Piaski drobne równoziarniste pobrane z dróg gruntowych w Puszczy Noteckiej stanowią trudny materiał do stabilizacji cementami portlandzkimi. Szczególnie oporny okazał się piasek drobny równoziarnisty próchniczny.

2. Rosnący udział procentowy cementów w mieszankach cementowo-gruntowych zwiększał ich wytrzymałość na ściskanie, jednak efekty pozytywne osiągnięto z dawkami 9 do 12%.

3. Cement portlandzki z obu gruntami osiągał 2-krotnie wyższe wytrzymałości w stosunku do mieszanek z cementem portlandzkim wieloskładnikowym.

4. Mieszanki cementowo-gruntowe z obu cementami wykazywały wysoką wodoodporność oraz niską mrozoodporność.

5. Na dolną warstwę ulepszonych podłoża warunki wytrzymałościowe po nasączeniu wodą spełniły 2 mieszanki – piasek drobny próchniczny z 9% cementu portlandzkiego oraz piasek drobny z 9% cementu wieloskładnikowego. Na górną warstwę ulepszonych podłoża warunki wytrzymałościowe spełniła tylko mieszanka piasku drobnego z 12% cementu portlandzkiego.

## BIBLIOGRAFIA

- Czerniak A. *Wymywalność chromu z cementogrunty dróg w aspekcie ochrony środowiska leśnego*. Acta Sci. Pol. Ser. Form. Circum. 3 (1), 2004, s. 41–53.
- Czerniak A. *The influence of the cement-ground road foundations on the content of heavy metals [in:] the assimilatory organs of the trees growing [In:] the ecotone forest area*. Polish Journal of Environmental Studies, vol. 13/III, 2004, 22–27.
- Kamiński B., Czerniak A. *Zastosowanie wapna posodowego do mineralizacji gleb organicznych przy stabilizacji cementem*. Sylwan nr 11, 1994, 71–77.
- Kamiński B., Kokowski J. *Perspektywy szybkiej i taniej budowy dróg przy użyciu kultywera*. Roczniki AR w Poznaniu, 1994, s. 61–68.
- Kamiński B., Kozłowski A. 2004: *Wpływ odziarnienia piasku drobnego na wynik stabilizacji cementem portlandzkim*. PTPN, Wydział Nauk Rolniczych Leśnych, tom 96, 2004, s. 111–116.
- Sherwood P.T. *The effect of sulphates on cement – and lime stabilised soils*. Road Construction, no 470, 1982.
- Polska Norma PN-S-96012*. Drogi samochodowe. Podbudowa i ulepszone podłoża z gruntu stabilizowanego cementem. Polski Komitet Normalizacyjny, 1997.

dr hab. inż. Bogusław Kamiński, prof. nadzw.<sup>1</sup>  
Mgr inż. Małgorzata Sobalak<sup>2</sup>  
Mgr inż. Adam Kozłowski<sup>3</sup>

<sup>1, 2</sup> Akademia Rolnicza im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, Wydział Leśny  
Katedra Inżynierii Leśnej  
ul. Mazowiecka 41, 60-623 Poznań  
tel. (61) 84 87 368,  
e-mail: msobalak@op.pl

<sup>3</sup> Nadleśnictwo Płock  
ul. Bielska 24, 09-400 Płock  
tel. (24) 26 27 774

Recenzent: Prof. dr hab. Józef Suliński

*Bogusław Kamiński, Małgorzata Sobalak, Adam Kozłowski*

## **STABILIZATION OF FINE UNIFORM SANDS OF THE NOTEĆ PRIMEVAL FOREST WITH PORTLAND CEMENT**

### **SUMMARY**

The experiment was carried out on fine uniform sand and fine uniform humus sand. Soil samples were collected from the surface of forest dirt roads located in the Noteć Primeval Forest. Portland cement and multi-component Portland cement were used for stabilization. Cement-soil mixtures were prepared with four doses (3, 6, 9, 12%) of both cements. Samples for strength tests were stored under conditions of optimum humidity, water saturation, freezing and thawing. Testing results were compared to strength criteria for road surfaces according to Polish Standard PN-S-96012, 1997. Generally it was found that both soils, especially humus sand, are difficult to stabilize with cements. Portland cement exhibited 2-times better stabilization effects in comparison to multi-component cement. Mixes showed high water resistance and low freeze resistance.

For the lower layer of reinforced subgrade compression strength criteria were met by fine humus sand with a 9% addition of Portland cement and fine sand with a 9% addition of multicomponent cement. For the upper layer of reinforced subgrade strength criteria were met only by the mixture of fine sand with a 12% addition of Portland cement. Further tests are required using larger doses of Portland cement and after testing of grain size upgrading of native soil prior to its stabilization with cement.

**Key words:** stabilization of sands, Portland cement, multi-component Portland cement, cement-soil mixtures.