

JÓZEF SZEWCZYK

## Mrozoodporność spoistego podłoża dróg leśnych stabilizowanego wapnem hydratyzowanym

Frost Resistance of Cohesive Foundation of Forest Roads Stabilised  
with Hydrated Lime

### Wstęp

**Z** porównania mapy gleb i mapy zasięgu drzewostanów wynika, iż na około 25-30% powierzchni leśnej w Polsce zalegają grunty spoiste, potocznie nazywane gliniastymi. Grunty te mają znaczną wytrzymałość mechaniczną w stanie zwartym (przesuszone), wykazują natomiast zupełny brak odporności na działanie niekorzystnych warunków atmosferycznych. Wytrzymałość spoistego podłoża dróg leśnych nawilgoconego i poddanego działaniu niskiej temperatury spada praktycznie do zera. Wykonanie nawierzchni drogi leśnej (np. żwirowej lub żuźlowej) na takim podłożu wymaga uprzednio ułożenia warstwy odsączającej z piasku o grubości 20-40 cm w zależności od stopnia spoistości gruntu. Wobec dużych potrzeb w zakresie budowy dróg leśnych istotne jest stosowanie tanich i szybkich metod przy wykorzystaniu naturalnego podłoża bez konieczności stosowania dodatkowych warstw izolujących lub odsączających z materiałów sypkich.

Budowa drogi leśnej na podłożu spoistym jest możliwa po jego uprzednim ulepszeniu przez stabilizację wapnem hydratyzowanym. Badania w tym zakresie są wykonywane od wielu lat w Katedrze Użytkowania Lasu i Inżynierii Leśnej SGGW w Warszawie (5).

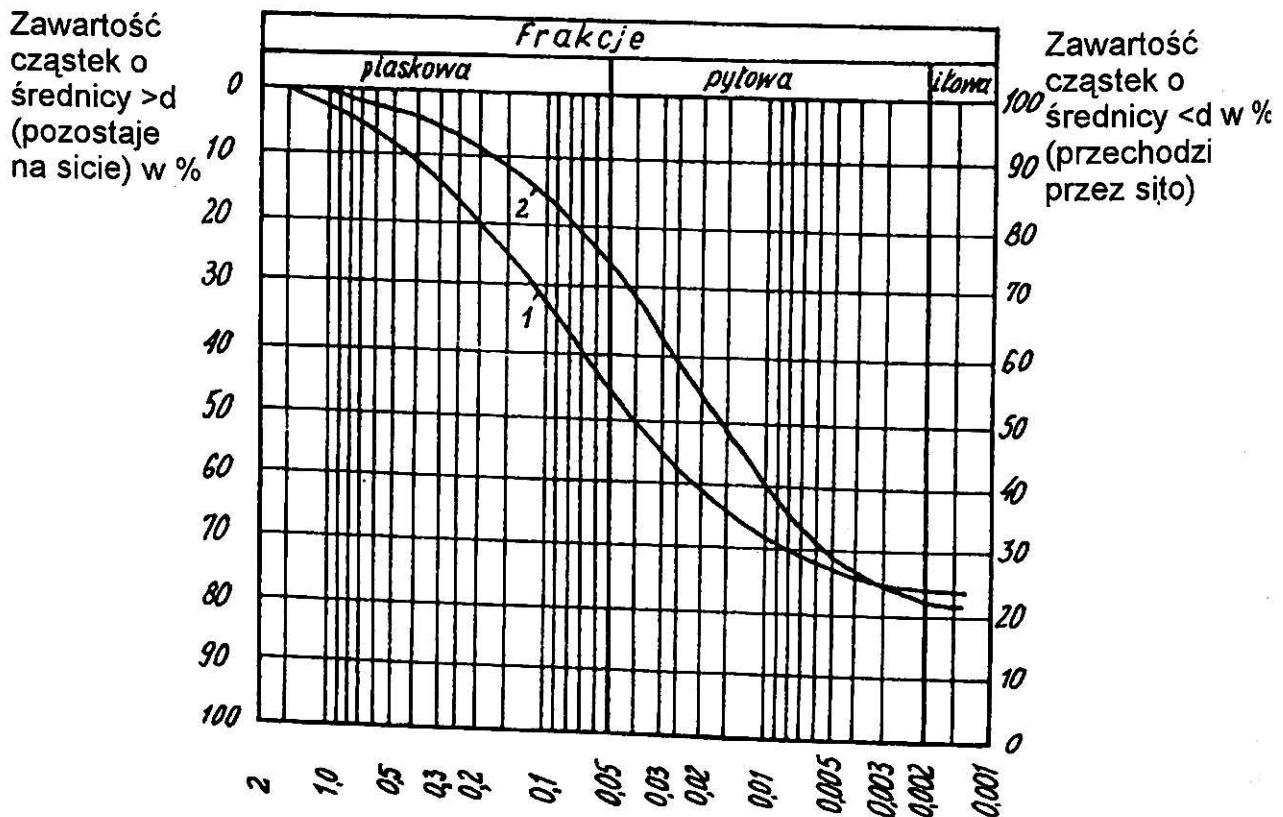
Podstawową badaną właściwością mechaniczną gruntów stabilizowanych jest wytrzymałość na ściskanie  $R$  (Mpa). Grunty spoiste stabilizowane wapnem osiągają niewielkie wartości wytrzymałości w granicach 0,3-1,4 Mpa. Wytrzymałość ta jest jednak wystarczająca, ponieważ warstwa gruntu spoistego stabilizowanego wapnem nie spełnia nigdy w konstrukcji drogi leśnej roli samodzielnej warstwy nośnej, lecz rolę umocnionego podłoża pod różne nawierzchnie. Ważne jest natomiast, aby ulepszone właściwości stabilizowanego podłoża były trwałe, niezależne od zmieniających się warunków atmosferycznych.

Jednym z istotnych wymagań stawianych warstwom gruntów stabilizowanych jest mrozodporność. Dotychczas badano odporność mrozową spoistego podłoża stabilizowanego wapnem po 14-dniowym okresie wiązania, tak jak to tradycyjnie wykonuje się w przypadku stabilizacji cementem podłoża sypkiego. Jednak wytrzymałość mechaniczna oraz mrozodporność w przypadku podłoża spoistego stabilizowanego wapnem rosną znacząco dopiero po dłuższym okresie wiązania, około 3 miesięcy. (1,2,3). Stosowana metoda pozwoliła zatem podać odporność mrozową wyrażoną w ilościach cykli zamrażania do zniszczenia próbek (4,5). Nie było możliwe określenie mrozodporności wyrażonej proporcją wytrzymałości próbek zamrażanych do wytrzymałości próbek nasycanych wodą (moczonych) oraz zmian mrozodporności wraz ze wzrostem czasu wiązania.

## Cel i zakres pracy

Celem pracy było zbadanie zmian mrozodporności spoistego podłoża dróg leśnych stabilizowanego wapnem hydratyzowanym w zależności od wielkości dodatku wapna  $D$  (%) oraz czasu wiązania  $T$  (dni).

Badania przeprowadzono na dwóch gruntach naturalnych reprezentatywnych dla grupy gruntów spoistych: na glinie zwięzłej z terenu Nadleśnictwa Brzeziny oraz glinie pylastej



RYC. 1. Wykresy uziarnienia badanych gruntów podłoża dróg leśnych; 1 - glina zwięzła; 2 - glina pylasta zwięzła

TABELA 1  
Właściwości fizyko-chemiczne badanego podłoża dróg leśnych

Właściwości fizyko-chemiczne	Jednostka mary	Rodzaj gruntu	
		glina zwięzła	glina pylasta zwięzła
Wilgotność naturalna $W_n$	%	17,8	28,0
Wilgotność optymalna $W_{opt}$	%	11,2	16,0
Maksymalna gęstość objętościowa szkieletu gruntowego $\delta_{ds}$	kg/m <sup>3</sup>	1970	1800
Granica plastyczności $W_p$	%	14,4	21,0
Granica płynności $W_L$	%	38,5	42,0
Wskaźnik plastyczności $I_p$	%	24,1	21,0
Stopień plastyczności $I_L$	–	0,14	0,33
Zawartość części organicznych	%	1,6	1,1
Odczyn gruntu pH	–	5,5	7,1
Zawartość CaCO <sub>3</sub>	%	5	1

zwięzłej z terenu Lasów Doświadczalnych SGGW w Rogowie. Charakterystykę wybranych właściwości gruntów ilustrują rycina 1 i tabela 1.

Badania wykonano w tym samym zakresie dla obu gruntów stosując dodatki wapna w ilości 0–12%. Ponieważ wiadomo z wcześniejszych badań oraz z literatury (3,5), iż proces narastania wytrzymałości w gruntach spoistych stabilizowanych wapnem jest powolny i długotrwały, badania wykonywano po czasie wiązania w zakresie 7–270 dni.

Do badań stosowano świeże wapno hydratyzowane produkcji Zakładów Wapienniczych w Sulejowie. Do sporządzania mieszanin wapienno-gruntowych używano wody pitnej.

### Metodyka badań laboratoryjnych i forma przedstawienia wyników

Badania wytrzymałości wykonywano na cylindrycznych próbkach o średnicy i wysokości 8 cm, o objętości  $V = 400 \text{ cm}^3$ . Próbkę mieszanin z gruntów z różnymi dodatkami wapna wykonywano w identycznych warunkach i zagęszczano dynamicznie w stalowych formach przy wilgotności optymalnej do maksymalnego zagęszczenia wynikającego z badania normalną metodą Proctora.

Z każdej mieszaniny z poszczególnymi dodatkami wapna i dla każdego z czasów wiązania wykonano trzy serie po sześć sztuk próbek przeznaczonych do badania wytrzymałości po nasyceniu wodą (moczeniu) oraz jedną serię po dziewięć sztuk próbek do badania po zamrażaniu. Próbkę przeznaczoną do badania po nasyceniu wodą początkowo były przechowywane w wilgotnym piasku, natomiast na cztery dni przed terminem badania wytrzymałości wkładane do wody: przez pierwszy dzień na 1 cm, następnie trzy dni przy całkowitym zanurzeniu. Po wyjęciu z wody i odsączeniu po trzy próbki z każdej serii ważono w celu określenia nasiąkliwości wagowej  $N$  (%). Próbkę przeznaczoną do badania

wytrzymałości po zamrażaniu początkowo przechowywane w wilgotnym piasku na 4 dni przed datą badania na okres 1 doby zanurzano całkowicie w wodzie, a następnie poddawano trzem dobowym cyklom zamrażania-odmrażania. Każdy z cykli składał się z ośmiu godzin zamrażania w temp.  $-23^{\circ}\text{C}$  i 16 godz. odmrażania w temp. pokojowej przy całkowitym zanurzeniu w wodzie. Wytrzymałość po próbie zamrażania badano na sześciu próbkach z każdej serii, natomiast po trzy pozostałe poddawano dalszym cyklom zamrażania, aż do zniszczenia próbek.

Mrozoodporność wyznaczano w zależności:

$$F = \frac{R_z}{R_m}$$

gdzie:

$R_z$  – wytrzymałość próbek zamrażanych,

$R_m$  – wytrzymałość próbek nasycanych wodą (moczonych).

Wyniki badań opracowano statystycznie i przedstawiono na wykresach w układzie prostokątnym. Na osi odciętych naniesiono wielkości dodatków wapna  $D$  (%) lub czas wiązania  $T$  (dni), natomiast na osi rzędnych wartości mrozoodporności podłoża  $F$ .

Dla określenia wpływu dodatku wapna na mrozoodporność zastosowano równanie regresji krzywoliniowej w ogólnej postaci:

$$y = a + bD + cD^2$$

Równania te stosowano dla poszczególnych czasów  $T$ , wyznaczając równocześnie wartości  $D$  odpowiadające maksymalnym wartościom  $y$ .

Dla określenia wpływu czasu wiązania na mrozoodporność przyjęto równanie regresji krzywoliniowej w ogólnej postaci:

$$y = a + b\sqrt{T}$$

Równania te stosowano dla poszczególnych dodatków wapna.

Na sporządzonych wykresach (ryc. 2 i 3) wykreślono linie regresji obrazujące wyrównany przebieg zależności mrozoodporności  $F$  od dodatku wapna lub czasu wiązania.

Po opracowaniu równań regresji obliczono wskaźniki korelacji krzywoliniowej  $R$  i oceniono za pomocą tablic statystycznych istotność korelacji przy poziomie istotności 0,01 lub 0,05.

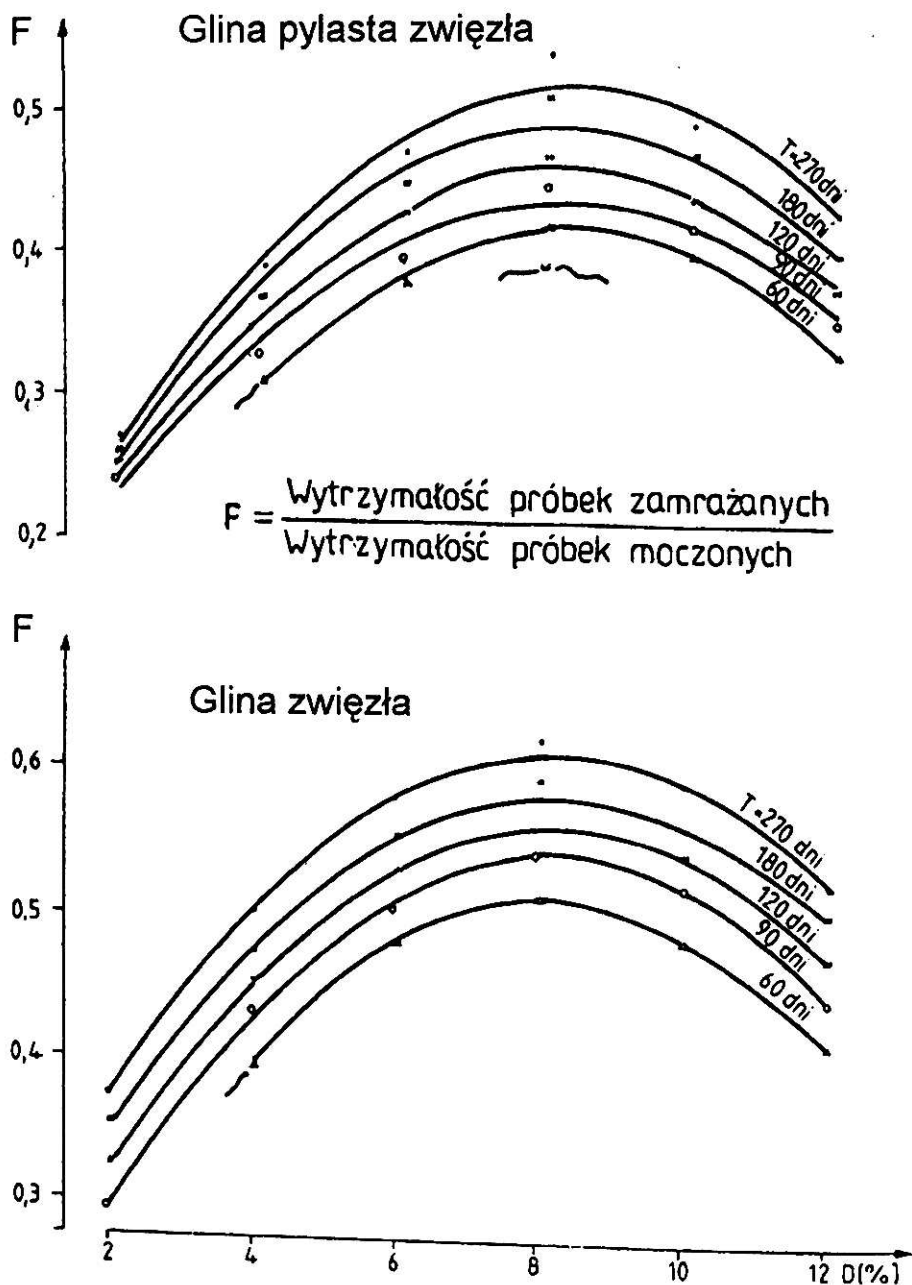
Badano również zmienność ogólną mrozoodporności  $F$  przy wyłączonym wpływie  $D$  lub  $T$  obliczając odchylenia standardowe  $\delta y.D$  lub  $\delta y.T$ .

## Wyniki badań i ich analiza

Wyniki wytrzymałości spoistego podłoża dróg leśnych stabilizowanego wapnem hydratyzowanym podano w tabeli 2, natomiast wyniki wyznaczonej mrozoodporności na wykresach rycin 2 i 3 oraz wyniki opracowań statystycznych w tabeli 3 i 4.

TABELA 2  
Zestawienie średnich wytrzymałości próbek spoiwego podłoża dróg leśnych stabilizowanego wapnem hydratyzowanym

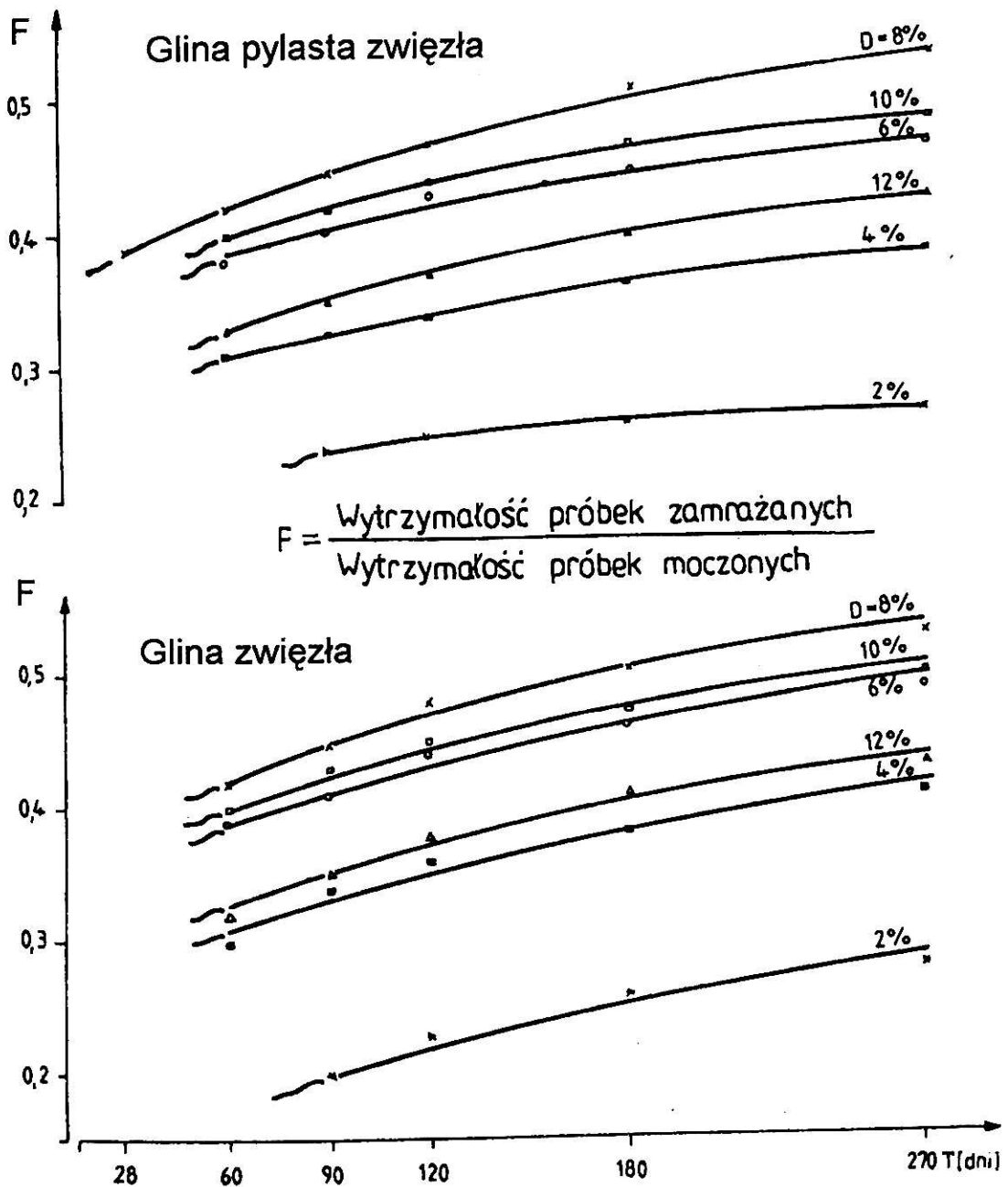
Sposób przecho wywania próbek	Czas przecho wywania (T) dni	Gлина звiязла						Gлина pylasta zwiязла					
		dodatek wapna hydratyzowanego D (%)						dodatek wapna hydratyzowanego D (%)					
		2	4	6	8	10	12	2	4	6	8	10	12
Moczone	7	0,22	0,33	0,44	0,48	0,43	0,37	0,17	0,29	0,39	0,45	0,41	0,34
	14	0,23	0,36	0,45	0,51	0,47	0,41	0,18	0,31	0,41	0,48	0,44	0,36
	28	0,26	0,41	0,52	0,60	0,56	0,49	0,20	0,35	0,46	0,53	0,49	0,41
	60	0,32	0,54	0,70	0,80	0,75	0,64	0,24	0,44	0,58	0,66	0,61	0,51
	90	0,37	0,62	0,83	0,96	0,88	0,76	0,27	0,50	0,66	0,75	0,70	0,58
	120	0,42	0,71	0,93	1,09	1,00	0,86	0,30	0,56	0,73	0,83	0,77	0,65
	180	0,47	0,84	1,12	1,26	1,17	1,00	0,35	0,65	0,85	0,96	0,90	0,76
	270	0,52	0,97	1,27	1,43	1,32	1,12	0,39	0,75	0,98	1,12	1,04	0,88
Zamrażane	7												
	14	Próbki rozpadły się											
	28	próbki podczas zamrażania											
	60	-	0,22	0,34	0,42	0,37	0,25	-	0,14	0,22	0,29	0,24	0,17
	90	0,11	0,27	0,42	0,53	0,47	0,34	0,07	0,16	0,25	0,34	0,29	0,20
	120	0,14	0,33	0,50	0,63	0,55	0,41	0,08	0,19	0,31	0,39	0,34	0,24
	180	0,17	0,40	0,63	0,76	0,67	0,51	0,09	0,24	0,38	0,49	0,42	0,30
	270	0,20	0,49	0,75	0,90	0,79	0,59	0,10	0,29	0,46	0,60	0,51	0,38



RYC. 2. Wpływ dodatku wapna hydratyzowanego na mrozoodporność spoiwego podłoża dróg leśnych

Wyniki badań oraz ich analiza (tab. 2,3 i 4 oraz ryc. 2,3) pozwalają stwierdzić, iż spoiwe podłoże dróg leśnych po stabilizacji wapnem hydratyzowanym uzyskuje znaczną mrozoodporność. Mrozoodporność występuje dopiero po pewnym czasie od wykonania stabilizacji; a mianowicie dla dodatku 2% wapna dopiero po 90 dniach, dla 4% dodatku po 60 dniach (ryc. 2.). Mrozoodporność badanych gruntów wzrasta do wartości dodatku 8,1–8,3% uzyskując wielkość 0,5–0,6 i maleje przy większych dodatkach wapna.

Największą mrozoodporność uzyskuje się więc przy dodatkach wapna optymalnych ze względu na wartość wytrzymałości mechanicznej  $R$  (MPa). Intensywność wzrostu mrozoodporności maleje wraz ze wzrostem dodatku wapna do wartości ok. 8 % i jest prawie jednakowa dla różnych czasów wiązania  $T$  (dni).



RYC. 3. Wpływ czasu wiązania na mrozoodporność spoistego podłoża dróg leśnych stabilizowanego wapnem hydratyzowanym

Mrozoodporność spoistego podłoża drogowego stabilizowanego wapnem wzrasta wraz z czasem wiązania w badanym przedziale czasu 28–270 dni (ryc. 3.). Intensywność wzrostu mrozoodporności maleje wraz ze wzrostem czasu wiązania i jest zbliżona dla obu gruntów, zwłaszcza dla większych dodatków wapna.

Mrozoodporność gliny zwięzłej waha się w granicach od 0,30 po 90 dniach wiązania i 0,38 po 270 dniach dla dodatku 2% wapna; do 0,52 po 60 dniach i 0,62 po 270 dniach wiązania – dla 8% dodatku wapna. Mrozoodporność gliny pylastej zwięzłej wzrasta do wartości 0,52 dla 8% wapna i 270 dni wiązania.

Mrozoodporność ta prawdopodobnie wzrośnie, gdyż narastanie wytrzymałości gruntów stabilizowanych wapnem trwa znacznie dłużej (> 1 rok) (2). Także biorąc pod uwagę, iż

TABELA 3  
Wpływ dodatku wapna hydratyzowanego na mrozoodporność (F) badanych gruntów. Wyniki obliczeń statystycznych

Rodzaj gruntu	Czas przech. próbek T (dni)	Współczynniki równań regresji			Współrzędne wierzchołka paraboli		Wskaźnik korelacji		Odchylenie standardowe		
		a	b	c	D %	F	R <sub>0,01</sub>	R	δF	δF.D	
											j=4
<b>Gлина звязла</b>											
	60	0,0728	0,1092	-0,0067	8,1	0,5	0,95873	1,0000	0,05	0	
	90	0,1105	0,1076	-0,0066	8,1	0,5	0,91720	0,9987	0,08	0,004	
	120	0,1453	0,1047	-0,0064	0,6	0,9	0,91720	0,9987	0,08	0,004	
	180	0,1829	0,0992	-0,0064	8,3	0,6	0,91720	1,0000	0,08	0	
	270	0,1954	0,1047	-0,0064	8,2	0,6	0,91720	0,9987	0,08	0,004	
<b>Gлина пыласта</b>											
	60	0,0024	0,1006	-0,0061	8,2	0,4	0,95873	0,9942	0,04	0,0004	
	90	0,0803	0,0866	-0,0053	8,2	0,4	0,91720	0,9877	0,07	0,010	
	120	0,0804	0,0918	-0,0056	8,2	0,5	0,91720	0,9911	0,08	0,010	
	180	0,0765	0,1005	-0,0061	8,2	0,5	0,91720	0,9911	0,08	0,010	
	270	0,0795	0,1049	-0,0063	8,3	0,5	0,91720	0,9853	0,09	0,015	

a R<sub>0,01</sub> przy j=3

b R<sub>0,01</sub> przy j=3



**TABELA 4**  
**Wpływ czasu wiązania na mrozoodporność ( $F$ ) badanych gruntów. Wyniki obliczeń statystycznych**

Rodzaj gruntu	Dodatek Ca(OH) <sub>2</sub> [%]	Współczynniki równań regresji		Wskaźnik korelacji		Odchylenie standardowe	
		$a$	$b$	$R_{0,01 j=3}$	$R$	$\delta_F$	$\delta_{F,T}$
<b>a</b>							
Glina	2	0,1913	0,0119	0,95000	0,9586	0,03	0,008
zwięzła	4	0,3069	0,0129	0,95873	0,9706	0,04	0,009
	6	0,3919	0,0125	0,95873	0,9840	0,03	0,005
	8	0,4247	0,0129	0,95873	0,9864	0,04	0,006
	10	0,4044	0,0123	0,95873	0,9706	0,04	0,009
	12	0,3307	0,0127	0,95873	0,9744	0,04	0,008
-----							
<b>b</b>							
Glina	2	0,2022	0,0042	0,99000	1,0000	0,01	≈0
pylasta	4	0,2401	0,0093	0,95873	0,9877	0,03	0,004
zwięzła	6	0,3053	0,0104	0,95973	0,9713	0,03	0,007
	8	0,3165	0,0139	0,91720	1,0000	0,05	≈0
	10	0,3209	0,0106	0,95873	0,9907	0,03	0,004
	12	0,2413	0,0116	0,95873	1,0000	0,04	≈0

a)  $R_{0,05}$  przy  $j=2$ ; b)  $R_{0,01}$  przy  $j=2$ ; c)  $R_{0,01}$  przy  $j=4$ ; /  $R_{0,01}$  przy  $j=2$ /(=0,99000)

grunt stabilizowany wapnem nie występuje na powierzchni drogi leśnej lecz stanowi dolną warstwę nawierzchni, uzyskane wyniki mrozoodporności można uznać za zadowalające.

Wyniki badań poparte wynikami obliczeń statystycznych wskazują na ścisły związek między dodatkami wapna i czasem wiązania, a wzrostem mrozoodporności spoistego podłoża dróg leśnych stabilizowanego wapnem hydratyzowanym. Wskaźniki korelacji krzywoliniowej zestawione w tabelach 3 i 4 we wszystkich przypadkach są większe od tablicowych, co świadczy o istotności badanych zależności.

Dodatek wapna i czas wiązania mają wpływ na wzrost mrozoodporności gruntów wyrażoną w ilościach cykli zamrażania i odmrażania (tab. 5), np. próbki gliny zwięzłej z dodatkiem 2 % wapna wytrzymują po 60 dniach wiązania tylko dwa cykle zamrażania ale aż sześć cykli przy 8% wapna i 270 dniach wiązania.

## Wnioski

Przeprowadzone badania oraz opracowanie statystyczne wyników pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

TABELA 5

Wpływ dodatku wapna i czasu wiązania na mrozoodporność badanych gruntów wyrażoną w ilościach cykli zamrażania - odmrażania

Rodzaj gruntu	Czas przechowywania próbek T dni	Odporność na zamrażanie – ilość cykli <sup>a</sup>						
		Dodatek wapna [%]						
		0	2	4	6	8	10	12
Glina	28	0	0	1	1	1	1	1
zwięzła	60	-	2	3	3	3	3	3
	90	-	3	3	4	4	3	3
	120	-	3	3	3	4	4	4
	180	-	3	4	4	4	4	4
	270	-	4	4	5	6	5	4
Glina pylasta	28	0	0	1	1	3	2	2
	60	-	2	3	3	4	3	4
	90	-	3	3	3	4	4	3
	120	-	3	3	4	4	4	4
	180	-	4	4	5	5	5	4
	270	-	4	5	5	5	5	4

<sup>a</sup> – w tabeli podano średnią ilość cykli obliczoną dla serii próbek z zaokrągleniem do wartości całkowitych

- Stabilizacja spoiстого podłoża dróg leśnych wapnem hydratyzowanym powoduje znaczny wzrost jego mrozoodporności.
- Mrozoodporność podłoża zależy w istotny sposób od dodatku wapna i czasu wiązania i osiąga największe wartości dla dodatku około 8% optymalnego ze względu na wytrzymałość mechaniczną i rośnie wraz z czasem wiązania w badanym przedziale czasu 0–270 dni.
- Wartość mrozoodporności w granicach 0,5–0,6, która jeszcze prawdopodobnie wzrośnie z dalszym czasem wiązania można uznać za wystarczającą dla umocnionego podłoża.
- Warstwa gruntu spoiстого stabilizowanego wapnem hydratyzowanym ze względu na znaczną mrozoodporność, niewielką lecz stabilną wytrzymałość mechaniczną oraz praktycznie nienasiąkliwość może stanowić dobre podłoże nawierzchni dróg leśnych i eliminuje konieczność stosowania grubych warstw izolujących z materiałów sypkich.

Z Katedry Użytkowania Lasu i Inżynierii Leśnej  
SGGW w Warszawie

## Literatura

1. **Biezuk W.M.:** Ukriepienije gruntow w doroznom i aerodromnom stroitelstwie. Transport. Moskwa, 1971 r.
2. **Kuonen V. Hirt R.:** Forsehungsergebnisse über die Wirkungsweise in der Boden stabilisierung. Strasse und Verkehr 11/1966 r.
3. **Brandl H.:** Zusammenhänge zwischen den chemisch-physikalischen Eigenschaften stabilisierten Böden. Strassen und Tiefbau 4/1971 r.
4. **Pachowski J** i in.: Opracowanie technicznych kryteriów projektowania i budowy nawierzchni podatnych Autostrady Północ-Południe. Prace IBDiM 2/1985 r.
5. **Szewczyk J.:** Właściwości fizyczne i mechaniczne gruntów spoistych ciężkich stabilizowanych wapnem hydratyzowanym (maszyn. pr. dokt.). Warszawa, SGGW, 1974 r.
6. Stabilizacja gruntów wapnem do celów drogowych. Norma Branżowa BN-68/8933-07.

## Summary

### **Frost resistance of cohesive foundation of forest roads stabilised with hydrated lime**

Over 25–30% of the forest area in Poland there lay cohesive grounds showing a complete lack of resistance against changing atmospheric conditions. Making up a surface of forest road on such a foundation requires stting a filtering –off sand layer 20–40 cm thick.

Construction of forest road on a cohesive foundation is possible after its prior improvement through stabilisation with hydrated lime.

The report presented here aimed to study the changes in frost resistance of cohesive foundation of forest roads stabilised with hydrated lime depending on the size of D lime additive (%) and bounding time I (days). Frost resistance  $F$  was expressed in proportion of resistance  $R$ . (Mpa) of samples soaked with water compared to the resistance of samples given to 3-day freezing-defreezing cycles. The investigations were made on two natural grounds: cohesive clay and cohesive dusty clay taken from forest areas. The results of the studies were worked out statistically.

The study showed that cohesive foundation of forest roads after stabilisation with hydrated lime acquires aconsiderable resistance against frost. The frost resistance appears as late as 2–3 months after stabilistaion and it is increasing to the time of about one year. The greatest value of frost resistance  $F=0.5–0.6$  is acquired by cohesive grounds at addition of 8–9% lime, i.e. optimal ones for the greatest mechanical strength.

The value of frost resistance within the range 0.5–0.6 that certainly increases in time of bounding, may be considered to be satisfactory for strengthened foundation of forest road. Layers of cohesive grounds stabilised with hydrated lime may constitute, due to their considerable frost resistance, little but stable mechanical strength and practical non-absorbability with water, a good foundation of the surface of forest roads, and they eliminate the necessity of application of thick draining layers composed of loose material.