

KAZIMIERZ PIENKOS

## Ocena przydatności stosowania wapna pokarbidowego do budowy i ulepszania dróg leśnych

Estimation of Usefulness of Applying Post-Carbide Limestone  
to Construction and Improvement of Forest Roads

### Wstęp

**W**apno pokarbidowe jest produktem odpadowym powstającym w procesie wytwarzania acetylenu. Możliwość jego zastosowania jako materiału do budowy lub ulepszenia dróg leśnych może przyczynić się do wprowadzenia nowych konstrukcji i procesów technologicznych i obniżenia kosztów robót drogowych.

Badania nad wpływem wapna hydratyzowanego  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  jak i palonego  $\text{CaO}$  na właściwości gruntów spoistych wykazały korzystne jego oddziaływanie na zwiększenie odporności gruntu na działanie wody i obciążeń. Fakt ten kazał przypuszczać, że również wapno pokarbidowe może znaleźć zastosowanie do stabilizacji gruntów podłoża drogowego. Dlatego podjęto w Zakładzie Inżynierii Leśnej SGGW w latach 70-tych wstępne badania nad przydatnością wapna pokarbidowego do stabilizacji leśnych dróg gruntowych, które zostały rozszerzone w ramach tematu węzłowego zleconego przez Instytut Badawczy Leśnictwa.

Stan jakościowy dróg leśnych w Polsce jest zły, gdyż drogi gruntowe stanowią aż 90%. Problem stabilizacji tych dróg ma duże znaczenie bowiem od stanu leśnej sieci komunikacyjnej zależy w znacznej mierze zarówno sprawność jak i koszt realizacji zadań gospodarczych (hodowli, ochrony, użytkowania lasu).

Grunty spoiste zalegają na ok. 15–20% powierzchni leśnej w Polsce. Stanowią one podłoże drogowe podatne na działanie wody, a mianowicie uplastyczniają się i ruch pojazdów staje się niemożliwy. Możliwość zastosowania do utwardzania podłoża drogowego materiału odpadowego jakim jest wapno pokarbidowe, może więc w znacznej mierze ułatwić poprawę stanu dróg leśnych na tym podłożu. Badania były prowadzone w laboratorium i

na wybudowanych odcinkach doświadczanych. W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych.

## Metodyka i zakres badań

Badania zmierzały do ustalenia wpływu dodatku wapna pokarbidowego na właściwości gruntów spoistych i obejmowały:

- przygotowanie materiałów wyjściowych (gruntów, wapna),
- ustalenie zakresu i sposobu badań właściwości gruntów naturalnych i z dodatkiem wapna pokarbidowego,
- ustalenie receptur mieszanin wapienno-gruntowych, sposobu przygotowania próbek do badań i ich przechowywania w czasie oraz metody oznaczania badanych właściwości fizycznych.

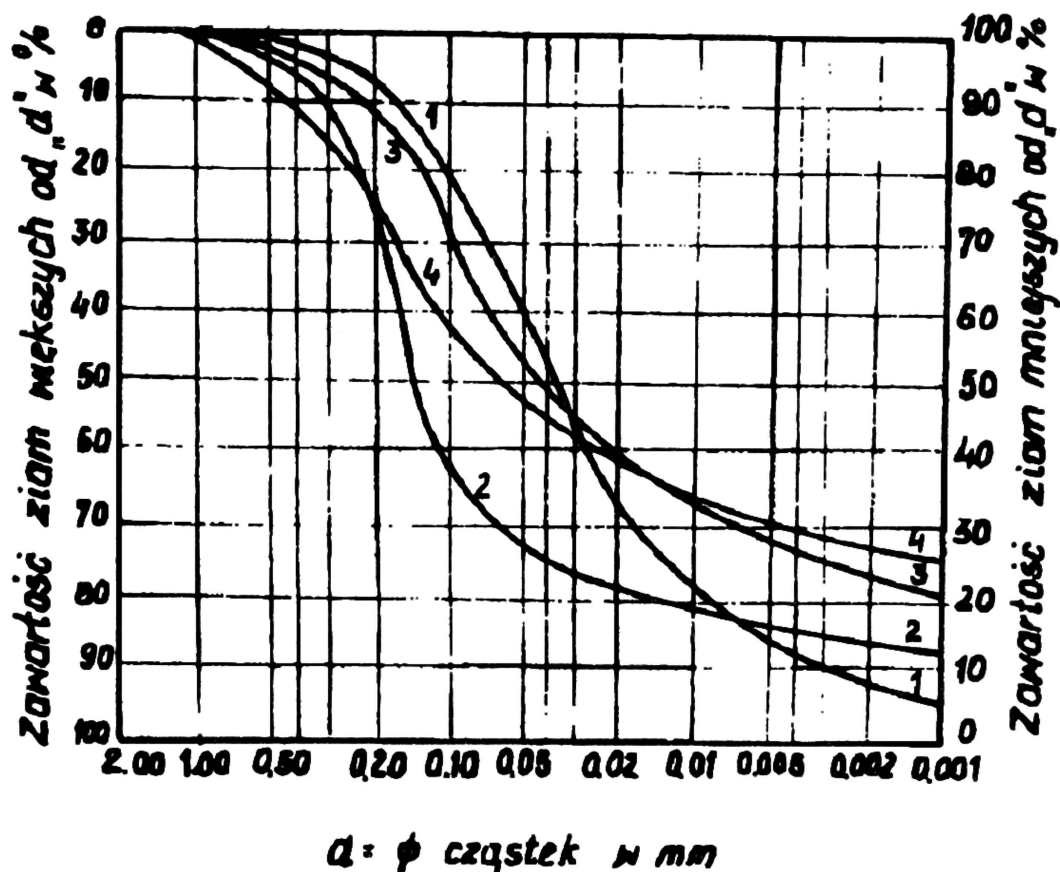
Przyjęto do badań następujące materiały wyjściowe. Grunty o zróżnicowanej zawartości frakcji ilastej a mianowicie z zawartością 9% — pył piaszczysty (1), 16% glina piaszczysta (2), 24% — glina zwięzła (3) oraz 28% — glina piaszczysta zwięzła (4), których skład granulometryczny przedstawiono na wykresach w postaci krzywych uziarnień (ryc. 1).

Wapno pokarbidowe gromadzone jest jako produkt odpadowy w hałdach w postaci sproszkowanej lub w zbiornikach w postaci ciasta wapiennego. Zarówno jedna jak i druga postać zawiera tlenek wapnia i magnezu, które są zaliczane do materiałów wiążących. Do badań laboratoryjnych jak i budowy odcinka doświadczalnego pobrano wapno pokarbidowe z Chemicznych Zakładów w Oświęcimiu zalegające w hałdach w postaci sproszkowanej, gdyż łatwiejsza jest ona do transportu jak i dozowania oraz mieszania z gruntem podłoża.

Należało przypuszczać, iż wapno pokarbidowe zalegające dłuższy czas w hałdach może tracić ze względu na wietrzenie (rozkład tlenków MgO i CaO) właściwości wiążące, dlatego też do oceny porównawczej pobrano także wapno sproszkowane świeże, jak i ciasto wapienne zalegające w zbiornikach. Wodę do sporządzania mieszanin wapienno-gruntowych i moczenia próbek pobrano z wodociągu — (stosowaną jako wodę pitną) w Laboratorium Zakładu Inżynierii Leśnej w Leśnym Zakładzie Doświadczalnym w Rogowie. Badania obejmowały zakres właściwości wodnych i mechanicznych gruntów naturalnych i z dodatkiem wapna.

Badane właściwości wodne gruntów naturalnych i z dodatkiem wapna pokarbidowego obejmowały:

- wilgotności optymalne przy których następuje najlepsze zagęszczenie gruntu (metodą Proctora) i osiągany jest największy ciężar objętościowy szkieletu gruntowego,
- granice plastyczności i płynności tj. wilgotność przy których grunt przechodzi ze stanu zwięzłego w stan plastyczny lub z plastycznego w płynny (metodą walczkowania lub Casagrandy),
- kapilarność czynną związaną z podnoszeniem się na określoną wysokość wody w kapilarach gruntu ponad poziom swobodnego zwierciadła wody wolnej (w rurach



RYC. 1. Wykresy gruntów stabilizowanych

szklanych napełnionych gruntem naturalnym lub zmieszany z wapnem pokarbidowym zanurzonym w zbiornikach z wodą),

- nasiąkliwość tj. zdolność gruntu do pochłaniania (wiązanania) wody ponad określony stan tj. w stosunku do ciężaru próbek o wilgotności optymalnej,
- pęcznienie tj. powiększenie się objętości gruntu przy wchłanianiu (wiązananiu) wody mierzone w % do początkowej objętości lub wysokości próbki.

Badania właściwości mechanicznych obejmowały określenie:

- wytrzymałości próbek na ściskanie jako średniej wartości z serii 5 próbek o ustalonych jednakowych parametrach (określonym rodzaju gruntu, dozowaniu wapna pokarbidowego, wilgotności i stopniu zagęszczenia mieszaniny wapienno-gruntowej, o średnicy 8 cm, przechowywanych przez 90 dni w piasku i moczo-nych, ściskanych w prasie do utraty wytrzymałości (zniszczenie), mierzonej w MPa,
- wytrzymałości próbek na ścinanie — charakteryzującej opór próbek na działanie sił przesuujących górną część próbek o podobnych jak przedstawionych już parametrach,
- wskaźnik nośności CBR charakteryzujący opór gruntu (naturalnego lub z dodatkiem wapna pokarbidowego) na penetrację trzpienia o przekroju  $20 \text{ cm}^2$  na głębokość 2,54 lub 5,08 mm, mierzony w stosunku do oporu jaki stwarza znormalizowane kruszywo kamienne, wyrażonego w procentach, czyli:  $\text{CBR} = \text{P}:\text{Ps}.100$  gdzie:  
P — nacisk potrzebny do zagłębienia trzpienia w grunt na głębokość 2,54 lub 5,08

mm w P<sub>Ma</sub>,

Ps — nacisk standardowy potrzebny do zagłębienia trzpienia w znormalizowane kruszywo kamienne, wynoszący dla penetracji 2,54 mm — 7,0 MPa, dla penetracji 5,08 mm — 10,5 MPa.

Wartość wskaźnika CBR oznaczono po 7 dniach, od dnia przygotowania próbek do badań przechowywanych przez 3 dni w wilgotnym piasku, a przez następne 4 dni zanurzonych w wodzie.

## Wyniki badań

### Wpływ wapna pokarbidowego na kształtowanie się właściwości wodnych gruntów

#### Kształtowanie się wilgotności optymalnej i odpowiadającego jej ciężaru objętościowego szkieletu gruntowego

Wyniki tych badań zestawione w tabeli 1 wykazują, iż ze wzrostem dodatku wapna pokarbidowego rośnie wilgotność optymalna i maleje ciężar objętościowy szkieletu. Jest to zrozumiałe, gdyż granulki wapna pokarbidowego nie mieszczą się w małych porach gruntu spoistego i mają ciężar objętościowy mniejszy od szkieletu gruntowego. Istotne znaczenie ma fakt, że ze spadkiem ciężaru objętościowego szkieletu mieszaniny grunto-wapiennej nie maleje wskaźnik nośności tej mieszaniny lecz rośnie.

Zwiększona wilgotność optymalna jest zjawiskiem korzystnym w przypadku stabilizacji gruntów o wysokiej wilgotności naturalnej.

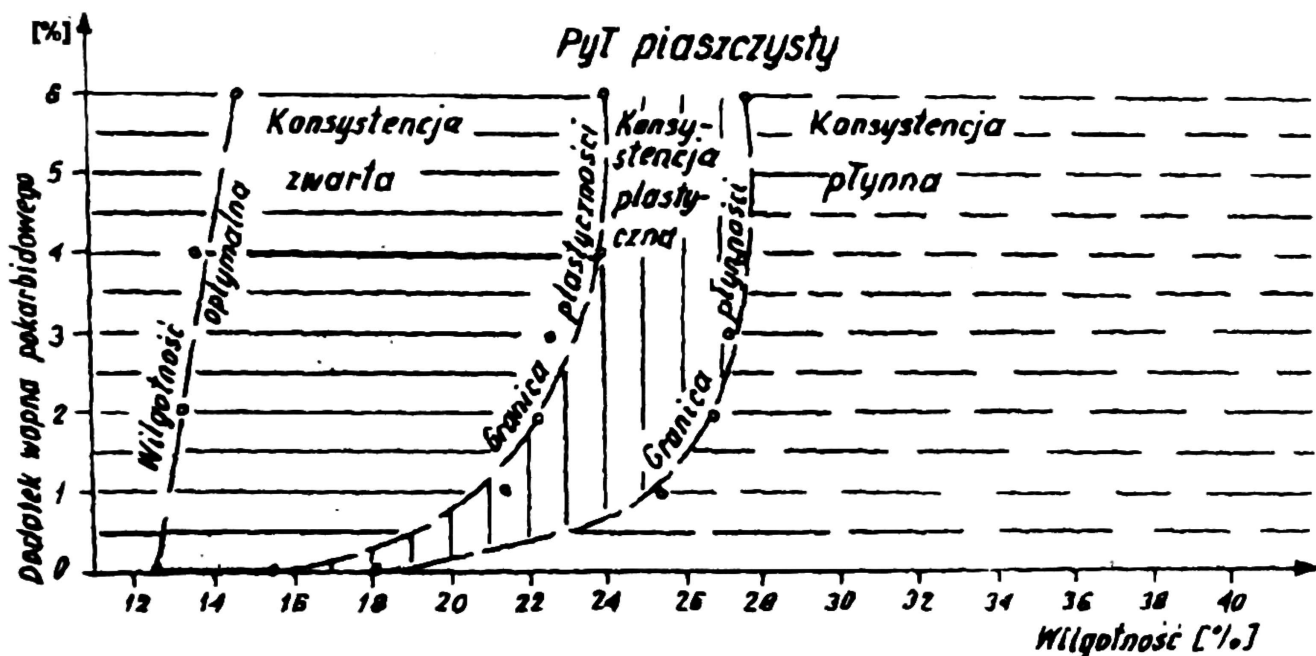
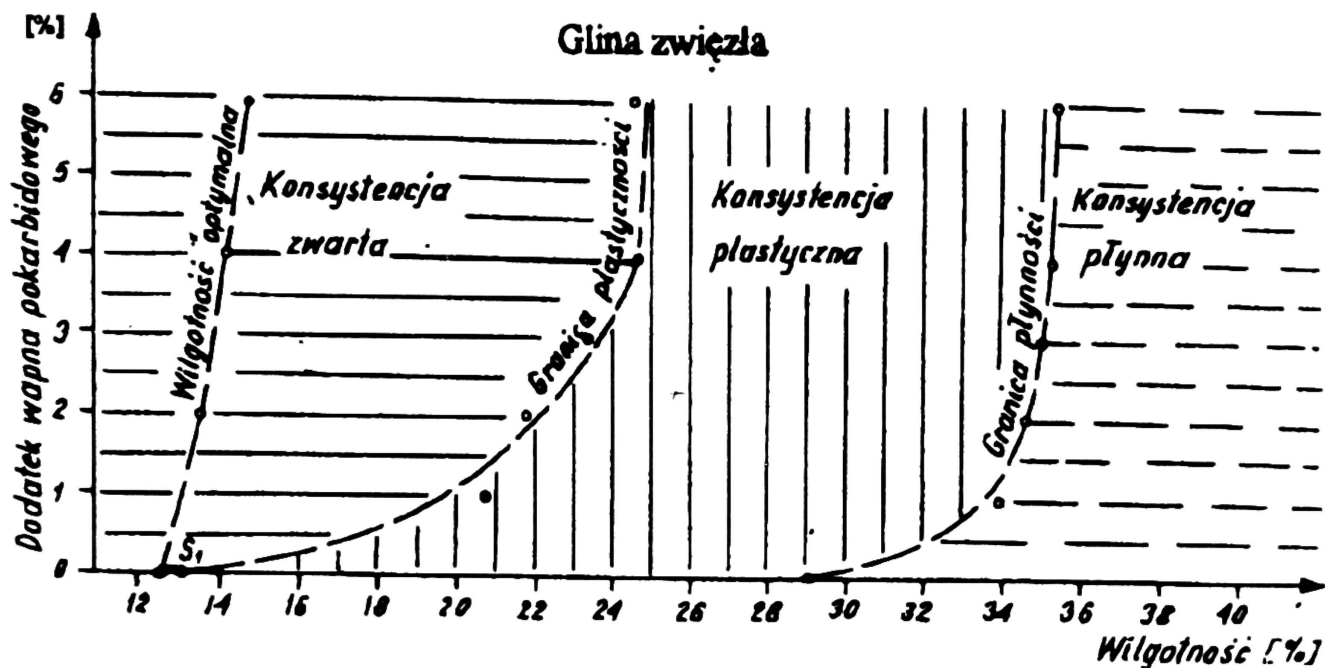
#### Kształtowanie się granic konsystencji: plastyczności i płynności

Wyniki badań przedstawione na rycinie 2, dla gruntów skrajnych, tj. pyłu piaszczystego (1) i gliny zwięzłej (4) wskazują, iż dodatek wapna pokarbidowego powoduje wzrost granic plastyczności i płynności, przy czym największy wpływ zaznacza się przy 2% zawartości wapna pokarbidowego. Dla pyłu piaszczystego przy dodatku 2% wapna pokarbidowego wilgotność odpowiadająca granicy plastyczności wzrasta z 15 do 22,5 tj. o 7,5% i przy dalszym wzroście dozowania wapna o 2% tj. od 4% do 24%, czyli w stosunku do 2% zawartości, wzrost jest znacznie mniejszy, gdyż wynosi 1,5%. Łącznie wilgotność optymalna dla 4% dozowania wapna pokarbidowego wzrasta  $24 - 15 = 11\%$ . Dla gliny zwięzłej wzrost granicy plastyczności dla 2% dodatku wapna pokarbidowego wynosi  $22 - 13 = 9\%$  i dla dalszego 2% dozowania do 4% o  $24,5 - 22 = 2,5\%$  łącznie wilgotność wzrasta o 11,5%. Dalszy ponad 4% dodatek wapna pokarbidowego nie ma już wpływu na zmiany granic konsystencji gruntów.

Z tych danych wynika, iż najistotniejszy wpływ ma 2% dodatek wapna pokarbidowego. Również wyraźnie przy 2% dodatku wapna pokarbidowego wzrasta granica płynności, a mianowicie dla pyłu piaszczystego z 18% do 26,5% tj. o 8,5% i gliny zwięzłej z 29 do 34,5% tj. o 5,5%. Dalszy ponad 2% dodatek wapna pokarbidowego nie powoduje wzrostu granic konsystencji. Prawie dwukrotny wzrost wilgotności pod wpływem dodatku wapna pokarbidowego (z 15 do 24% dla pyłu pokarbidowego i z 13 do 24,5% dla gliny) odpowiadający granicy plastyczności jest bardzo pozytywnym zjawiskiem. Wskazuje

TABELA 1  
Wilgotność optymalna i maksymalny ciężar objętościowy gruntu przy różnym dozowaniu wapna pokarbidowego

Rodzaj gruntu	I-Wopt w % II-γos(g/cm <sup>3</sup> )	Dozowanie wapna w %							
		0	2	3	4	6	8		
Pył piaszczysty (grunt nr 1)	I	12,6	13,3	-	13,6	14,6	15,0		
	II	1,86	1,84	-	1,8	1,79	1,74		
Gлина piaszczysta (nr 2)	I	8,6	9,1	-	10,2	-	11,2		
	II	1,97	1,94	-	1,91	-	1,85		
Gлина zwięzła (nr 3)	I	12,6	13,6	-	14,2	14,8	15,4		
	II	1,94	1,88	-	1,86	1,84	1,80		
Gлина zwięzła piaszczysta (nr 4)	I	12,5	15,5	15,2	15,5	15,5	-		
	II	1,85	1,80	1,80	1,79	1,79	-		



RYC. 2. Wpływ dodatku wapna pokarbidowego na kształtowanie się granicy plastyczności i płynności

bowiem, że nawet przy dwukrotnie zwiększonej zawartości wody w gruncie utrzymuje on stan zwarty, czyli korzystny z punktu widzenia robót drogowych, tj. formowania i zagęszczania nasypów, a także obciążenia ruchem pojazdów transportowych i maszyn w trakcie procesu technologicznego budowy drogi leśnej. Znaczny wzrost wilgotności granicy płynności wskazuje na zwiększoną odporność gruntu potraktowanego wapnem pokarbidowym na działanie wody.

Na uwagę zasługuje inne istotne zjawisko, mianowicie jak to wynika z ryciny 2 w przypadku gruntów naturalnych wilgotność optymalna, przy której następuje najefektywniejsze zagęszczenie gruntu jest zbliżone do granicy plastyczności i tak dla gliny zwiezłej zaledwie 0,5%. W przypadku więc budowy nasypu z gruntów spoistych naturalnych (o zawartości frakcji ponad 20%) już przy nieznacznym przekroczeniu w procesie technolo-

gicznym dozowania wody odpowiadającej ilości optymalnej ze względu na zagęszczenie gruntu nastąpi jego uplastycznienie i utrudniony zostanie ruch pojazdów oraz praca maszyn, a także stanie się niemożliwe pożądane zagęszczenie nasypu. Niewielki dodatek (2%) wapna pokarbidowego do gruntów w trakcie formowania nasypów spowoduje jak to zostało już zaznaczone znaczne przesunięcie wilgotności odpowiadającej granicy plastyczności i wzrośnie bezpieczeństwo robót pomimo niekorzystnych wilgotnościowych warunków, np. deszczu — wzrośnie także różnica między wilgotnościami — optymalną ze względu na zagęszczenie i odpowiadającą granicy plastyczności z 0,5% do 8%.

#### Kształtowanie się nasiąkliwości i pęcznienia

Nasiąkliwość oznaczana podczas wyznaczania wskaźnika nośności CBR maleje (dla wszystkich gruntów) 4-krotnie wraz z dodatkiem wapna pokarbidowego do 6% jego zawartości w gruncie. Pęcznienie także maleje ok. 5-krotnie. Największy spadek nasiąkliwości i pęcznienia (ok. 60%) zaznacza się przy 2% dozowaniu wapna pokarbidowego.

Spadek zarówno nasiąkliwości jak i pęcznienia wskazuje na wzrost odporności gruntu stabilizowanego wapnem pokarbidowym na działanie wody.

#### Kształtowanie się kapilarności czynnej

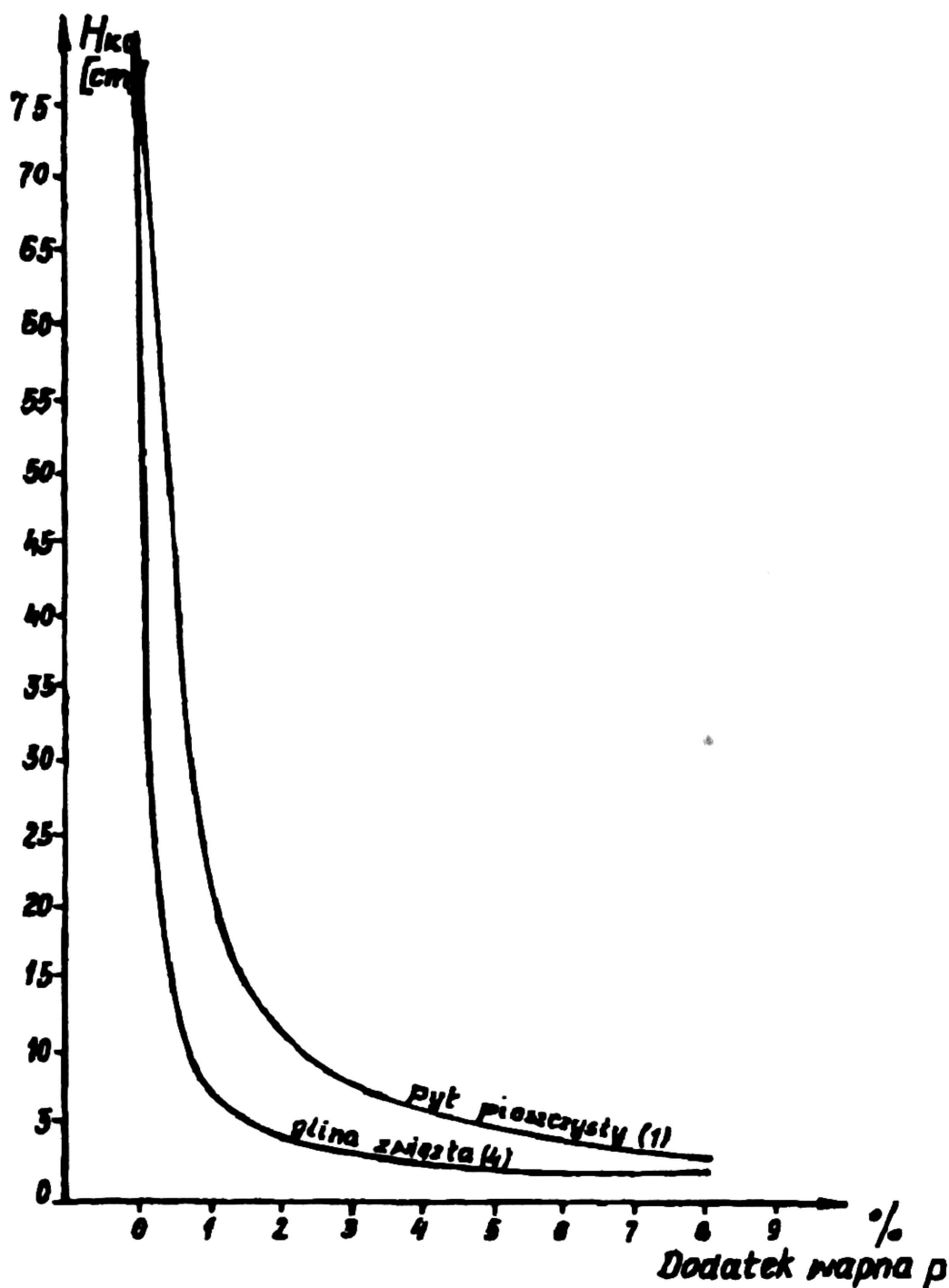
Wyniki badań przedstawione na rycinie 3 (dla pyłu piaszczystego i gliny zwięzłej) wskazują iż dodatek wapna pokarbidowego w istotny sposób redukuje podnoszenie wody kapilarnej przy czym większa redukcja następuje w gruntach z większą zawartością frakcji iglastej (głina). Najbardziej istotna redukcja podciągania kapilarnego następuje przy 1%-wym dodatku wapna pokarbidowego, a mianowicie dla gliny wysokość podnoszenia się wody kapilarnej wynosi zaledwie 8 cm, a dla pyłu piaszczystego 13 cm. W zasadzie można uważać, iż jest to wystarczający dodatek wapna pokarbidowego dla redukcji kapilarności gruntów — wymieszanie wapna pokarbidowego glebogryzarką z gruntem spoistym w warstwie o grubości 15 cm odetnie dopływ tej wody do wyższych warstw korpusu drogowego i zapobieganie tworzeniu się wysadzin i przełomów.

### **Wpływ wapna pokarbidowego na kształtowanie się właściwości mechanicznych gruntów**

#### Kształtowanie się wytrzymałości gruntów na ściskanie

Badania wytrzymałości na ściskanie dla każdego dodatku do gruntu wapna przeprowadzono dla serii składających się z 15 próbek przechowywanych po 5 próbek w trzech różnych warunkach, a mianowicie 90 dni w wilgotnym piasku, moczonych tj. zanurzonych w wodzie na 4 dni przed upływem 90 dni oraz 5 próbek poddawanych 4 cyklom zamrażania i odmrażania przy czym jeden cykl składał się z 10 godzinnego okresu ich zamrażania w temp.  $-15^{\circ}\text{C}$  (w zamrażarce) i 10 godz. okresu odmrażania zanurzonych w wodzie w temp. pokojowej ( $+15^{\circ}\text{C}$ ). Między okresami zamrażania i odmrażania i następnym kolejnym cyklem próbki przechowywane przez 2 godz. w warunkach powietrzno-suchych.

Ocena porównawcza wytrzymałości na ściskanie (tab. 2) próbek przechowywanych w wilgotnym piasku wskazuje, iż osiągają one dla wszystkich stabilizowanych gruntów maksymalną wytrzymałość przy 6–8% zawartości wapna pokarbidowego można więc



RYC. 3. Wpływ dodatku wapna pokarbidowego na kapilarność czynną

przyjąć, iż jego optymalne dozowanie wynosi 7%. Efekt wytrzymałościowy stabilizacji rośnie z zawartością frakcji ilastej i tak dla gruntu pylastego (9% frakcji ilastej) kształtował się w granicach 0,3 MPa — dla gruntu spoistego zwięzłego (28% frakcji ilastej) — ok. 0,8 MPa. Wynik ten należy uznać za dobry, jest on bowiem zbliżony do wytrzymałości piasku drobnoziarnistego stabilizowanego taką samą ilością cementu.

Wyniki badań próbek przechowywanych w wodzie wskazują, iż próbki bez dodatku wapna rozpadają się, natomiast z wapnem pokarbidowym zachowują trwałość, przy czym następuje spadek ich wytrzymałości, który waha się w granicach 15–30%. Jednocześnie nie można stwierdzić, iż odporność na moczenie wodą zależy od składu granulometrycznego stabilizowanego gruntu.

Odporność próbek na zamrażanie jest mała i występuje tylko przy osiągnięciu przez próbki większych wytrzymałości (ponad 0,7 MPa dla serii próbek przechowywanych w piasku).



TABELA 2  
Właściwości mechaniczne gruntów stabilizowanych wapnem pokarbidowym

Dozowanie wapna pokar- bidowego w %	Wskaźnik CBR po 7 dniach w %	Wytrzymałość gruntu na ściskanie po 90 dniach w MPa		Wytrzymałość na ścinanie w MPa
		przechowywanych w piasku	moczonych	
1	1a	2	3	4
Pył piaszczysty — grunt nr 1				
0	2,32	0,049	R 1	0,020
2	13,90	0,160	1,102	0,269
4	24,76	0,169	0,124	0,321
6	20,0	0,260	0,175	0,292
8	11,19	0,193	0,144	0,271
-----				
Gлина piaszczysta — grunt nr 2				
0	24,76	0,040	R 1	0,145
4	41,43	0,315	0,165	0,176
6	36,19	0,365	0,167	0,189
8	30,48	0,307	0,17	0,192
-----				
Gлина ciężka — grunt nr 3				
0	8,40	0,060	R 1/1	0,114
2	21,64	0,423	0,381	0,352
4	26,67	0,502	0,421	0,367
6	23,33	0,734	0,699	0,311
8	22,56	0,596	0,521	0,279
10	20,05	0,581	0,480	0,276
-----				
Gлина piaszczysta ciężka — grunt nr 4				
0	5,71	0,066	0,018	0,196
4	16,11	0,628	0,364	0,202
6	18,57	0,661	0,301	2,242
8	18,09	0,756	0,370	0,222

Przyjęty okres moczenia i cykle zamrażania oraz odmrażania próbek stosowane są do stabilizacji gruntów cementem. Przekraczają one jednak warunki naturalne bowiem nawierzchnie drogowe nie znajdują się przez okres 4 dni zanurzenia w wodzie lub zanurzone w ciągu doby podczas 10 godz. w wodzie a następnie zamrożone w temp. — 15°C. Należy więc opracować odpowiednią dostosowaną do rzeczywistych warunków terenowych metodę przechowywania próbek z gruntów stabilizowanych wapnem pokarbidowym poddawanych badaniom na ściskanie.

Do oceny porównawczej wytrzymałości gruntu spoistego, stabilizowanego wapnem pokarbidowym zalegającym w hałdzie i świeżym oraz ciastem wapiennym pokarbidowym i wapnem hydratyzowanym wykonano dodatkowe badania, które zestawiono w tabeli 3. Wskazują one, iż wapno pokarbidowe świeże jest najlepszym materiałem wiążącym. Dało ono dwukrotnie lepsze efekty, niż wapno pokarbidowe zalegające w hałdzie, co świadczy, iż wrażliwe jest ono na działanie warunków atmosferycznych (rozkłada się CaO i MgO). Również ciasto wapienne z hałd (zalegające w zbiornikach) ma lepsze właściwości wiążące

TABELA 3  
Wyniki stabilizacji gruntu różnym rodzajem wapna

Rodzaj gruntu	Dozowanie materiału wiążącego	Wytrzymałość na ściskanie (w MPa próbek moczonych, po 90 dniach przechowywania)			
		wapno pokarbidowe		wapno hydratyzowane	
		sproszkowane		ciasto wapienne	
		z hałdy	świeże		
Glina	5	6,0	13	8,1	8,5
zwięzła (3)	8	5,2	11,5	6,9	9,6

niż sproszkowane, co wskazuje, iż proces jego rozkładu jest powolniejszy. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż wapno pokarbidowe świeże jest lepszym materiałem wiążącym — dało lepsze wyniki niż wapno hydratyzowane.

Ogólnie należy stwierdzić, iż stabilizacja wapnem pokarbidowym daje dobre efekty wytrzymałościowe gruntów spoistych zawierających ponad 20% frakcji ilastej.

#### Kształtowanie się wytrzymałości gruntów na ścinanie

Wytrzymałość na ścinanie decyduje o odporności gruntu na przesuwanie się ziarn i cząstek szkieletu gruntowego pod wpływem działania sił stycznych od kół pojazdów, które rosą podczas przyspieszenia lub hamowania pojazdu, a także o stateczności skarp, nasypów i wykopów. Wytrzymałość tę wyznaczano w aparacie bezpośredniego ścinania. Wyniki badań przedstawione w tabeli 2 wskazują, iż dodatek wapna pokarbidowego w gruncie do 4–6% (w stosunku do wagi gruntu) wpływa na wzrost odporności na ścinanie gruntów.

#### Kształtowanie się wskaźnika nośności CBR

Pod wpływem dodatku wapna pokarbidowego następuje istotny wzrost wskaźnika dla wszystkich stabilizowanych gruntów. Jak to wynika z tabeli 2, dozowanie wapna pokarbidowego, przy którym wskaźnik CBR osiąga max. wielkość waha się w granicach 4–6%. Można więc przyjąć 5% dozowanie jako optymalne. Wzrost wskaźnika CBR jest najistotniejszy dla 2% dodatku wapna pokarbidowego. Całkowity wzrost wskaźnika CBR odpowiadający optymalnemu tj. 5% dozowaniu wapna pokarbidowego jest ok. ośmiokrotny dla gruntu pylastego, sześciokrotny dla gliny piaszczystej zwięzłej, czterokrotny dla gliny zwięzłej i 1,8-krotny dla gliny piaszczystej, a więc nie wydaje się celowa jej stabilizacja. Największy wzrost wskaźnika występuje dla gruntu o największej łącznej zawartości — sumie frakcji pylastej i ilastej, a najmniejszy przy największej zawartości frakcji piaszczystej.

Należy zwrócić uwagę, iż optymalne dozowanie wapna pokarbidowego z punktu widzenia osiągalnego maksymalnego wskaźnika CBR wynosił 5% natomiast wytrzymałość próbek na ściskanie 7%. Biorąc jednak pod uwagę, iż przyrost wytrzymałości między 5% i

7%-wym dozowaniem wapna pokarbidowego jest niewielki, można przyjąć 5% dodatek wapna pokarbidowego jako optymalny.

Bezwzględna wartość wskaźnika CBR gruntu stabilizowanego zależy od wielkości tego wskaźnika przed stabilizacją. Stosowanie zatem wapna pokarbidowego do umacniania podłoża drogowego jest w aspekcie wzrostu wskaźnika CBR bardzo celowe. W przypadku dróg leśnych o małym natężeniu ruchu (III kat. do 5000 m<sup>3</sup> wywożonej masy drogą rocznie) warstwa gruntu stabilizowanego może stanowić nośną podbudowę, na której to należy przewidzieć niewielkiej grubości (8–10 cm) warstwę jezdni ze żwiru czy pospółki glinistej lub żużla paleniskowego. Obserwacje bowiem na odcinkach doświadczalnych wykazały, iż wierzchnia warstwa gruntu stabilizowanego wapnem pokarbidowym (nie przykryta warstwą jezdni) ma małą odporność na działanie czynników atmosferycznych, tj. zmienną wilgotność i temperaturę, a mianowicie ulega łuszczeniu.

W przypadku dróg leśnych o większym natężeniu ruchu (kat. I i II) stabilizacja gruntu podłoża wapnem pokarbidowym wzmacnia jego nośność i pozwala na zmniejszenie grubości warstw konstrukcyjnych jezdni. Konieczną grubość nawierzchni w zależności od nośności podłoża ujmuje wzór:

$$h = \frac{100 + 150 \sqrt{P}}{\text{CBR} + 5}$$

gdzie:

$P$  — obciążenie koła pojazdu w tonach,

CBR — wskaźnik nośności podłoża.

Dla podłoża naturalnego (gruntów 1,2,3) wskaźnik nośności waha się w granicach 2,7–6,4%, czyli średnio CBR=5%, dla obciążenia koła pojazdu  $P=4$  tony niezbędna grubość nawierzchni, przy której nie nastąpią jej odkształcenia wyniesie z tego wzoru 40 cm. Projektując nawierzchnię tłuczniową, należałoby przewidzieć warstwę odsączającą 15 cm i warstwę tłucznia 25 cm. W przypadku stabilizacji podłoża 5%-wym dodatkiem wapna pokarbidowego wskaźnik nośności, jak to wynika z badań, wzrośnie do ok. 20–30%, średnio do 25% i grubość warstwy z tłucznia wyniosłaby wówczas ok. 15 cm, zatem uzyskane oszczędności są bezsporne. Użycie ok. 15 kg wapna na 1 m<sup>2</sup> podłoża (wynikające z 5%-wego jego dozowania) eliminuje zapotrzebowanie na podsypkę z piasku ok. 250 kg/1 m<sup>2</sup> oraz zmniejsza potrzebne ilości tłucznia z grubości 25 cm do 15 cm — o 10 cm, tj. o ok. 200 kg/1 m<sup>2</sup>. Należy także podkreślić, iż oprócz uzyskanych oszczędności materiałów zmniejszeniu ulegną koszty ich transportu, a także ich wbudowania w konstrukcję jezdni (mniejszy nakład energetyczny w procesie technologicznym budowy).

## Wnioski

- Badania wykazały, iż wapno pokarbidowe nadaje się do budowy i ulepszania dróg leśnych na podłożu spoistym.
- Wapno pokarbidowe powoduje polepszenie właściwości wodnych i mechanicznych gruntów spoistych.

- Do korzystnych zmian właściwości wodnych, ważnych z punktu widzenia praktycznego należy:
  - podwyższenie granicy plastyczności i wzrost zakresu stanu zwartego gruntu, który jest zawarty między granicą plastyczności i wilgotnością optymalną, dzięki czemu rośnie odporność gruntu na działanie wody i polepszają się warunki prowadzenia robót, gdyż grunt zachowuje stan zwarty przy wilgotnościach znacznie przekraczających wilgotność optymalną,
  - obniżenie lub nawet całkowita redukcja kapilarności czynnej gruntów, co unieemożliwia podciąganie wody kapilarnej w strefę przemarzania, a więc zabezpiecza przed wysadzinami,
  - obniżenie nasiąkliwości i pęcznienia gruntów, czyli zwiększanie ich odporności, na uplastycznienie i szkodliwe działanie mrozu,
  - zwiększenie wodoodporności gruntów, tj. zdolności do zachowania nadanych im kształtów i wymiarów podczas działania wody (np. próbki bez dodatku wapna rozpadały się podczas moczenia, natomiast z dodatkiem wapna zachowały swoje kształty).
- Do korzystnych zmian własności mechanicznych należy:
  - znaczny wzrost nośności gruntów, a więc wzmocnienie podłoża drogowego,
  - wzrost wytrzymałości na ściskanie gruntów — postępujący w czasie, a więc wzrost odporności gruntów na działanie sił mechanicznych oraz zmiennych warunków atmosferycznych i klimatycznych.
  - wzrost wytrzymałości na ścinanie gruntów, a więc uodpornienie gruntów na działanie sił ścinających od kół pojazdów podczas ruchu-hamowania i przyspieszania,
- Stabilizacja gruntów wapnem pokarbidowym może znaleźć zastosowanie do:
  - polepszenia warunków wykonania robót ziemnych (wykopów i nasypów) w podłożu spoistym nadmiernie nawilgoconym (przy 1%-wym jego dozowaniu),
  - budowy w nasypach warstw odcinających podnoszenie się wody kapilarnej (przy 2%-wym dozowaniu)
  - wzmocnienia podłoża i eliminacji warstwy podsypki z piasku pod konstrukcje jezdni (przy 5%-wym dozowaniu) — co równocześnie umożliwia zmniejszenie niezbędnej grubości jezdni i przynosi znaczne oszczędności w kosztach jej budowy,
  - budowy warstwy nośnej jezdni na drogach leśnych o małym natężeniu ruchu (III kat.) przykrytej 8–10 cm warstwą żwiru (pospółki gliniastej) lub żużla paleniskowego (przy 5%-wym dozowaniu),
- Należy stosować świeże wapno pokarbidowe, gdyż ma ono najlepsze właściwości wiążące.

*Z Katedry Użytkowania Lasu i Inżynierii Leśnej  
SGGW Warszawa*

## Summary

The author points out that the compact roadbed becomes plastic under the impact of water and loses its carrying capacity. In the case of ground roads they become then unpassable. A possibility of hardening of such a roadbed by using post-carbide limestone can improve the state of forest roads.

The investigations were oriented to finding out an impact of limestone addition on the resistance of compact ground (with different content of mud fraction) against the action of water, i.e. formation of optimal moisture (at which there is the best compactness of the ground obtained), limits of plasticity, flowability, active capability, soaking and swelling, and formation of resistance against deformations under the impact of loads, i.e. compression strength, shear strength, wheel load capacity — the CBR index.

The results of investigations point out that post-carbide limestone (at 1–2% dosing already) improves properties of soils, and namely it shifts upward the limits of plasticity and flowability, it reduces active capillarity, decreases water intake and swelling, and it contributes (at 5% dosing) to a considerable increase of wheel load capacity and endurance of grounds. It can then find application to the improvement of earth works carried out for to obtain a construction of layers detaching the affluent of capilar water, to strengthening of the roadbed and construction of carrying layer under road coats at a little intensity of the traffic.