

KAZIMIERZ PIENKOS I EDWARD STEPIEŃ

Badania nad przydatnością stabilizacji granulometrycznej do budowy dróg leśnych

Исследования пригодности гранулометрической стабилизации для строительства лесных дорог

Studies on the usefulness of granulometric stabilization for the construction of forest roads

WSTĘP

Ulepszenie dróg leśnych o nawierzchniach gruntowych naturalnych jest rzeczą konieczną ze względu na stosowanie w transporcie leśnym pojazdów mechanicznych o dużej sile uciągu, znacznej ładowności i prędkości jazdy.

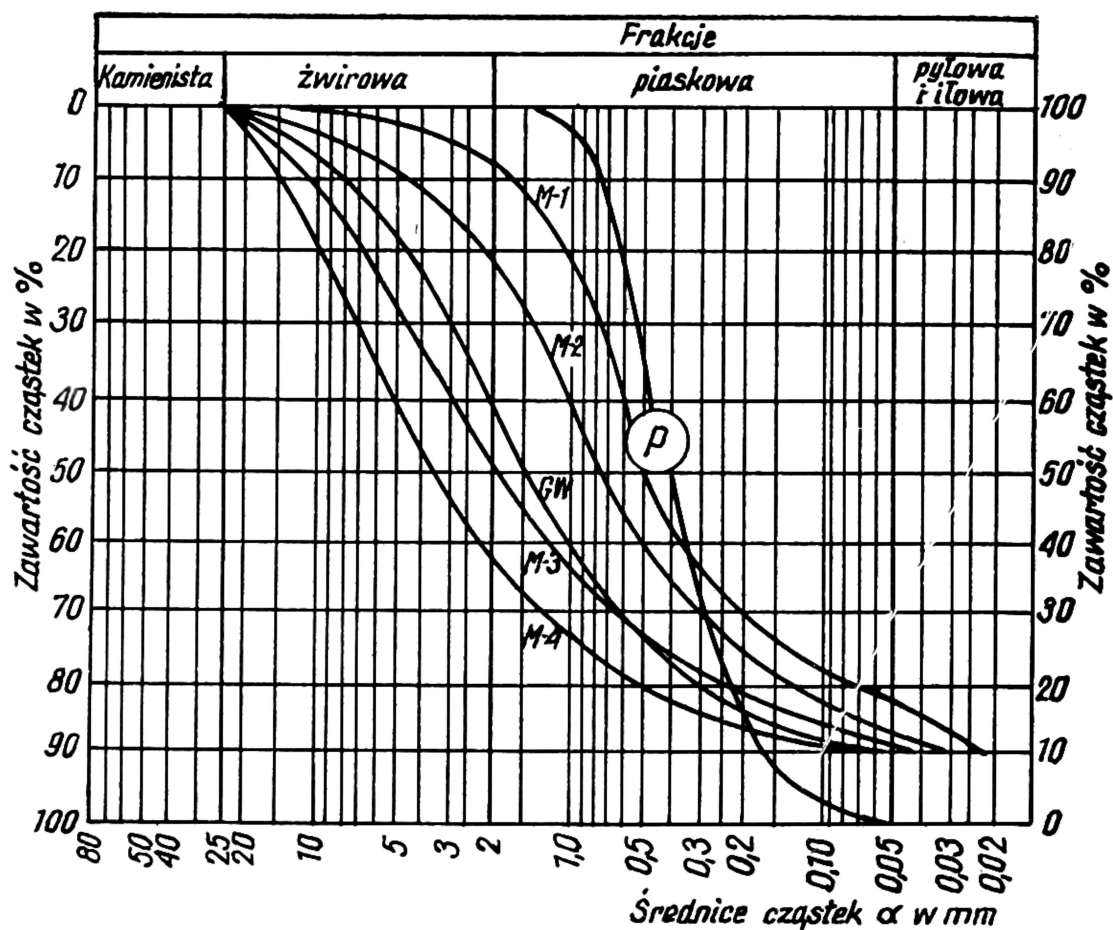
Drogi gruntowe naturalne stanowią około 90% dróg leśnych. W okresie niesprzyjających warunków atmosferycznych są one nieprzydatne dla transportu leśnego. Poprawę tych dróg można osiągnąć, między innymi, przez zastosowanie granulometrycznej stabilizacji gruntu, polegającej na wymieszaniu dwóch lub więcej rodzajów gruntu w proporcjach umożliwiających otrzymanie mieszaniny zwanej optymalną i spełniającej określone wymagania.

Na znacznych obszarach leśnych istnieją warunki do budowy nawierzchni z mieszanek gruntowych: gliniasto-piaskowej, gliniasto-żwirowej lub gliniasto-piaskowo-żwirowej. Konieczne jest ustalenie, która z wymienionych mieszanek jest najbardziej przydatna do ruchu ciężkich pojazdów w okresie niesprzyjających warunków atmosferycznych (wywóz pozyskanego drewna odbywają się głównie od października do maja).

1. CEL, ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Badania miały na celu ustalenie wpływu składu granulometrycznego różnych mieszanek gruntowych na ich własności mechaniczne i fizyczne oraz określenie na tej podstawie stopnia przydatności poszczególnych mieszanek do budowy warstw konstrukcyjnych lub samodzielnej nawierzchni drogowej.

Zbadano cztery rodzaje mieszanek: gliniasto-piaskową (M-1), gliniasto-piaskowo-żwirową (M-2), i dwie gliniasto-żwirowe (M-3 i M-4), grunt wyjściowy (GW), z którego za pomocą przesiewania i przemywania otrzymano powyższe mieszanki, oraz piasek średni równoziarnisty (P). Łącznie badaniami objęto 6 gruntów o różnym uziarnieniu.



Ryc. 1. Krzywe uziarnienia badanych gruntów

Charakterystykę przyjętych do badań gruntów podano na wykresie krzywych uziarnienia (ryc. i tab. 1).

Zakres badań własności fizycznych obejmował:

a) oznaczenie wilgotności optymalnych ($W_{opt.}$), przy których następuje najłatwiejsze zagęszczenie gruntu i odpowiadających im maksymalnych ciężarów objętościowych suchych mas badanych gruntów (γ_d) metodą normalną Proctora (przy tych wilgotnościach i zagęszczeniach badano własności mechaniczne gruntów);

b) oznaczenie granic konsystencji, tj. granic płynności (W_L) i plastyczności (W_p) mieszanek gruntowych (według PN-59/B-044191); na podstawie oznaczonych granic płynności i plastyczności oraz wilgotności optymalnych mieszanek obliczono wskaźniki plastyczności $I_p = W_L - W_p$

i wskaźniki konsystencji (stopnie plastyczności) $I_1 = \frac{W_{opt.} - W_p}{W_L - W_p}$;

c) oznaczenie pęcznienia badanych gruntów (wykonano podczas określania wskaźnika CBR metodą laboratoryjną).

Zakres badań własności mechanicznych gruntów obejmował:

a) badanie nośności metodą wskaźnika CBR (w laboratorium i w terenie) — przez pomiar siły potrzebnej do wciskania znormalizowanego trzpienia (o przekroju 20 cm^2 do oznaczonej głębokości 2,5 mm i 5,0 mm) w badane grunty, zagęszczone w pojemnikach stalowych o średnicy 70 cm i wysokości 20 cm; wartości wskaźników CBR obliczono według

Tabela 1
Własności fizyczne badanych gruntów

Rodzaj badanego gruntu	Udział frakcji %			W_r	W_{ku}	W_{opt} %	ρ_{dopt} g/cm ³	Granice i stany konsystencji			Wskaźnik pęcznienia	
	żwirowej	piaskowej	pyłowej i łuwej					płynności %	plastyczności %	wskaznik plastyczności %		wskaznik konsystencji I
1. Piasek (P)	—	99,0	1,0	2,8	0,9	11,4	1,76	—	—	—	—	
2. Mieszanka gliniasto-piaskowa (M-1)	7,5	73,0	19,5	31	3,2	9,4	2,12	16,0	10,5	5,5	-0,20	
3. Mieszanka gliniasto-żwirowo-piaskowa (M-2)	21,0	62,5	16,5	40	3,6	9,0	2,14	16,5	11,4	5,1	-0,47	
4. Mieszanka gliniasto-żwirowa (GW)	41,0	48,0	11,0	70	3,8	8,2	2,16	17,5	13,4	4,1	-1,27	
5. Mieszanka gliniasto-żwirowa na warstwę ścieralną (M-3)	48,5	38,5	13,0	100	4,3	8,2	2,18	17,5	12,5	5,0	-0,86	
6. Mieszanka gliniasto-żwirowa na warstwę nośną (M-4)	61,0	29,0	10,0	100	4,8	8,2	2,185	17,5	13,7	3,8	-1,45	

wzoru $CBR = \frac{p}{p_s} 100 (\%)$ w którym:

- p — nacisk w kG/cm^2 , jaki należy wywrzeć, aby trzpień zagłębił się w grunt na głębokość 2,5 lub 5,0 mm;
 p_s — nacisk standartowy potrzebny do wciskania trzpienia na głębokość 2,5 mm lub 5,0 mm w zagęszczony tłuczeń w kG/cm^2 , do zagłębienia trzpienia na 5,0 mm $p_s = 100 kG/cm^2$;

b) badanie modułów nośności E wykonane metodą VSS przez pomiar odkształceń pionowych badanych gruntów (zagęszczonych w pojemnikach) pod sztywnymi płytami naciskowymi o średnicy $d = 16$ cm i $d = 30$ cm, przy obciążeniach statycznie wzrastających od 0 do $4,5 kG/cm^2$; moduły odkształceń obliczono na podstawie wzoru

$$M_E = \frac{\Delta p}{\Delta s} D$$

w którym:

- M_E — moduł odkształcenia w kG/cm^2 ,
 Δp — przyrost obciążenia w kG/cm^2 w umownym zakresie obciążeń od p_1 do p_2 ; moduły badano dla zakresów od 0,5 do $1,5 kG/cm^2$ — traktując badane grunty jako podłoże, od $1,5$ do $2,5 kG/cm^2$ — traktując badane grunty jako podbudowę tj. dolne warstwy nawierzchni, oraz od $2,5$ do $3,5 kG/cm^2$ — traktując badane grunty jako samodzielne nawierzchnie,
 Δs — przyrost odkształcenia, w zakresie Δp , w cm,
 D — średnica użytej do badań płyty;

c) badanie wytrzymałości na ścinanie przeprowadzone w aparacie trójosiowego ściskania na próbkach sporządzonych z materiału przesianego przez sito o średnicy oczek 10 mm; wartość kątów wewnętrznych tarć oraz spójności poszczególnych gruntów wyznaczono wzorem Coulomba

$$\tau = c + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi$$

w którym:

- τ — wytrzymałość gruntu na ścinanie w kG/cm^2 ,
 σ_n — składowa normalna naprężenia, prostopadła do przekroju, w którym nastąpiło ścięcie, w kG/cm^2 ,
 φ — kąt tarcia wewnętrznego w stopniach,
 c — opór spójności (kohezji) gruntu w kG/cm^2 ,
 $\sigma_n \operatorname{tg} \varphi$ — opór tarcia wewnętrznego w kG/cm^2 .

2. ANALIZA WYNIKÓW BADAŃ

1. Analiza fizycznych własności badanych gruntów

Wyniki badań fizycznych własności gruntów zestawiono w tabeli 1. W kolumnie 6 i 7 podano także wskaźniki różnoziarnistości (W_r) i wskaźniki przebiegu krzywych uziarnienia (W_{ku}) poszczególnych gruntów, obliczone ze wzorów:

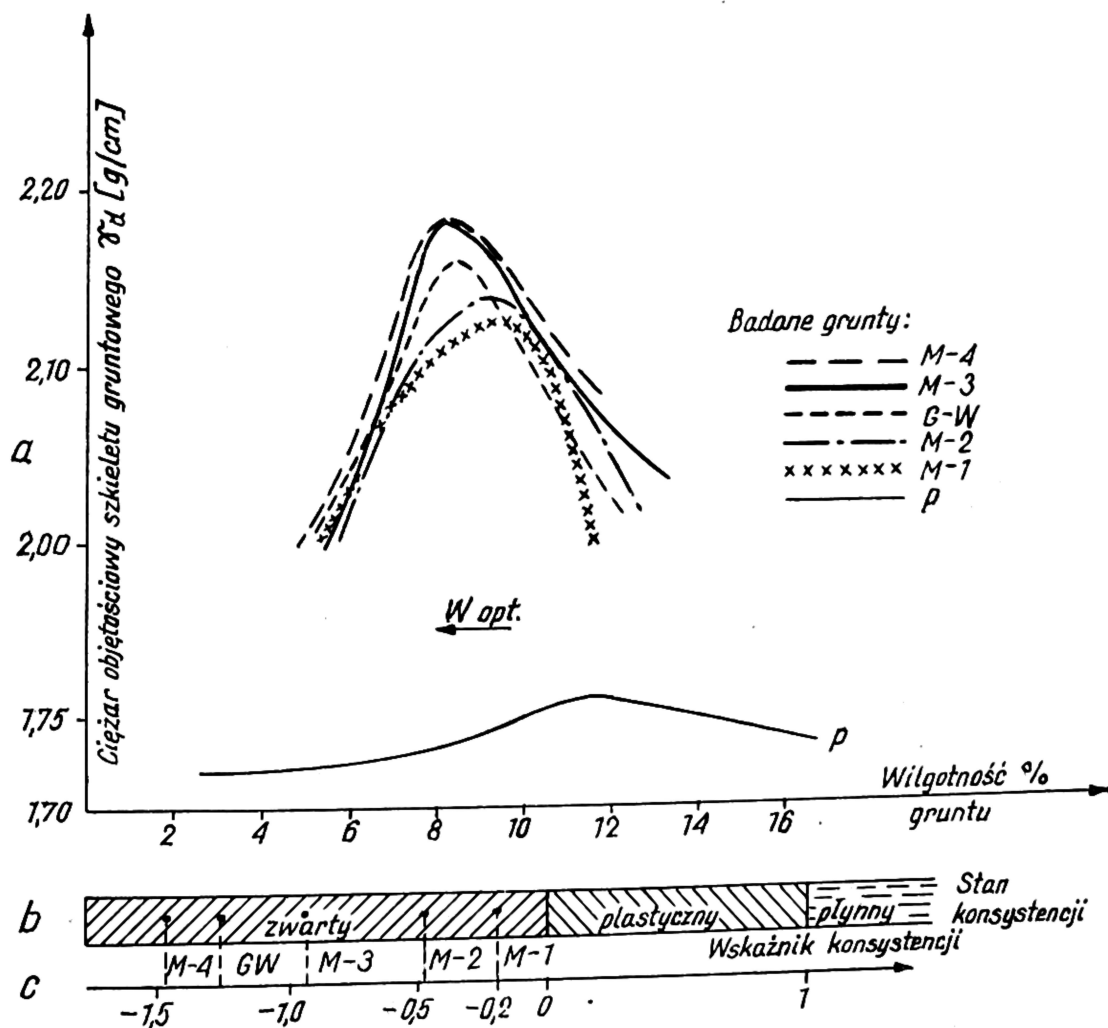
$$W_r = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad \text{i} \quad W_{ku} = \frac{d_{30}^2}{d_{10} d_{60}}$$

w których:

d_{10} — średnica cząstki, od której mniejszych w gruncie jest 10%,
 d_{30} — średnica cząstki, od której mniejszych w gruncie jest 30%,
 d_{60} — średnica cząstki, od której mniejszych w gruncie jest 60%.

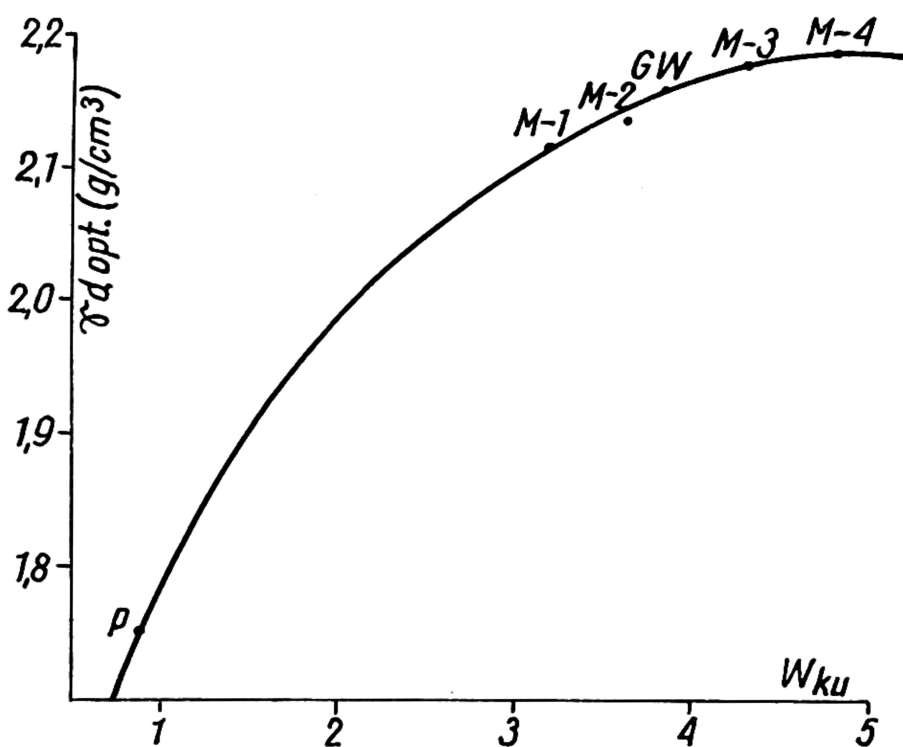
Przedstawione wyniki badań umożliwiają dokonanie następujących spostrzeżeń.

a) Wilgotność optymalna gruntów (ryc. 2a) maleje w miarę wzrostu zróżnicowania uziarnienia, a mianowicie przy zmianie uziarnienia od gruntu równoziarnistego (piasku o wskaźniku $W_r = 2,8$ i wskaźniku $W_{ku} = 0,89$) do gruntu różnoziarnistego (mieszanki gliniasto-żwirowej o wskaźniku $W_r = 70$ i wskaźniku $W_{ku} = 3,8$) następuje zmniejszenie się wilgotności optymalnej o 3,2%; przy dalszej zmianie uziarnienia wilgotność optymalna nie zmienia się; ponieważ mieszanki o mniejszym zróżnicowaniu uziarnienia (gliniasto-piaskowe, gliniasto-żwirowo-piaskowe) mają wyższą wilgotność optymalną, należy je stosować w miejscach ocienionych lub bardziej wilgotnych w celu utrzymania w tego rodzaju nawierzchniach wilgotności zbliżonej do optymalnej.



Ryc. 2. Wilgotność optymalna (W_{opt}) i stany konsystencji badanych gruntów

b) Ciężar objętościowy szkieletu gruntowego rośnie przy tym samym nakładzie energii zagęszczającej w miarę wzrostu zróżnicowania uziarnienia gruntu, przy czym istnieje zależność między wielkością wskaźnika przebiegu krzywej uziarnienia (W_{ku}) i ciężarem objętościowym szkieletu gruntowego (γ_d) — ryc. 3; w granicy zmiany uziarnienia od M-3 do M-4 wzrost ciężaru objętościowego jest znikomy. Należy sądzić, że jest to przedział optymalnego uziarnienia, przy którym grunt osiąga maksymalny ciężar objętościowy (jak wynika z ryc. 3 wskaźnik $W_{ku} \geq 3,5$ jest granicą optymalnego uziarnienia); lepsze zagęszczenie gruntu jest dodatnią cechą, gdyż wpływa na wzrost nośności oraz zmniejszenie osiadania gruntu.



Ryc. 3. Zależność między wielkościami wskaźnika przebiegu krzywej uziarnienia (W_{ku}) i ciężarem objętościowym szkieletu gruntowego ($\gamma_d \text{ opt}$)

c) Wielkość granicy plastyczności rośnie w miarę wzrostu zróżnicowania uziarnienia mieszanek gruntowych, co ma praktyczne znaczenie, gdyż przejście ze stanu zwartego do stanu plastycznego, dla mieszanek o bardziej zróżnicowanym składzie, następuje przy wyższych wilgotnościach; zmiana uziarnienia od mieszanek gliniasto-piaskowych do gliniasto-żwirowych nie wpływa istotnie na wielkość granic płynności (granice te są do siebie bardzo zbliżone).

d) Wskaźniki stanu konsystencji I_1 wskazują, że badane grunty znajdują się, przy wilgotnościach optymalnych, w stanie zwartym, przy czym:

— położenie punktu wskaźnika stanu konsystencji (ryc. 2b) dla mieszanki M-1 w pobliżu granicy plastyczności wskazuje, że przy niewielkim zwiększeniu się wilgotności mieszanka ta może znaleźć się w stanie plastycznym; wynika stąd, że nawierzchniom wykonanym z tej mieszanki należy zapewnić dobre odwodnienie, tj. prawidłowy profil poprzeczny i spadki podłużne;

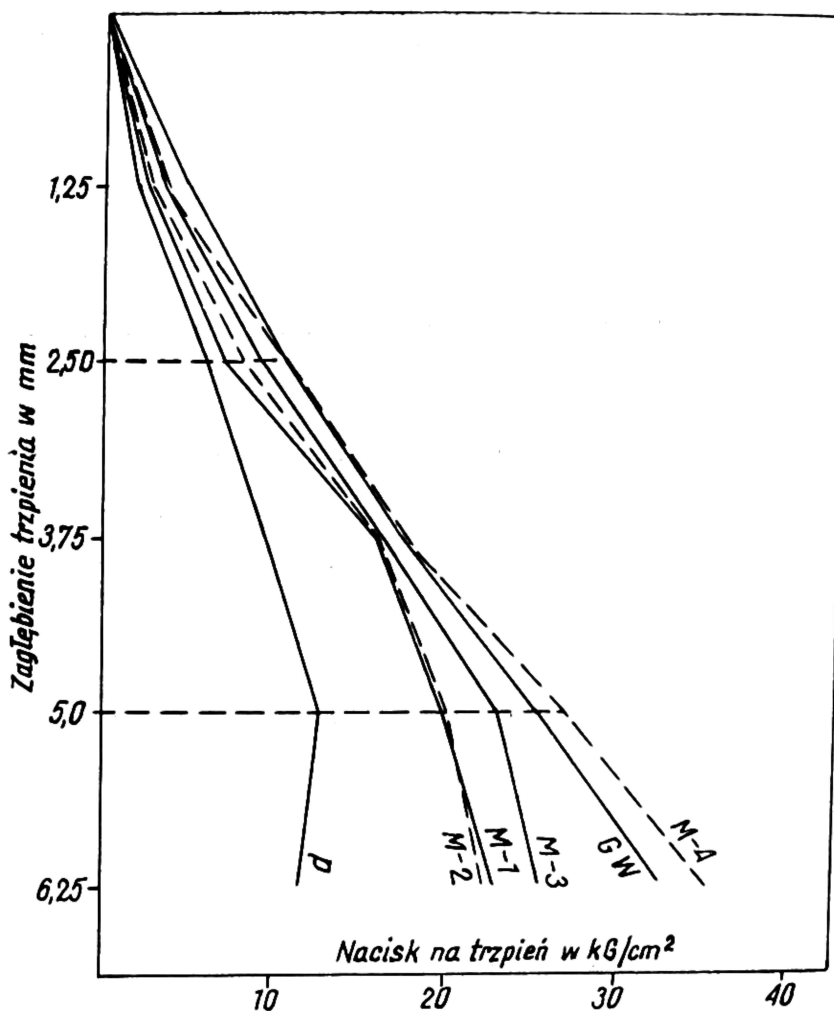
— położenie punktu wskaźnika I_1 dla mieszanki M-2 jest bardziej oddalone od granicy plastyczności; wskazuje to, że zwiększeniu się wilgotności nie będzie towarzyszyła tak szybka zmiana stanu konsystencji, co jest cechą korzystną;

— położenie punktów oznaczających wskaźniki stanu konsystencji dla mieszanek M-3, GW i M-4 jest najbardziej oddalone od granicy plastyczności; wskazuje to, że nawet przy znacznie większym zwiększeniu się wilgotności mieszanki te pozostaną w stanie zwartym, co jest cechą najkorzystniejszą.

2.2. ANALIZA MECHANICZNYCH WŁASNOŚCI BADANYCH GRUNTÓW

a) Ocena nośności badanych gruntów według wskaźnika CBR

Otrzymane wielkości wskaźników CBR, podczas badań laboratoryjnych jak i terenowych, przedstawione w tabeli 2 i na ryc. 4, pozwalają stwierdzić, że w miarę wzrostu zróżnicowania uziarnienia mieszanek gruntowych rośnie wielkość wskaźnika CBR i związana z tym ich nośność. Mieszanki gliniasto-piaskowe i gliniasto-żwirowo-piaskowe wyka-



Ryc. 4. Zależność między naciskiem i penetracją trzpienia przy laboratoryjnym wyznaczeniu wskaźnika CBR

Wskaźniki CBR badanych gruntów

Rodzaj badanego gruntu	Wskaźnik CBR określony metodą:				Ocena nośności
	laboratoryjną		polową		
	przy penetracji trzpienia na głębokość				
	2,5 mm	5,0 mm	2,5 mm	5,0 mm	
1. Piasek (P)	8,6	12,8	13,1	9,6	zła/dostateczna
2. Mieszanka gliniasto-piaskowa (M-1)	9,8	19,8	12,0	17,1	dostateczna/dobra
3. Mieszanka gliniasto-żwirowo-piaskowa (M-2)	11,5	19,8	13,5	18,6	dostateczna/dobra
4. Mieszanka gliniasto-żwirowa na warstwę ścieralną (M-3)	13,2	23,3	16,0	22,9	dobra
5. Mieszanka gliniasto-żwirowa (GW)	15,0	25,6	16,0	25,7	dobra
6. Mieszanka gliniasto-żwirowa na warstwę nośną (M-4)	15,0	26,8	18,5	26,4	dobra/bardzo dobra

zują nośność między dostateczną i dobrą, natomiast mieszanki o bardziej zróżnicowanym uziarnieniu (M-3, GW, M-4) osiągają wskaźnik CBR przewidziany dla dobrego a nawet zbliżony do bardzo dobrego podłoża (CBR = 26,8%). Nośność piasku jest najniższa — wskaźnik CBR osiąga wartość graniczną między złą i dostateczną.

Wskaźniki CBR osiągały większą wartość przy głębszej penetracji trzpienia (5,0 mm).

b) Ocena nośności gruntów według metod VSS (wg modułu nośności E)

Moduły nośności E obliczono traktując grunty jako: 1) podłoże drogowe (płyta 200 cm², osiadanie w zakresie obciążeń 0,5 — 1,5 kG/cm²), 2) pojedynczą warstwę wielowarstwowej nawierzchni, tj. podbudowę czyli warstwę nośną (płyta 200 cm², osiadanie w zakresie obciążeń 1,5 — 2,5 kG/cm²) oraz 3) samodzielny nawierzchnię (płyta 700 cm², osiadanie w zakresie obciążeń 2,5 — 3,5 kG/cm²).

Oceny nośności badanych gruntów dokonano na podstawie wartości modułów E (tabela 3, ryc. 5 i 6) i kryteriów przedstawionych w tabeli 4.

Wyniki badań wskazują, że nośność gruntów we wszystkich zakresach obciążenia rośnie w miarę wzrostu zróżnicowania uziarnienia gruntu.

NOŚNOŚĆ GRUNTÓW JAKO PODŁOŻA

Wartości modułów E dla piasku osiągają nośność na granicy złej i dostatecznej, natomiast pozostałe mieszanki osiągają nośność bardzo dobrą. Mieszanki GW i M-4 nie wykazały żadnych odkształceń w zakresie ob-

Moduły odkształceń badanych gruntów

Badany grunt	Wartości E w kG/cm ²			
	w zakresie obciążeń 1,5 — 2,5 kG/cm ² (dla wzmocnionego podłoża ew. podbudowy)	wzrost nośności %	w zakresie obciążeń 2,5 — 3,5 kG/cm ² (dla samodz. nawierzchni)	wzrost nośności %
1. Piasek (P)	200	100	408	100
2. Mieszanka gliniasto-piaskową (M-1)	267	133	508	124
3. Mieszanka gliniasto-żwirowo-piaskowa (M-2)	348	174	588	144
4. Mieszanka gliniasto-żwirowa na warstwę ścieralną (M-3)	470	235	658	161
5. Mieszanka gliniasto-żwirowa (GW)	552	276	690	168
6. Mieszanka gliniasto-żwirowa na warstwę nośną (M-4)	762	381	1013	248

Tabela 4

Kryteria oceny nośności podłoża, warstw nośnych lub samodzielnej nawierzchni

Warstwa konstrukcyjna nawierzchni	Moduł nośności E kG/cm ²	Ocena nośności
1. Podłoże	150 — 200	zła
2. Wzmocnione podłoże ew. podbudowa	(150 — 200) — 800	od dostatecznej do dobrej
3. Podbudowa (warstwy nośna)	800 — 1000	od dostatecznej do bardzo dobrej
4 Samodzielna nawierzchnia	1000 — 4000	od dostatecznej do bardzo dobrej

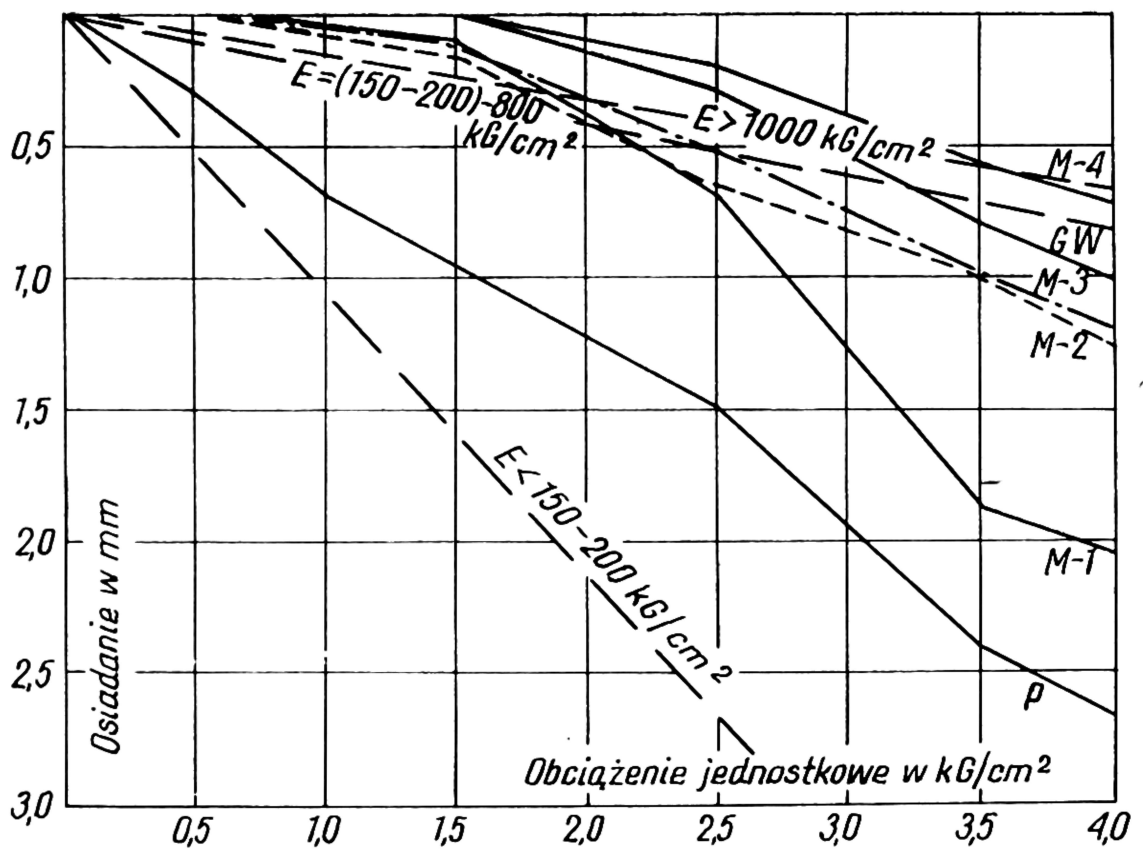
ciążeń 0,5 — 1,5 kG/cm². Z powyższego wynika, że celowe jest wzmocnienie podłoża za pomocą stabilizacji granulometrycznej (zmiany uziarnienia gruntu). Mieszanki gruntowe, badane w zakresie obciążeń 1,5 — 2,5 kG/cm² osiągnęły nośność przewidzianą dla wzmocnionego podłoża — od dostatecznej do bardzo dobrej. Mieszanka gliniasto-żwirowa (M-4) osiąga nośność zbliżoną do przewidzianej na podbudowę (warstwę nośną).

NOŚNOŚĆ GRUNTÓW JAKO POBUDOWY (WARSTWY NOŚNEJ)

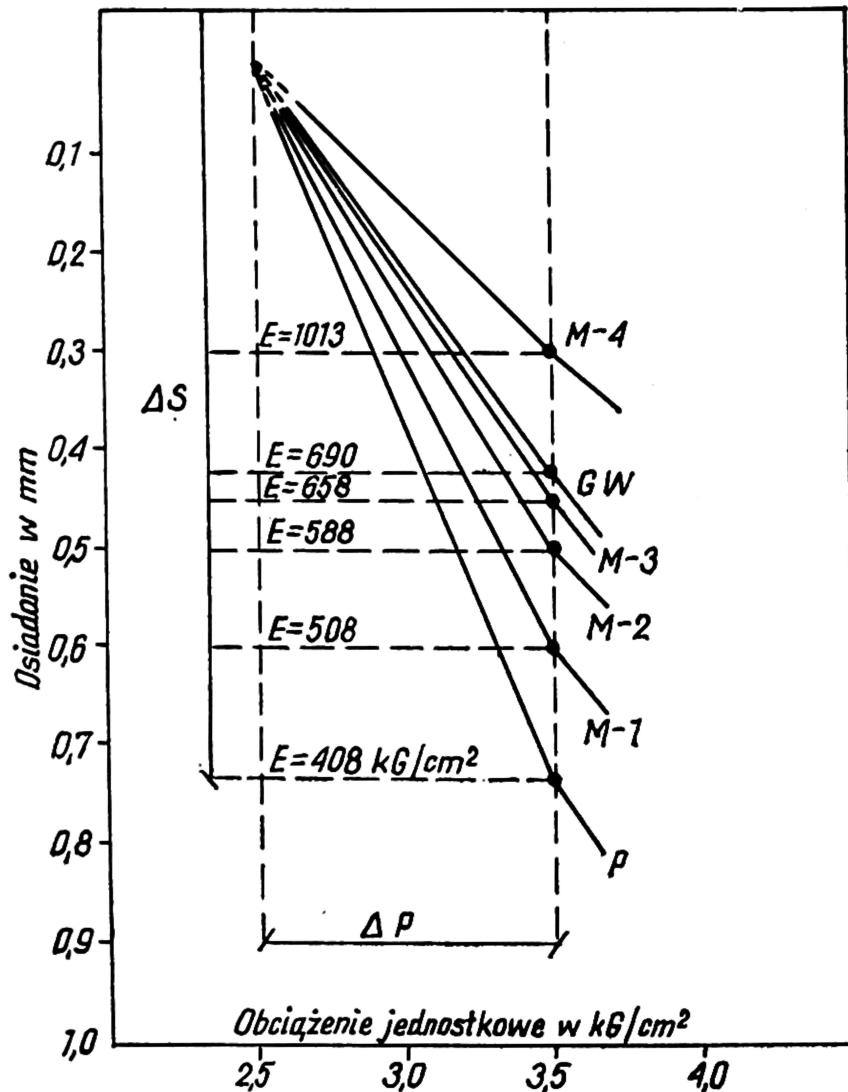
Wyniki badań wskazują, że jedynie mieszanka gliniasto-żwirowa (M-4) może być stosowana jako podbudowa w nawierzchniach wielowarstwowych. Pozostałe mieszanki mogą być stosowane na warstwy górne nawierzchni.

NOŚNOŚĆ GRUNTÓW JAKO SAMODZIELNEJ NAWIERZCHNI

Otrzymane wyniki badań wskazują, że jedynie mieszanka M-4 spełnia warunki samodzielnej nawierzchni ($E > 1000$ kG/cm²). Pożądane jest jednak, aby mieszanka ta miała dodatkowo górną warstwę (ścieralną)



Ryc. 5. Krzywe odkształceń badanych gruntów pod płytą $\varnothing 16 \text{ cm}$



Ryc. 6. Odkształcenia badanych gruntów pod płytą $\varnothing 30 \text{ cm}$ w zakresie obciążeń od 2,5 kg/cm^2 do 3,5 kg/cm^2

z drobniejszych frakcji o uziarnieniu optymalnym uniemożliwiającym przepływ wody do dolnej warstwy nawierzchni, np. z mieszanki M-2 lub M-3 (wyższy udział frakcji pyłowej i ilowej).

Analizując dane w tabeli 3 można stwierdzić, że zmiana uziarnienia gruntu ma znaczny wpływ na wzrost jego nośności. Procentowy wzrost nośności w zakresie obciążeń od 1,5 do 2,5 kG/cm², przy zmianie składu granulometrycznego od piasku do uziarnienia przewidzianego dla mieszanki M-4, wynosi 280%, a w zakresie obciążeń od 2,5 do 3,5 kG/cm² — 150%.

Na podstawie wyników badań nośności można stwierdzić, że stabilizacja granulometryczna może służyć zarówno do wzmacniania podłoża pod nawierzchnie drogowe, jak również do budowy samodzielnych nawierzchni. Mieszanki o uziarnieniu zbliżonym do składu mieszanek M-1, M-2 i M-3 mogą być stosowane do wzmacniania nawierzchni dróg gruntowych o bardzo małym ruchu, natomiast mieszanki gruntowe o uziarnieniu zbliżonym do składu mieszanek GW i M-4 powinny znaleźć zastosowanie do budowy dróg spełniających funkcję komunikacyjną na warstwy nośne nawierzchni z dodatkową górną warstwą ścierną o składzie zbliżonym do uziarnienia mieszanki M-3, z ewentualną stabilizacją tej warstwy smołą.

Proponowane na warstwy nośne mieszanki gliniasto-żwirowe o składzie zbliżonym do mieszanek GW i M-4 charakteryzują się wskaźnikiem CBR $\cong 30\%$. Przyjmując, że obciążenie przypadające na koło może wynosić około $P = 5$ ton, można obliczyć potrzebną grubość górnej warstwy ze wzoru:

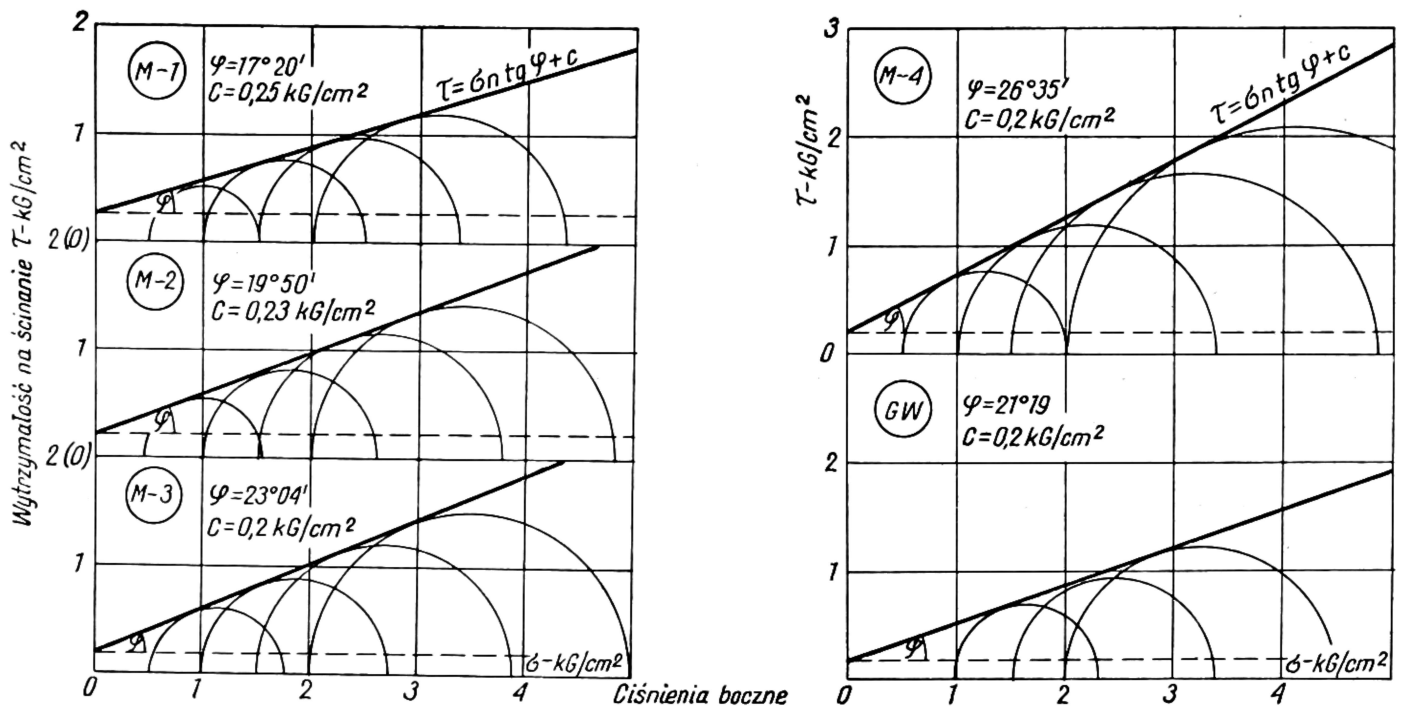
$$h = \frac{100 + 150 \sqrt{P}}{\text{CBR} + 5} = \frac{100 + 150 \sqrt{5}}{30 + 5} = 12 \text{ cm}$$

Ponieważ wskaźnik CBR jest przewidziany dla nawierzchni makadamowej, wobec tego przy stosowaniu mieszanki optymalnej grubości tę można zmniejszyć do 8 — 10 cm.

c) Ocena wytrzymałości badanych gruntów na ścinanie

Wytrzymałość na ścinanie wynika z oporu spójności (c) oraz z oporu tarcia wewnętrznego ziarn i czastek gruntu ($\sigma_n \cdot \text{tg } \varphi$). Wielkość c i φ otrzymano z wykresów pomocniczych (kół Mohra) przedstawionych na ryc. 7, sporządzonych na podstawie wyników pomiaru siły powodującej ścinanie badanych (przy 4 różnych ciśnieniach bocznych) próbek gruntu.

Analizując otrzymane wyniki można stwierdzić, że wielkości oporów spójności (c) badanych gruntów nie są zróżnicowane i wynoszą około 0,2 kG/cm² oraz, że w miarę wzrostu zróżnicowania uziarnienia mieszanek gruntowych rośnie wartość φ (od $\varphi = 17^\circ 20'$ dla M-1 do $\varphi = 26^\circ 35'$ — dla M-4) i związana z tym wytrzymałość gruntu na ścinanie. Fakt ten jest bardzo istotny, gdyż ze wzrostem wytrzymałości gruntu na ścinanie zwiększa się jego odporność na niszczące działanie kół pojazdów będących w ruchu, co ma duże znaczenie dla zachowania trwałości nawierzchni, a także dla zwiększenia stateczności korpusu drogowego.



Ryc. 7. Kąty tarcia wewnętrzne φ i spójności właściwej C wyznaczone przy pomocy kół M o h r a

WNIOSKI

1. Stabilizacja granulometryczna może znaleźć zastosowanie do wzmacniania podłoża drogowego oraz do budowy warstw konstrukcyjnych, jak i samodzielnych nawierzchni dróg leśnych. Najodpowiedniejszy skład granulometryczny mieszanki przeznaczonej na warstwę nośną oraz samodzielną nawierzchnię powinien być zbliżony do składu mieszanki gliniasto-żwirowej (M-4), przy czym dla samodzielnych nawierzchni zaleca się uzupełnienie składu tej mieszanki, w górnej warstwie — dodatkem drobniejszych frakcji (więcej pyłu lub piasku gliniastego). Pozostałe mieszanki mogą być stosowane na górne (ścieralne) warstwy nawierzchni.

2. Grunty o uziarnieniu zbliżonym do składu mieszanek: gliniasto-piaskowej (M—1), gliniasto-żwirowo-piaskowej (M—2) i gliniasto-żwirowej (M—3) można stosować do wzmacniania nawierzchni dróg gruntowych o małym natężeniu ruchu, natomiast grunty o uziarnieniu zbliżonym do składu mieszanek gliniasto-żwirowych M—4 i GW powinny znaleźć zastosowanie do budowy dróg o większym natężeniu ruchu.

3. Mieszanki o mniejszym zróżnicowaniu uziarnienia (gliniasto-piaskowe, gliniasto-żwirowo-piaskowe) ze względu na ich wyższą wilgotność optymalną należy stosować w miejscach ocienionych i bardziej wilgotnych, aby im zapewnić utrzymanie wilgotności zbliżonej do optymalnej.

4. Nawierzchniom wykonanym z mieszanek gliniasto-piaskowych (M—1) należy zapewnić dobre odwodnienie poprzeczne i podłużne, gdyż niewielki wzrost wilgotności może spowodować zmianę ich stanu konsystencji zwartej w plastyczną. Dla pozostałych mieszanek zmiana wilgotności nie ma tak znacznego wpływu na ich stan konsystencji.

5. Najodpowiedniejsze zagęszczenie mieszanek gruntowych i związaną z tym nośność osiąga się przy składzie granulometrycznym, dla którego wskaźnik przebiegu krzywej uziarnienia W_{ku} jest większy od 3,5.

Краткое содержание

Авторами исследовалось влияние гранулометрического состава грунтов на их физические и механические свойства и определили на этом основании степень их пригодности для строительства лесных дорог.

Область исследований физических и механических свойств грунтов охватывала: обозначение оптимальных влажностей, границ консистенции, набухания, грузоподъёмности методом показателя CBR и методом VSS, а также сопротивляемость срезыванию.

Определено, что по мере роста дифференциации зернистости:

- 1) увеличивается объёмный вес грунтовых скелетов (лучшая плотность),
- 2) уменьшаются показатели состояния консистенции (что указывает на то, что смеси более разнотернистые при увеличении влажности, дольше сохраняют плотное состояние),
- 3) возрастает грузоподъёмность (в исследуемых пределах нагрузок),
- 4) увеличивается сопротивляемость грунта скалыванию и связанная с этим сопротивляемость на уничтожающее воздействие движения.

В статье даются практические указания для применения грунтовых смесей в дорожном строительстве — для укрепления основания и стирающегося слоя, а также для самостоятельного дорожного покрытия.

Summary

Authors examined the effect of granular structure of soils upon their physical and mechanical properties and determined on this basis the degree of their usefulness for the construction of forest roads.

The range of physical and mechanical tests on soil properties included: the determination of the optimal moisture, limits of consistency, swelling, load carrying capacity by means of OBR index and VSS technique, and the shear strength.

It was found that along with the increase in grain size variation there: 1) increase bulk densities of soil skeleton (better density), 2) decrease indices of consistency status (what indicates that more grain differentiated mixtures for longer maintain their compactness when moisture is increasing), 3) increases load carrying capacity (within the load ranges studied), 4) increase the shear strength of soil and involved resistance to destructive action of traffic.

The article gives practical indications for the use of soil mixes in road construction — for strengthening the subsoil, as substructure and abrasive layer, as well as a selfcontained pavement.