

P R Z E G L A D G E O L O G I C Z N Y

ZESZYT 2

LUTY

ROK 1955

„Umiejętności dopotąd są jeszcze próżnym wynalazkiem, może czcym tylko rozumowi wywodem albo próżniactwa zabawą, dopokąd nie są zastosowane do użytku narodów. I uczeni potąd nie odpowiadają swemu powołaniu, swemu w towarzystwach ludzkich przeznaczeniu... dopokąd ich umiejętność nie nadaje fabrykom i republikom oświecenia, ułatwienia kierunku postępu“.

STANISŁAW STASZIC

WINCENTY FORTUNAT

NOWE ZAGADNIENIA Z MECHANIKI GRUNTÓW ILASTYCH

SKŁAD ZIARNOWY GRUNTÓW NIESPOISTYCH
JAKO KRYTERIUM ICH WŁAŚCIWOŚCI
TECHNICZNYCH

SKŁAD ZIARNOWY I CECHY TECHNICZNE
GRUNTÓW SPOISTYCH

Ze składu ziarnowego gruntów niespoistych można wyciągnąć pewne wnioski o ich właściwościach technicznych. Wiemy, że im bardziej drobnoziarnisty jest grunt niespoisty, tym większa jest jego ściśliwość, tym mniejsza jego wodoprzepuszczalność i kąt tarcia wewnętrznego a zatem i jego wytrzymałość na działanie sił zewnętrznych.

Na właściwości techniczne gruntów wywierają wpływ również dalsze czynniki, jak: kształt ziaren i ich twardość. Grunty o ziarnach obtoczonych, gładkich wykazują mniejszy kąt tarcia wewnętrznego niż grunty o ziarnach kanciastych i szorstkich, będą więc stawiać mniejszy opór siłom wewnętrznym. Grunty o ziarnach z minerałów twardych, poddane działaniu sił zewnętrznych, będą się mniej odkształcały niż grunty o ziarnach kruchych. Istotnym jednak kryterium charakteryzującym właściwości fizyczno - mechaniczne gruntów niespoistych jest ich skład ziarnowy. Na podstawie tego też założenia w mechanice gruntów sklasyfikowano grunty, tzn. podzielono je na rodzaje odpowiednio do ich składu ziarnowego.

Wnioski o właściwościach technicznych gruntów wyciągane z ich składu mechanicznego zachowują jednak słusność tylko do pewnego stopnia rozdrobnienia ich cząsteczek.

Dla ilów i innych gruntów spoistych, tj. dla gruntów zawierających pewien procent cząsteczek ilowych i koloidalnych o wymiarach mniejszych od 2μ (0,002 mm), sam skład mechaniczny nie daje dostatecznej podstawy do oceny ich właściwości geotechnicznych.

Grunty spoiste o podobnym składzie ziarnowym, a nawet o tej samej zawartości cząsteczek ilowych i koloidalnych mogą wykazywać bardzo znaczne różnice właściwości technicznych, zależnie od składu mineralnego i siatki krystalicznej tych cząsteczek. Różnice te będą tym znaczniejsze, im więcej takich cząsteczek grunt zawiera; największe różnice będą zatem wykazywać ility, mniejsze gliny, a najmniejsze pyły spoiste.

Jak znaczne mogą być rozbieżności granic plastyczności i wskaźnika plastyczności tego samego rodzaju iltu, o tym orientuje nas tabela nr I zestawiona na wynikach dokładnych badań. Z tabeli tej weźmy pod uwagę np. grupę złożoną z siedmiu prób iltu o tej samej procentowej zawartości substancji ilowej i = 50%. Granica plastyczności wynosi 18,7% do 28,7%, granica płynności od 67,7% do 104,3%, a współczynnik α wyrażający stosunek wskaźnika plastyczności do procentowej zawartości cząsteczek mniejszych od 2μ , oscyluje w granicach od 0,894 do 1,512.

Przy porównywaniu większej ilości prób rozbieżności te okazałyby się jeszcze większe. Wartości podane w tabeli I zostały wyznaczone z 61 prób iltów plioceńskich, pobranych w okolicy Bydgoszczy, na obszarze ok. 150 ha. Porównanie różnych rodzajów iltów występujących na ziemiach Polski, a różniących się między sobą składem mineralnym jak i układem strukturalnym wykaże, nawet przy tym samym składzie mechanicznym, skrajne rozbieżności ich cech fizycznych i mechanicznych.

Tabela I. Zależność między wskaźnikiem plastyczności W i procentową zawartością cząsteczek mniejszych od 2 μ

L p.	Punkt	Nr tab.	Gra-nica pla-stycz.	Gra-nica płynn.	Wskaźnik plast. W	Procentowa zawartość cząstek < 2 μ	$\alpha = \frac{W}{i}$
1	8	11521	21,9	65,4	43,5	41	1,061
2	47	11642	29,1	88,7	59,6	44	1,355
3	51	11647	24,8	77,7	52,9	44	1,202
4	59	11658	19,4	66,6	47,2	44	1,073
5	68	11662	20,4	68,2	47,8	44	1,086
6	9	11522	25,3	80,7	55,4	45	1,231
7	11	11525	25,6	91,3	65,7	45	1,460
8	3	11512	35,6	105,3	69,7	46	1,515
9	12	11526	28,4	105,6	77,2	46	1,678
10	81	11556	27,2	86,9	59,7	46	1,298
11	43	11629	22,2	73,2	51,0	47	1,085
12	49	11644	21,4	66,5	45,1	47	0,917
13	55	11654	27,3	87,8	60,5	47	1,288
14	28	11550	32,0	103,9	71,9	48	1,498
15	42	11628	11,9	83,0	71,1	48	1,481
16	44	11630	19,5	76,4	56,9	48	1,185
17	60	11660	26,5	70,4	43,9	48	0,914
18	61	11661	24,3	81,0	56,7	48	1,181
19	5	11515	24,2	84,9	60,7	49	1,238
20	45	11634	22,9	73,8	50,9	49	1,039
21	18	11529	28,7	104,3	75,6	50	1,512
22	22	11539	26,3	92,8	66,5	50	1,330
23	23	11541	28,8	95,0	66,2	50	1,324
24	46	11640	23,9	76,4	52,5	50	1,050
25	54	11653	18,7	67,7	49,0	50	0,980
26	57	11656	24,5	84,3	59,8	50	1,196
27	58	11657	25,4	70,1	44,7	50	0,894
28	27	11548	30,5	102,6	72,1	51	1,414
29	50	11645	27,6	87,7	60,1	51	1,178
30	52	11650	21,6	72,3	50,7	52	0,975
31	63	11665	24,0	79,2	55,2	52	1,058
32	14	11530	26,1	95,6	69,5	53	1,311
33	21	11538	29,1	99,4	70,3	53	1,323
34	30	11554	31,2	105,3	74,1	53	1,396
35	38	11666	27,5	73,0	45,5	53	0,858
36	48	11643	24,1	85,6	61,5	53	1,160
37	53	11651	28,5	75,4	51,9	53	0,980

L p.	Punkt	Nr tab.	Gra-nica pla-stycz.	Gra-nica płynn.	Wskaźnik plast. W	Procentowa zawartość cząstek < 2 μ	$\alpha = \frac{W}{i}$
38	33	11558	29,9	93,5	63,6	54	1,178
39	56	11655	29,6	84,1	54,5	54	1,009
40	7	11519	28,2	104,6	76,4	55	1,389
41	35	11560	27,9	72,3	44,4	55	0,807
42	19	11535	26,9	97,5	70,6	56	1,261
43	24	11545	29,8	100,3	70,5	56	1,260
44	29	11552	26,6	88,1	62,5	56	1,116
45	32	11557	32,6	108,5	75,9	56	1,355
46	37	11565	32,1	92,6	60,5	56	1,071
47	40	11568	32,5	92,9	60,4	57	1,059
48	20	14537	27,0	95,8	68,8	59	1,166
49	10	11523	32,8	102,3	69,7	60	1,161
50	36	11564	27,6	80,1	52,5	60	0,875
51	4	14513	33,3	104,5	71,3	61	1,168
52	15	11531	30,5	101,4	70,9	61	1,162
53	18	11534	26,2	110,1	83,9	61	1,359
54	17	11533	24,8	105,9	81,1	62	1,308
55	34	11559	32,6	102,5	69,9	62	1,127
56	16	11532	30,4	91,0	60,6	64	0,946
57	39	11567	32,3	104,9	72,6	64	1,134
58	41	11569	31,9	101,0	69,1	64	1,079
59	6	11517	29,1	97,1	68,0	66	1,030
60	26	11547	26,9	74,6	47,7	66	0,723
61	25	11546	25,6	105,7	80,1	68	1,176
Wartości ekstremalne			33,3	110,1	83,9	68	1,515
			18,7	65,4	43,5	41	0,723
Różnica			14,6	44,7	40,4	27	0,792
Wartość większa w % wartości mniejszej			178	169	193	166	210

ILEY I GRUNTY ILASTE

W mechanice gruntów pod nazwą łąw ro-zumiemy grunty zawierające więcej niż 30% cząsteczek mniejszych od 2 μ i określoną ilość frakcji pyłowej i piaskowej.

Według projektu nowej normy PN/B — 02480 wyróżniamy w mechanice gruntów następujące rodzaje gruntów ilastych.

Tabela II.

Nazwa gruntu	Zawartość frakcji w % %		
	2,0—0,05 mm	0,05—0,002 mm	<0,002 mm
II piaszczysty	50— 70	0 — 20	30 — 50
II	0 — 50	0 — 50	30 — 100
II pylasty	0 — 20	50 — 70	30 — 50

Minerały ilaste. Pod nazwą minerały ilaste rozumiemy minerały glino-krzemianowe oraz żelazowo lub magnezowo-krzemianowe rozdrobione do wymiarów poniżej 0,002 mm. Głównymi przedstawicielami tych minerałów są: kaolinit, haloizyt, montmorylonit, saponit, bejdelit, miki i in.

Do minerałów ilastych można również zaliczyć rozdrobione minerały tlenkowe, jak: hematyt, getyt, hydrogetyt, limonit i in. towarzyszące w pewnych warunkach minerałom ilastym wchodzącym w skład gruntów ilastych.

Skład mineralny gruntów ilastych i ich powstawanie. Grunty ilaste powstały w wyniku wietrzenia chemicznego i mechanicznego skał pierwotnych: skaleni, miki, chlorytów, amfiboli, piroksenów i in. Podczas transportu materiału zwietrzałego przez wodę zachodzi jego dalsze rozkruszenie, rozmywanie i przemieszanie. Przy osadzaniu drobnych cząsteczek w środowiskach

wód spokojnych następuje ich segregacja według wielkości ziaren i ciężaru właściwego. W konsekwencji tego powstają osady złożone z ziarenek o zbliżonych wymiarach i zbliżonym ciężarze, lecz o różnym składzie mineralnym.

W określeniu mineralogicznym grunty ilaste są mieszaniną różnych minerałów o różnym układzie strukturalnym zależnie od warunków ich sedymentacji i innych warunków.

Każdy minerał, wchodzący w skład tej mieszaniny, ma odrębne właściwości fizyczne i mechaniczne. Zwykle przeważają jednak jeden lub dwa minerały, o wybitnie różnych właściwościach od właściwości pozostałych części składowych, i one decydują o właściwościach technicznych danego gruntu ilastego.

Według tych decydujących minerałów składowych lub według ich cech charakterystycznych należy grunty ilaste podzielić na pewne kategorie. Za koniecznością takiego podziału przemawia olbrzymia rozbieżność właściwości technicznych gruntów ilastych o tym samym składzie ziarnowym.

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE I MECHANICZNE GRUNTÓW ILASTYCH

Małe wymiary cząsteczek minerałów ilastych, kształt blaszkowaty i budowa przestrzenna ich sieci krystalicznej nadają gruntom ilastym szczególne właściwości, jak: spoistość, plastyczność i zdolność do pęcznienia. Właściwościami tymi grunty ilaste wyróżniają się wybitnie od gruntów niespoistych.

Fizyczno-chemiczna aktywność cząsteczek ilastych. Cząsteczki ilaste złożone są z drobniutkich kryształków, zbudowanych z jeszcze drobniejszych, elektrycznie naładowanych cząsteczek, jonów. Jony, znajdujące się wewnątrz kryształku, są dookoła otoczone jonami sąsiadującymi. Wewnątrz kryształków panuje równowaga sił wzajemnego przyciągania jonów. Jonom natomiast znajdującym się na powierzchni kryształka brak pełnego otoczenia jonami, wskutek tego występują tu siły nienasycone, powierzchnia kryształka staje się aktywna, tj. zdolna do przyciągania jonów z sąsiadującego środowiska.

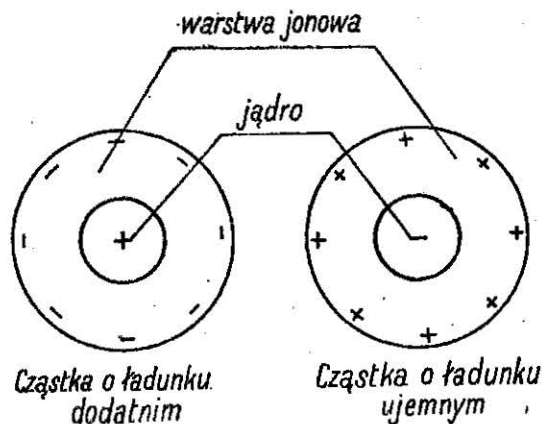
Fizyczno-chemiczna aktywność substancji ilastej jest tym większa, im większa jest powierzchnia jej cząsteczek, tzn. im drobniejsze są te cząsteczki.

Budowa cząsteczek koloidalnych. Do utworów koloidalnych występujących w gruntach spoistych zaliczamy cząsteczki mineralne i organiczne o wymiarach poniżej 0,001 mm.

Każda cząsteczka koloidalna składa się z drobniutkiego jądra naładowanego dodatnio lub ujemnie oraz z warstwy jonów. Jądro cząsteczki zbudowane jest z jednej lub wielu cząsteczek jednego lub kilku związków chemicznych. Jądro może mieć budowę zbitą lub porowatą. Jądra o budowie porowatej rozporządzają dużą powierzchnią wewnętrzną.

Warstwa jonowa otaczająca jądro składa się z powłoki wewnętrznej, silnie związanej z jądrem, oraz z zewnętrznej warstwy jonów, o ładunku elektrycznym przeciwnym ładunkowi powłoki wewnętrznej.

Jony powłoki zewnętrznej są luźniej związane z powłoką wewnętrzną i mają zdolność wymiany na jony o tym samym znaku znajdujące się w ośrodku dyspersyjnym. Cząsteczki koloidalne o ujemnym ładunku elektrycznym mają zewnętrzną powłokę składającą się z jonów dodatnich, kationów. Cząsteczki koloidalne zaś o znaku dodatnim mają zewnętrzną powłokę złożoną z jonów ujemnych, anionów. Cząsteczki koloidalne o znaku ujemnym przyciągają z ośrodka dyspersyjnego kationy, natomiast cząsteczki dodatnie przyciągają aniony.



Ryc. 1

Pomiędzy wewnętrzną i zewnętrzną powłoką jonów cząstki koloidalnej istnieje różnica potencjału, która decyduje o trwałości układu koloidalnego.

Sieć krystaliczna minerałów ilastych. Układ atomów czy też jonów poszczególnych pierwiastków tworzy pewną sieć geometryczną, powtarzającą się regularnie w przestrzeni. Kryształy pierwiastków mogą mieć pojedyncze sieci przestrzenne lub też sieci złożone z dwu lub większej ilości sieci geometrycznie identycznych, a nałożonych na siebie w pewien określony sposób.

Rodzaj sieci krystalicznej minerałów zależy od ich składu chemicznego. Minerale o skomplikowanym składzie chemicznym, jakimi są np. glinokrzemiany, mają skomplikowaną strukturę krystaliczną.

Im prostsza jest budowa chemiczna minerału, tym większa jest możliwość powiązania jego elementów składowych, tym większa jest jego wytrzymałość i twardość.

Mamy kryształy, w których płaszczyzny siatki są sztywno powiązane w siatkę przestrzenną, oraz kryształy, w których powiązanie to jest elastyczne. Stosownie do tego wyróżniamy strukturalnie sztywne i strukturalnie elastyczne siatki krystaliczne.

Wytrzymałość kryształu zależy nie tylko od rodzaju siatki krystalicznej i stopnia powiązania

jego elementów, lecz także od zagęszczenia atomów. Zagęszczenie atomów zwiększa odporność kryształu na wpływy fizyczne i chemiczne.

Wodochłonność minerałów. Woda higroskopijna otaczająca poszczególne ziarenka minerałów podlega dużym siłom wiążącym nienasyconych powierzchni granicznych. Powiązanie to i zagęszczenie zależy od mineralno-chemicznej chłonności minerałów. Wewnątrz zwarty kwarc nie wykazuje wodochłonności. Grunty nasycone sodem odznaczają się dużą wodochłonnością i małą przepuszczalnością w przeciwieństwie do gruntów nasyconych kationami wapnia, które wykazują małą wodochłonność i dużą przepuszczalność.

Pęcznienie gruntów ilastych. Proces pęcznienia spowodowany jest zdolnością cząsteczek o strukturze elastycznej do otaczania się wodą, a w pewnej mierze i do wchłaniania wody, co powoduje zwiększenie ich objętości. Wchłanianie wody odbywa się wskutek przyciągania jej cząsteczek przez jony warstwy jonowej cząsteczek koloidalnych i ilastych. Wskutek przyboru wody powłoki wodne grubieją i cząsteczki rozsuwają się.

Cząsteczki łowe o budowie ściślej, jak np. kaolinit, wiążą wodę tylko na swej powierzchni zewnętrznej, cząsteczkę zaś o budowie nieściślej typu montmorylonitu wiążą wodę także na powierzchniach wewnętrznych, co powoduje ich wewnętrzno-krystaliczne pęcznienie. Przy równym dopływie wody montmorylonit nasiąka znacznie więcej niż kaolinit.

Zwiększenie objętości minerałów wskutek dopływu wody oznacza osłabienie ich dotychczasowej siatki krystalicznej, zmniejszenie jej stateczności, w konsekwencji tego zmniejszenie wytrzymałości i twardości minerału.

Woda zgromadzona w przestrzeniach minerałów wewnętrznie nieszywnych zmienia istotnie wszystkie ich właściwości wytrzymałościowe, jak również i gruntów, w których skład wchodzi także minerały.

ZALEŻNOŚĆ FIZYCZNO - MECHANICZNYCH CECH GRUNTÓW ILASTYCH OD ICH SKŁADU MINERALNEGO

Aby ustalić zależności fizyczno - mechanicznych cech gruntów ilastych od ich składu mineralnego, wykonał Endell¹ szereg badań na sztucznych mieszkach, składających się z minerałów ilastych rozdrobionych do wymiarów poniżej 0,002 mm.

Na podstawie wyników tych badań zestawiono poniższe tablice, obrazujące wybitny wpływ składu mineralnego gruntów ilastych na ich właściwości techniczne.

Zależność wodochłonności i granic konsystencji² od składu mineralnego gruntów ilastych.

Tabela III. Wodochłonność i granice konsystencji składowych minerałów ilastych

Mineral	Granica plastyczności	Granica płynności	Wskaźnik plast. W	Wodochłonność w % suchej masy	$\frac{W}{i}$
Na-bentonit	47,0	475,0	428,0	700	4,2
Ca-bentonit	49,5	140,6	91,0	300	0,91
Kaolinit	35,7	65,0	29,0	70	0,29
Kwarc	—	—	—	30	—

i — oznacza procentową zawartość cząsteczek mniejszych od 0,002 mm. W danym wypadku i = 100%.

Tabela IV. Wodochłonność i granice konsystencji mieszanek bentonitu i kaolinitu z kwarcem

Mieszanina	Granica plastyczności	Granica płynności	Wskaźnik plast. W	Wodochłonność w % suchej wagi	$\frac{W}{i}$
50% Na-bentonitu 50% kwarcu	24	214	190	260	3,80
50% Ca-bentonitu 50% kwarcu	22	75	53	90	1,06
50% kaolinitu 50% kwarcu	13	22	9	48	0,18

Uziarnienie kwarcu: $0,2 \geq \phi \geq 0,002$ i = 50%.

Zależność wodoprzepuszczalności gruntów ilastych od ich składu mineralnego. Skład mineralny gruntów wywiera szczególnie wielki wpływ na ich wodoprzepuszczalność. Jak wielkie są różnice współczynnika filtracji minerałów ilastych, wykazuje tabela V.

² Granice konsystencji gruntów spoiwych według zasad Atterberga. Granicę plastyczności (L_p) określa największa zawartość wody w gruncie, podana w procentach ciężaru jego suchej masy, przy której próbka gruntu rozwałkowana w wałeczek o średnicy 3 mm zaczyna się kruszyć.

Granice płynności (L_{pl}) gruntu określa największą zawartość wody w gruncie podana w procentach ciężaru jego suchej masy, przy której próbka gruntu umieszczona w miseczce aparatu Casagrande i rozdzielona bruzdą o przepisanych wymiarach na dwie części, pod wpływem 25 wstrząsów zlewa się na długości 10 — 12 mm.

Różnicę między procentową zawartością wody przy granicy płynności i przy granicy plastyczności nazywamy wskaźnikiem plastyczności (W), a więc: $W = L_{pl} - L_p$

¹ Zenon Witum: Gruntoznawstwo drogowe Warszawa 1947, Instytut Badawczy Budownictwa, s. 224.

Karl Keil: Ingenieurgeologie und Geotechnik, 1951, str. 105 — 110.

Tabela V. Współczynnik filtracji minerałów ilastych

Minerał	Współczynnik filtracji k cm/nim.	Czas przepływu wody na głębokość 1 cm
Na-bentonit	10^{-8}	190 lat
Ca-bentonit	10^{-7}	19 lat
Kaolinit	10^{-5}	23 miesiące
Mączka kwarcowa	10^{-3}	17 godzin
90% kwarcu + 10% Na-bent	10^{-7}	19 lat

Teoretycznie, przy założeniu, że woda nie wyparuje i przy spadku hydraulicznym $I = 1$, woda przecieknie w bentonit sodowy na głębokość 1 cm po upływie 190 lat, natomiast w mączkę kwarcową w ciągu 17 godzin. Wodoprzepuszczalność mączki kwarcowej jest tysiąc razy większa niż wodoprzepuszczalność mączki kaolinitu i sto tysięcy razy większa niż przepuszczalność bentonitu sodowego.

Mały dodatek substancji ilowej do kwarcu zmniejsza gwałtownie jego wodoprzepuszczalność, zależnie od składu chemicznego i tu i rozdrobnienia kwarcu. Np. 10% dodatku bentonitu sodowego do mączki kwarcowej o rozdrobnieniu poniżej 0,2 mm zmniejsza jej przepuszczalność z 10^{-3} cm/min., na 10^{-7} cm/min., tj. dziesięć tysięcy razy, a czas przepływu na głębokość 1 cm wzrasta z 17 godzin na 19 lat.

Zależność kąta tarcia wewnętrznego gruntów ilastych od ich składu mineralnego.

Tabela VI. Kąt tarcia wewnętrznego minerałów ilastych

Minerał	Kąt tarcia wewnętrznego	
	tg ρ	ρ w stopniach
Kwarc	0,84	40
Kaolinit	0,40	22
50% kaolinitu 50% kwarcu	0,68	34
50% Ca-bentonitu 50% kwarcu	0,39	21

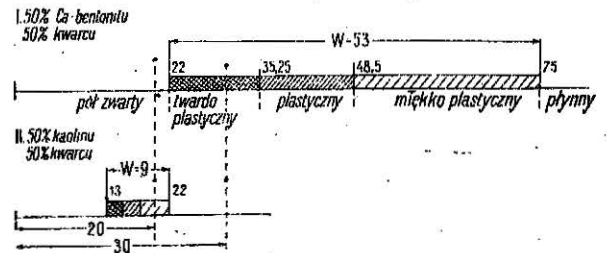
Zawartość kwarcu w gruntach ilastych zwiększa ich kąt tarcia wewnętrznego i to tym więcej, im grubsze jest uziarnienie kwarcu,

WPŁYW SKŁADU MINERALNEGO GRUNTÓW ILASTYCH NA ICH CECHY TECHNICZNE

Skład mineralny gruntów ilastych wywiera istotny wpływ na wszystkie ich właściwości techniczne, jak: spoiistość, plastyczność, kąt tarcia wewnętrznego, wytrzymałość, przepuszczalność wody, pęcznienie, ścisłość, szybkość osiadania, skłonność do zsuwów i in.

WAŻNOŚĆ WSKAŹNIKA PLASTYCZNOŚCI DLA OCENY CECH TECHNICZNYCH GRUNTÓW ILASTYCH

Stopień plastyczności gruntów ilastych o tej samej procentowej zawartości wody zależy nie tylko od ich składu mechanicznego, lecz również, i to w wysokim stopniu, od ich składu mineralnego. Grunty ilaste o tym samym składzie mechanicznym i o tym samym stopniu plastyczności, zależnie od swego składu mineralnego, mogą zawierać procentowo różne ilości wody. Z cyfrowej wartości wilgotności gruntu, nie znając jego składu mineralnego, nie można określić jego stopnia plastyczności. Przedstawimy to obrazowo dla jednego ze skrajnych wypadków.



Ryc. 2

Ryc. 2 przedstawia granice plastyczności dwu sztucznie utworzonych gruntów o tym samym składzie mechanicznym, lecz o różnym składzie mineralnym. Grunt I przy wilgotności np. 30% jest twardo plastyczny, natomiast grunt II przy tej samej wilgotności jest już płynny. Przy wilgotności np. 20% grunt II jest płynny, grunt I natomiast jest pół zwały.

Skład mechaniczny i konsystencja gruntu nie charakteryzują w dostateczny sposób jego właściwości fizyczno-mechanicznych. Niezbędnym wskaźnikiem do oceny charakterystycznych cech gruntów ilastych, szczególnie w przypadku gdy nie znamy dokładnie ich składu mineralnego, jest ich wskaźnik plastyczności. Na wskaźnik ten należy w mechanice gruntów zwrócić szczególną uwagę, gdyż w praktyce jest on wielokrotnie mało wykorzystywany.

Duży wskaźnik plastyczności gruntów ilastych, jakim odznaczają się np. grunty, w których skład wchodzi montmorylonit, wskazują na ich dużą wodochłonność. Wytrzymałość takich gruntów jest zmienna. W stanie suchym mają one znaczną wytrzymałość, przy dostępie wody jednak zatracają ją i wykazują skłonność do zsuwu.

PODZIAŁ GRUNTÓW ILASTYCH NA KATEGORIE

Konieczność podziału gruntów ilastych na kategorie. Wpływ składu mineralnego gruntów ilastych na ich właściwości fizyczne i mechaniczne jest tak istotny, że nie można go pominąć przy określeniu budowlano - technicznej wartości gruntów.

Wartości tabelaryczne, mające wskazywać cechy techniczne gruntów a nie zróżnicowane stosownie do ich składu mineralnego, są odnośnie do gruntów ilastych bardzo nieściśle i mogą prowadzić do błędnej oceny gruntu.

Z uwagi na dużą rozpiętość właściwości fizycznych i mechanicznych ilów i innych gruntów spoiстых, przy ustalaniu ich dopuszczalnych obciążeń podanych w polskiej normie, jak i w normach zagranicznych, przyjęto duży współczynnik bezpieczeństwa. W wyniku tego w wielu wypadkach przyjmujemy do wymiarowania fundamentów obiektów budowlanych za małe wartości dla dopuszczalnego obciążenia gruntu, nie wykorzystując rzeczywistych dobrych warunków gruntowych.

Dla poszczególnych rodzajów gruntów ilastych należy ustalić pewien podział na kategorie, zależnie od ich składu mineralnego. Kategorie te będą się między sobą różniły zależnie od swych przewodnich minerałów, tj. od tych minerałów, które decydują o własnościach technicznych danej kategorii.

Dla każdej kategorii należy ustalić jej wskaźnik rozpoznawczy jako też jej charakterystyczne cechy techniczne.

Przy ustaleniu dopuszczalnych obciążeń dla poszczególnych kategorii gruntu wystarczyłby mniejszy współczynnik bezpieczeństwa, co zezwalałoby na lepsze wykorzystanie nośności gruntów, a tym samym zmniejszyłoby koszty budowy.

Opracowanie metod podziału gruntów ilastych na kategorie i rozpoznawanie głównych ich minerałów przewodnich da również poważne korzyści dla geologicznych badań skał ilastych.

Badania składu mineralnego ilastych skał osadowych ma duże znaczenie przy podziale ich rodzaju na poziomy stratygraficzne, jak również przy określaniu warunków ich powstawania. Dotyczy to szczególnie wypadków, gdy badane skały osadowe paleontologicznie nie są wcale lub są niedostatecznie scharakteryzowane.

Znając skład mineralny badanych osadów ilastych, można określić warunki, w jakich one powstawały.

OPRACOWANIE METOD PODZIAŁU GRUNTÓW ILASTYCH NA KATEGORIE

Ustalenie jakościowego i ilościowego składu mineralnego gruntów ilastych za pomocą analizy chemicznej albo termicznej lub metodą promieni rentgenowskich jest skomplikowane, wymaga kwalifikowanego personelu i jest zbyt czasochłonne, by mogło być stosowane przez laboratoria wykonujące badania wielkich ilości prób gruntu dla budownictwa. Dlatego wskaza-

ne jest opracowanie metody technicznie prostej, szybkiej i do celów praktycznych dostatecznie dokładnej.

W rozwiązaniu tego zadania przychodzi nam z pomocą sam grunt, gdyż swym zachowaniem się w zetknięciu z wodą daje podstawy do wnioskowania o jego składzie mineralnym.

Znając właściwości fizyczno-mechaniczne poszczególnych minerałów ilastych, możemy (po ustaleniu tych samych właściwości badanego gruntu) wyciągnąć pewne wnioski o jego składzie mineralnym i jego właściwościach technicznych. Np. zbadana próbka gruntu wykazała wskaźnik plastyczności 90%. Wiemy, że wskaźnik plastyczności kaolinu nie przekracza 30%. Wyższy wskaźnik mają grunty ilaste zawierające minerały ilaste typu montmorylonitu lub koloidalne cząsteczki organiczne. Sam wskaźnik plastyczności nie określa nam wystarczająco składu mineralnego danego gruntu, natomiast zezwala na pewne wnioski co do jego właściwości technicznych. I tak grunt przytoczonego przykładu należy zaliczyć do gruntów wężniejących, o wodochłonności znacznie większej od wodochłonności kaolinu, to jest powyżej 70%, o małej przepuszczalności wody i pewnej skłonności do zsuwu. Osiedlanie przy większej zawartości wody będzie znaczne i będzie miało przebieg powolny.

Dokładniejsze określenie składu mineralnego danego gruntu wymaga dalszych porównań jego właściwości fizycznych i mechanicznych z odpowiednimi właściwościami poszczególnych minerałów ilastych.

W celu przeprowadzenia podziału poszczególnych rodzajów gruntów ilastych na kategorie, zależnie od ich cech technicznych związanych z ich składem mineralnym, należy dla większej ilości prób danego gruntu ilastego ustalić ich cechy techniczne jako też ich skład mineralny. Ze względu na znaczną ilość prób wskazane jest zastosowanie metody kolorymetrycznej³. Porównanie wyników badań mechanicznych z wynikami badań składu mineralnego umożliwi podział danego rodzaju ilu na kategorie i ustalenie wskaźników rozpoznawczych dla poszczególnych kategorii.

Jako wskaźniki rozpoznawcze należy obrać te właściwości techniczne gruntu, które można laboratoryjnie łatwo i szybko określić, jak: skład mechaniczny, granice plastyczności, wskaźnik plastyczności, wodochłonność, szybkość osiedlania itp.

Współczynnik filtracji mógłby być bardzo pomocny do określenia kategorii gruntu, jednak jego wyznaczenie jest kłopotliwe i nieściśle.

Podział na kategorie według współczynnika $\alpha = \frac{W}{i}$

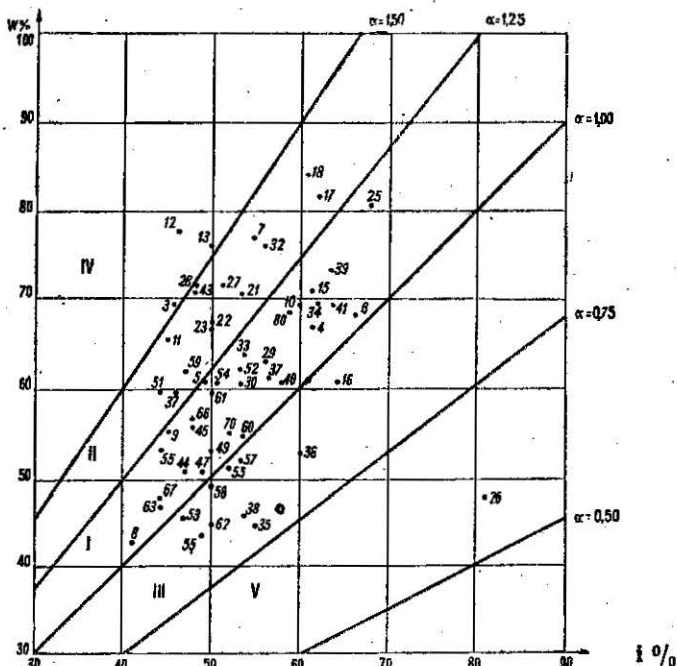
Przy opracowaniu podziału gruntów ilastych na kategorie i ustalaniu wskaźników rozpoznawczych dla poszczególnych kategorii bardzo pomocny może być współczynnik α , wyrażający

³ Metoda ta została przez Wiedeniejewą uproszczona i jest stosowana w ZSRR.

stosunek wskaźnika plastyczności do procentowej zawartości cząstek ilastych i koloidalnych.

Za wyborem tego współczynnika jako rozpoznawczego kryterium przemawia fakt, że charakterystyczne cechy gruntów ilastych zależą w wysokim stopniu zarówno od ich wskaźnika plastyczności, jak i procentowej zawartości minerałów ilastych. Przy tym współczynnik ten ma te zalety, że jest łatwo wyznaczalny i do jego oznaczenia wystarczą próbki o strukturze naruszonej i bez zabezpieczenia przed utratą naturalnej wilgotności.

Na ryc. 3 naniesiono w układzie osi współrzędnych (W , i), poszczególne próbki gruntów według wyników badań podanych w tabelicy I.



Ryc. 3

Zależność między wskaźnikiem plastyczności i procentową zawartością cząstek ilastych.

Na wykresie tym widzimy, że przeważna część zbadanych prób ilów grupuje się w strefach I i II, tj. między współczynnikami $\alpha \approx 1,0$ do $\alpha = 1,50$ — nieco mniej w strefie III, tj. między $\alpha = 0,75$ do $\alpha = 1,0$. Strefy IV i V natomiast przedstawiają wypadki skrajne.

Dla serii drugiej obejmującej 41 prób ilów płoceńskich, której tu nie podajemy, ugrupowanie prób jest analogiczne.

Rozproszenie prób na poszczególne strefy ograniczone prostymi $W = I \cdot \alpha$ spowodowane jest różnicami ich składu mineralnego, strefy te przedstawiają więc pewne kategorie ilów.

Skład mineralny oraz właściwości fizyczno-mechaniczne prób należących do poszczególnych kategorii zostaną wyznaczone.

Jeżeli badanie próbki danego gruntu wykazuje np. $W = 66,5\%$ i $i = 50\%$, to obliczamy

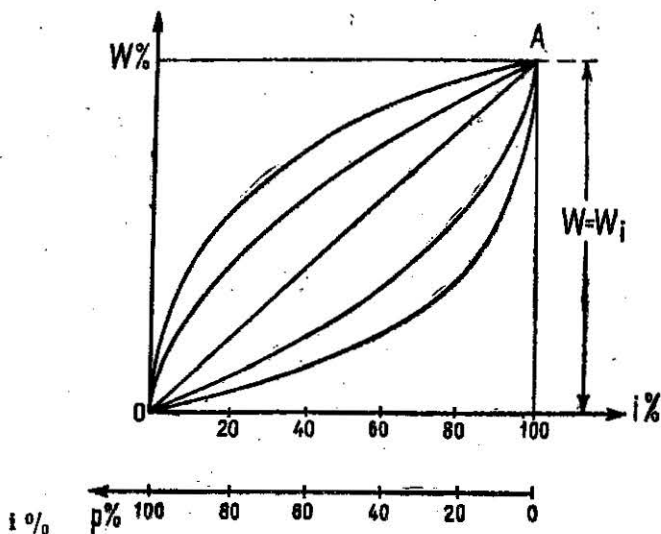
$$\alpha = \frac{W}{i} = \frac{66,5}{50} = 1,330$$

Wartość ta leży między $\alpha = 1,25$ i $\alpha = 1,50$, zatem badany il zaliczamy do kategorii II. Znając charakterystyczne właściwości fizyczno-techniczne ilów, jakie kategoria ta reprezentuje, możemy wyciągnąć konkretniejsze wnioski o właściwościach technicznych badanego gruntu.

Podział na kategorie według zależności $W = f(W_i, i)$. Drugi sposób podziału ilów na kategorie można opracować na podstawie zależności $W = f(W_i, i)$. Przy czym W_i oznacza wskaźnik plastyczności substancji ilastej i koloidalnej o cząsteczkach mniejszych od 0,002 mm, i oznacza procentową zawartość tej substancji w danym gruncie ilastym, zaś W oznacza wskaźnik plastyczności gruntu składającego się z substancji ilastej oraz pyłu i piasku.

Ustalimy przybliżoną matematyczną zależność między wielkościami W , W_i , i .

Wskaźnik plastyczności danej substancji ilastej, po wydzieleniu cząstek większych od



Ryc. 4

0,002 mm, wynosi W_i , tzn. dla $i = 100\%$ $W = W_i$. Jeżeli wartości te naniesiemy w układ osi współrzędnych i , W (ryc. 4), to otrzymamy punkt A.

Jeżeli do substancji ilastej będziemy stopniowo dodawać uprzednio wydzielone cząsteczki większe od 0,002 mm, tj. pył i piasek, to wskaźnik plastyczności mieszanki będzie miał mniej lub więcej zależnie od składu mineralnego substancji ilastej i składu mechanicznego domieszki.

Wychodząc z założenia, że skład ziarnowy gruntów przedstawia graficznie krzywa ciągła, przyjmijmy zależność $W = f(W_i, i)$ za krzywą ciągłą. Krzywa ta musi spełnić dwa warunki brzegowe, tzn. musi przechodzić przez punkt A, gdyż dla $i = 100\%$ $W = W_i$, oraz przez początek układu, ponieważ dla $i = 0$, tj. dla samego pyłu i piasku $W = 0$. Najprostsze równanie takiej krzywej będzie: $i = A \cdot W^a$.

Krzywych takich przechodzących przez punkt A i przez początek układu osi współrzędnych możemy przeprowadzić dowolną ilość. Różnym

kategoriom gruntów ilastych, zależnie od ich składu mineralnego będą odpowiadały na wykresie punkty leżące w strefach ograniczonych takimi krzywymi.

Ustawimy równania dla dwóch takich krzywych, obierając za wykładnik potęgowy n równania ogólnego wartości $n = 2$ i $n = 3$.

I. Krzywa $i = AW^2$. Według założenia krzywa ta musi przechodzić przez punkty A i O, tzn. wartości $i = 100$, $W = W_i$ muszą spełniać powyższe równanie, więc: $100 = A \cdot W_i^2$

$$A = \frac{100}{W_i^2}$$

wartość tę wstawiamy w równanie I

$$i = \frac{100}{W_i^2} \cdot W^2 \quad \frac{W^2}{W_i^2} = \frac{i}{100}$$

$$\frac{W}{W_i} = \eta = 0,1 \cdot \sqrt{i}$$

Krzywą tę oznaczono na ryc. 6 znakiem I.

II. Krzywa $i = A \cdot W^3$. Warunki brzegowe: dla $i = 100$ $W = W_i$. Wartości te wstawiamy w równanie II

$$100 = A \cdot W_i^3 \quad A = \frac{100}{W_i^3}$$

wartość tę wstawiamy w równaniu II

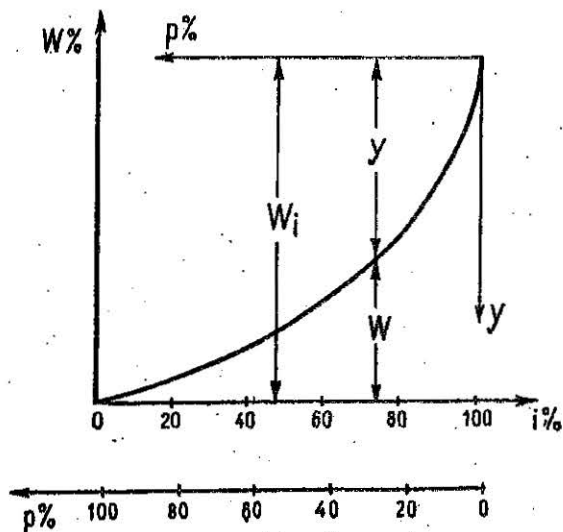
$$i = \frac{100}{W_i^3} \cdot W^3 \quad \frac{W^3}{W_i^3} = \frac{i}{100}$$

$$\frac{W}{W_i} = \eta = 0,216 \sqrt[3]{i}$$

Krzywa ta na ryc. 6.

Omawiane krzywe mogą leżeć również poniżej prostej AO (ryc. 4). Równanie tych krzywych ma najprostszą postać dla układu osi współrzędnych p, y , co pokazuje ryc. 5. W tym układzie osi współrzędnych równania krzywych, analogicznie do krzywych górnych mają ogólną postać: $p = A \cdot y^n$

Ustawimy równania tych krzywych dla $n = 1,5, 2$ i 3 .



Ryc. 5

III. Krzywa $p = A \cdot y^3$ Warunki brzegowe dla $p = 100\%$ (czysty pył i piasek) $y = W_i$ (ryc. 5). Wartości te wstawiamy w równanie III.

$$100 = A \cdot W_i^3 = A \cdot \sqrt[3]{W_i^3} \quad A = \frac{100}{\sqrt[3]{W_i^3}}$$

Wartość tę wstawiamy w równanie III

$$p = \frac{100}{\sqrt[3]{W_i^3}} \cdot \sqrt[3]{y^3} \quad \text{stad } \sqrt[3]{y^3} = \frac{p \cdot \sqrt[3]{W_i^3}}{100}$$

$$y^3 = \frac{p^3 \cdot W_i^3}{100^3}$$

$$y = W_i \cdot \sqrt[3]{\frac{p^3}{100^3}} = 0,045 W_i \cdot \sqrt[3]{p^3}$$

Z układu osi przechodzimy do układu W, i . W tym celu wstawiamy w ostatnie równanie za y i p wartości: $y = W_i - W$ $p = 100 - i$ (ryc. 5):

$$W_i - W = 0,045 \cdot W_i \sqrt[3]{(100 - i)^3}$$

$$\frac{W}{W_i} = \eta = \left[1 - 0,045 \cdot \sqrt[3]{(100 - i)^3} \right]$$

Krzywa III na ryc. 6.

IV. Krzywa $p = A \cdot y^2$. Te same warunki brzegowe jak dla krzywej III $p = 100$ $y = W_i$. Wartości te wstawiamy w równanie IV.

$$100 = A \cdot W_i^2 \quad A = \frac{100}{W_i^2} \quad p = \frac{100}{W_i^2} \cdot y^2$$

$$y^2 = W_i^2 \cdot \frac{p}{100} \quad y = 0,1 \cdot W_i \sqrt{p}$$

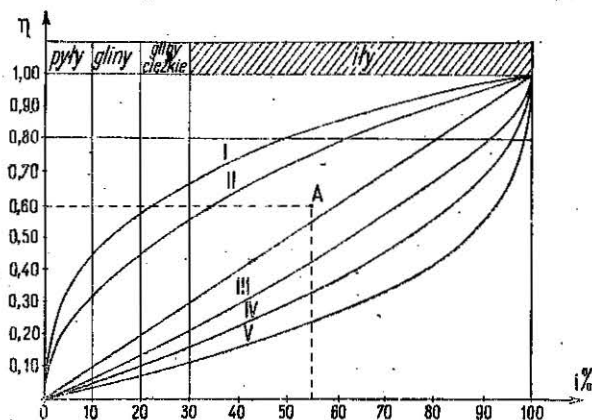
Przechodzimy do układu osi współrzędnych W, i . W tym celu w ostatnie równanie za y i p wstawiamy wartości: $y = W_i - W$ $p = 100 - i$

$$W_i - W = 0,1 \cdot W_i \sqrt{100 - i}$$

$$W_i [1 - 0,1 \sqrt{100 - i}] = W$$

$$\frac{W}{W_i} = \eta = [1 - 0,1 \cdot \sqrt{100 - i}]$$

Krzywą tę oznaczono na ryc. 6 znakiem IV.



Ryc. 6

V. Krzywa $p = A \cdot y^3$. Ten sam tok postępowania jak dla krzywych III i IV.

$$100 = A \cdot W_i^3 \quad A = \frac{100}{W_i^3}$$

$$p = \frac{100}{W_i^3} \cdot y^3 \quad y^3 = W_i^3 \cdot \frac{p}{100}$$

$$y = W_i \cdot \frac{\sqrt[3]{p}}{\sqrt[3]{100}} = 0,216 \cdot W_i \cdot \sqrt[3]{p}$$

$$W_i - W = 0,216 \cdot W_i \cdot \sqrt[3]{100 - i}$$

$$W_i [1 - 0,216 \cdot \sqrt[3]{100 - i}] = W$$

$$\frac{W}{W_i} = \eta = [1 - 0,216 \cdot \sqrt[3]{100 - i}]$$

Równaniu temu odpowiada krzywa V na ryc. 6.

Np. badana próbka gruntu ilastego wykazała wartości $i = 55\%$, $W = 65\%$, a odsortowana część jej substancji ilastej $W_i = 110\%$. Mając

te dane obliczamy współczynnik $\eta = \frac{W}{W_i} = \frac{65}{110} = 0,59$.

Nanosząc współrzędne $i = 55\%$ $\eta = 0,59$ w wykres ryc. 6, otrzymamy punkt A. Punkt ten leży między krzywymi II i III. Znając kategorię ility, która zajmuje strefę pomiędzy tymi krzywymi oraz skład mineralny i właściwości fizyczne i mechaniczne tej kategorii ility, możemy określić skład mineralny oraz charakterystyczne cechy techniczne badanego gruntu.

RÓZnorodność GRUNTÓW ILASTYCH

ility i grunty ilaste, tj. ility pylaste i ility piaszczyste, zawierają 30% do 100% substancji ilastej (tabl. II). Ta duża rozpiętość zawartości substancji ilastej powoduje dużą różnorodność gruntów ilastych, wyróżniających się pomiędzy sobą właściwościami fizycznymi i mechanicznymi.

Gliny natomiast zawierają tylko 10% do 30% substancji ilastych i nie wykazują tak znacznych różnic cech technicznych jak ility. Na ryc. 6 widzimy, jak mała jest strefa glin w porównaniu ze strefą ility.

KOSZTY FUNDAMENTÓW OBIEKTÓW BUDOWLANYCH W ZALEŻNOŚCI OD WARUNKÓW GRUNTOWYCH

Jest rzeczą oczywistą, że koszty fundamentów zależą od nośności gruntu. Jednakowe obiekty wymagają różnych wymiarów lub różnych konstrukcji fundamentów, zależnie od gruntu ich posadowienia. Ogólnie ważnych wytycznych, wiążących koszty fundamentów z nośnością gruntów, nie można ustalić, gdyż zależy to od bardzo wielu czynników, jak: rodzaj i konstrukcja budowli, jej obciążenie, nośność gruntu, stosunki hydrogeologiczne i in. Każdy wypadek wymaga indywidualnego rozpatrzenia.

Dla ogólnego zorientowania się, jak znaczne oszczędności kosztów budowy można uzyskać przez należyte wykorzystanie nośności gruntu jej posadowienia, obliczymy ławę żelbetową posadowioną na gruntach różnej nośności.

ŁAWA ŻELBETOWA DLA MUŁU GRUBOŚCI 55 CM

$P = 24$ t/mb., obciążenie ławy murem. Obliczymy wymiary ławy oraz jej zbrojenie poprzeczne przy posadowieniu jej na gruntach o dopuszczalnym obciążeniu 1,50, 2,00 i 2,50 kg/cm².

Dopuszczalne obciążenie gruntu $p = 1,50$ kg/cm².
 $P = F \cdot p = 100 \cdot b$, powierzchnia podstawy ławy na 1 mb., w cm²

$$b = \frac{P}{100p} = \frac{24000}{150} = 160 \text{ cm}$$

Ze względu na to, że do siły P dochodzi jeszcze ciężar ławy i ziemi na niej leżącej, przyjmujemy $b = 170$ cm, $p^1 =$ nacisk ławy na grunt przy szerokości b

$$p^1 = \frac{24000}{100 \cdot 170} = 1,41 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{wysięg wspornika } s = \frac{170 - 55}{2} = 57,5 \text{ cm}$$

$$M = \frac{p^1 \cdot 100 \cdot s^2}{2} = \frac{1,41 \cdot 100 \cdot 57,5^2}{2} = 231\,420 \text{ kg cm}$$

$$h_1 = \beta \sqrt{\frac{M}{k_b}} \quad \text{dla } k_b = 30 \text{ kg/cm}^2$$

$$k_z = 1200 \text{ kg/cm}^2 \quad \beta = 0,519$$

$$h_1 = 0,519 \sqrt{\frac{231\,420}{100}} = 24,88 \text{ cm} \approx 25 \text{ cm}$$

$$h = h_1 + 5 = 30 \text{ cm}$$

$$F_z = \frac{M}{k_z \cdot 0,87 \cdot h_1} = \frac{231\,420}{1200 \cdot 0,87 \cdot 25} = 8,86 \text{ cm}^2$$

przyjmujemy 6 ϕ 14 $F_z = 9,42 \text{ cm}^2$

Długość wkładek $l = 6(1,70 + 0,20) = 11,4$ m/mb.

Ciężar wkładek $G = 11,4 \cdot 1,208 = 13,68$ kg/mb.

$$\text{Objętość ławy } V = 1,70 \cdot 0,15 +$$

$$+ \frac{1,70 + 0,55}{2} \cdot 0,15 = 0,423 \text{ m}^3/\text{mb}$$

Dopuszczalne obciążenie $p = 2,0$ kg/cm²; $p = 2,50$ kg/cm².

dla $p = 2,0$ kg/cm²

ciężar wkładek 6,48 kg/mb

objętość ławy 0,278 m³/mb

dla $p = 2,50$ kg/cm²

ciężar wkładek 3,96 kg/mb

objętość ławy 0,200 m³

Te same obliczenia, wykonane dla $P = 20$ t/mb i dla $P = 30$ t/mb, dają wyniki zestawione w tabeli VII.

Tabela VII. Zapotrzebowanie zbrojenia poprzecznego i betonu dla 1 mb ławy żelbetowej

Obciążenie ławy Pt/mb	Ilość zbrojenia kg/mb			Ilość betonu m ³ /mb		
	przy dopuszczalnym obciążeniu gruntu p w kg/cm ²					
	1,50	2,00	2,50	1,50	2,00	2,50
20	8,53	4,98	1,57	0,31	0,27	0,17
24	13,68	6,48	3,96	0,43	0,28	0,20
30	21,78	15,84	10,80	0,65	0,51	0,46

Z tabeli tej wynika, że lepsze wykorzystanie nośności gruntu o 0,50 kg/cm² obniża w przy-

toczonym wypadku zapotrzebowanie stali od 32% do 68%, betonu od 10% do 32%. Do tych oszczędności dochodzi zmniejszenie kosztów robocizny i kosztów dodatkowych. W pewnych wypadkach oszczędności te mogą być znacznie wyższe.

Przytoczony przykład przemawia za koniecznością opracowania podziału gruntów ilastych — jako gruntów wykazujących największe rozbieżności cech technicznych — na kategorie i określenia ich dopuszczalnych obciążeń. Umożliwi to ekonomiczniejsze fundamentowanie obiektów budowlanych, co w skali ogólnopństwowej przyniesie duże oszczędności.

Nadto podział na kategorie umożliwi ustalenie właściwych środków zaradczych przed ujemnym wpływem wód w podłożu budowlanym.