

Wincenty FORTUNAT

## Ciężar właściwy ilów

### WSTĘP

Ciężar właściwy badanych skał jest ważnym wskaźnikiem umożliwiającym wysnucie pewnych wniosków dotyczących ich składu mineralnego, a tym samym ich właściwości fizycznych i mechanicznych uwarunkowanych składem mineralnym.

Znajomość ciężaru właściwego badanych skał ułatwi geologowi rozwiązanie wielu zagadnień geologicznych i geologiczno-inżynierskich. Znajomość ciężaru właściwego jest nieodzowna do badań procesów sedymentacji skał osadowych. Ważnym wskaźnikiem jest ciężar właściwy również w badaniach mineralogicznych, petrograficznych i technologicznych.

W mechanice gruntów ciężar właściwy skał jest koniecznym środkiem pomocniczym do wielu obliczeń, jak: porowatość, wskaźnik porowatości, analiza sedymentacyjna, ciężar objętościowy, parcie na mury oporowe, obciążenie gruntu przez nasypy i inne.

Ciężar właściwy ilu oraz jego odmian pylastych i piaszczystych w porównaniu z ciężarem właściwym gruntów niespoistych ( $\approx 2,65$ ), waha się w szerokich granicach ( $2,40 \div 2,90$  i więcej) zależnie od składu mineralnego.

Celem pracy jest określenie wpływu domieszek organicznych jak i zawartości minerałów ciężkich na kształtowanie się ciężaru właściwego ilów. W zestawieniach tabelarycznych podano w celu informacyjnym ciężary właściwe ilów plioceńskich oraz ilów miocenijskich występujących na niektórych obszarach Polski. Wartości podane w tych tabelach zostały uzyskane z badań wykonanych przez Laboratorium Mechaniki Gruntów Zakładu Geologii Inżynierskiej, Zakład Mechaniki Gruntów i Fundamentowania Instytutu Techniki Budowlanej (badania geologiczno-techniczne terenu budowy Pałacu Kultury i Nauki w Warszawie), Laboratorium Mechaniki Gruntów i Fundamentowania Metroprojekt.

Do celów porównawczych podano ciężar właściwy bentonitów szwajcarskich oraz bentonitu bawarskiego i obliczono zawartość w nich minerałów ciężkich.

Ciężar właściwy ilów warwowych stanowić będzie przedmiot osobnych badań.

## ŚREDNI CIĘŻAR WŁAŚCIWY SZKIELETU GRUNTOWEGO (CZĄSTEK STAŁYCH GRUNTU)

Il, jak każdy grunt, jest mieszaniną cząstek złożonych z różnych minerałów, niekiedy z domieszką substancji organicznych. Każdy z tych minerałów oraz substancja organiczna mają na ogół inny ciężar właściwy. Ciężar właściwy szkieletu gruntowego oznaczony metodą laboratoryjną przedstawia średnią wielkość ciężarów właściwych jego stałych cząstek składowych.

Znając ciężar właściwy poszczególnych substancji tworzących cząstki składowe mieszaniny oraz ich wagową zawartość możemy obliczyć średni ciężar właściwy mieszaniny.

Wzór do obliczenia średniego ciężaru właściwego mieszaniny złożonej z cząstek utworzonych z substancji o różnym ciężarze właściwym wyprowadzimy wychodząc z definicji ciężaru właściwego.

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (1)$$

gdzie  $G$  oznacza ciężar cząstek stałych badanej próbki,  $V$  — ich objętość.

Wzór ten określa wartość ciężaru właściwego substancji jednorodnych pod względem ciężaru właściwego ich cząstek składowych. Dostosowujemy wzór ten do mieszaniny złożonej z cząstek utworzonych z substancji o różnym ciężarze właściwym.

Jeżeli ciężary właściwe poszczególnych substancji tworzących cząstki składowe mieszaniny oznaczmy przez

$$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3 \dots \gamma_n,$$

procentowe wagowe zawartości cząstek o jednakowym ciężarze właściwym przez

$$p_1, p_2, p_3 \dots p_n,$$

a objętości ich odpowiednio przez

$$V_1, V_2, V_3 \dots V_n,$$

to średni ciężar właściwy mieszaniny określi równanie

$$\gamma = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{V_1 + V_2 + \dots + V_n} = \frac{\sum p}{\sum V}$$

Ponieważ

$$\sum p = 100, \quad V = \frac{p}{\gamma},$$

przeto

$$\gamma = \frac{100}{\sum \frac{p}{\gamma}} \quad (2)$$

## CIĘŻAR WŁAŚCIWY ILÓW NA PODSTAWIE DANYCH Z PIŚMIENNICTWA

K. Terzaghi (1925) podaje, że w badaniach geotechnicznych obszaru Bosforu otrzymał dla ciężaru właściwego gruntów ilastych i gliniastych wielkości rzędu  $2,76 \div 2,93$ ; średnio  $2,85$ .

L. Bendel (1949) określa ciężar właściwy ilów wielkością  $2,7 \div 2,9$ , ciężar właściwy pyłów z domieszką substancji organicznych — wielkością  $2,4 \div 2,5$ , E. Schultze i H. Muhs (1950) podają dla ciężaru właściwego ilów i glin wielkości  $2,67 \div 2,75$ .

Duża rozbieżność ciężarów właściwych ilów — jak już we wstępie zaznaczono — pochodzi z różnorodności składu mineralnego, bardzo zróżnicowanego pod względem ciężaru właściwego i ilościowej zawartości poszczególnych składników.

Ciężar właściwy najczęściej u nas spotykanych utworów ilastych, bez domieszek substancji organicznych, wynosi  $2,67 \div 2,80$ . Ciężar właściwy ilów o dużej zawartości minerałów ciężkich może znacznie przekroczyć wielkość 2,80.

Spotykamy również utwory ilaste i gliniaste o ciężarze właściwym znacznie mniejszym od 2,67, co jest spowodowane przeważnie domieszką substancji organicznych.

Tabela 1

Ciężary właściwe ilów pliczeńskich Warszawa (Metro)

| Nr próbki   | Nr laboratoryjny | Głębokość pobrania próbki w m | Fracje w procentach |          |        |       | Ciężar właściwy $\gamma$ |
|---|------------------|-------------------------------|---------------------|----------|--------|-------|--------------------------|
|   |                  |                               | żwirowa             | piaskowa | pyłowa | iłowa |                          |
| 1   | 570 B            | 23,8                          | —                   | 20       | 41     | 39    | 2,72                     |
| 2   | S 3 a D          | 46,1                          | —                   | 10       | 45     | 45    | 2,72                     |
| 3   | 572              | 29,3                          | —                   | 20       | 43     | 37    | 2,74                     |
| 4   | 389              | 40,0                          | —                   | 22       | 43     | 35    | 2,74                     |
| 5   | 570 B            | 48,4                          | —                   | 7        | 42     | 51    | 2,75                     |
| 6   | 356 D            | 32,0                          | —                   | 12       | 47     | 41    | 2,75                     |
| 7   | 562 H            | 49,9                          | —                   | 20       | 43     | 37    | 2,76                     |
| 8   | 242 G            | 57,1                          | —                   | 7        | 43     | 50    | 2,76                     |
| 9   | 349 C            | 51,5                          | —                   | 5        | 46     | 49    | 2,77                     |
| 10  | 349 C            | 48,7                          | —                   | 10       | 44     | 46    | 2,77                     |
| 11  | 573              | 31,5                          | —                   | 8        | 43     | 49    | 2,78                     |
| 12  | 249 C            | 51,9                          | —                   | 3        | 47     | 50    | 2,78                     |
| 13  | S 16 E           | 33,3                          | —                   | 4        | 47     | 49    | 2,79                     |
| 14  | S 3 a D          | 24,3                          | —                   | 20       | 45     | 35    | 2,79                     |
| 15  | 561 D            | 44,7                          | —                   | 9        | 41     | 50    | 2,80                     |
| 16  | 396 a            | 32,6                          | —                   | 20       | 43     | 37    | 2,80                     |
| Średnia arytmetyczna ciężarów właściwych zbadanych 60 próbek wynosi : $\gamma = 2,76$ |                  |                               |                     |          |        |       |                          |

### CIEŻAR WŁAŚCIWY IŁÓW UZYSKANY NA PODSTAWIE BADAŃ LABORATORYJNYCH

W celu scharakteryzowania wielkości ciężarów właściwych niektórych naszych ilów podano kilka zestawień tabelarycznych.

Na tab. 1 i 2 podano przykładowo ciężary właściwe pliczeńskich ilów lub pliczeńskich ilów pylastych występujących na trasie Metra w War-

szawie. Tabele te zestawiono na podstawie wyników badań wykonanych przez Laboratorium Badania Gruntów Metroprojekt.

Jest rzeczą oczywistą, że między ciężarem właściwym ilu i procentową zawartością frakcji ilowej na ogół nie zachodzi proporcjonalność, gdyż ciężar właściwy ilu zależy nie tylko od procentowej zawartości frakcji ilowej, lecz również od ciężarów właściwych jej minerałów składowych. W celu scharakteryzowania tej dysproporcji podano fig. 1 dotyczącą plicieńskich ilów pylastych Warszawy. Na figurze tej w płaszczyźnie układu współrzędnych ( $\gamma$ ,  $i$ ) naniesiono dane z tab. 2. Dysproporcje między ciężarem właściwym a procentową zawartością frakcji ilowej tych ilów są znaczne. Świadczy to o dużej różnorodności ciężarów właściwych minerałów składowych tych ilów.

Tabela 2

## Ciężar właściwy plicieńskich ilów pylastych Warszawy (Metro)

| Nr na fig. 1   | Nr laboratoryjny | Głębokość pobrania próbki w m | Fracje w procentach |          |        |       | Ciężar właściwy |
|--|------------------|-------------------------------|---------------------|----------|--------|-------|-----------------|
|  |                  |                               | żwirowa             | piaskowa | pyłowa | ilowa |                 |
| 1  | 1                | 36,0                          | —                   | 4        | 65     | 31    | 2,70            |
| 2  | 3                | 12,1                          | —                   | 1        | 64     | 35    | 2,70            |
| 3  | S. 13 a A        | 27,5                          | —                   | 5        | 55     | 40    | 2,71            |
| 4  | S. 13 C.         | 19,5                          | —                   | 11       | 54     | 35    | 2,71            |
| 5  | 2                | 44,0                          | —                   | 8        | 57     | 35    | 2,72            |
| 6  | 103              | 40,0                          | —                   | 10       | 51     | 39    | 2,72            |
| 7  | S. 9. a. B       | 62,3                          | —                   | 10       | 51     | 39    | 2,73            |
| 8  | 546 Ca           | 42,3                          | —                   | 10       | 58     | 32    | 2,74            |
| 9  | 240. D a         | 51,4                          | —                   | 7        | 54     | 39    | 2,74            |
| 10   | S. 3. aF.        | 26,2                          | —                   | 5        | 58     | 37    | 2,75            |
| 11   | 572              | 31,8                          | —                   | 7        | 53     | 40    | 2,75            |
| 12   | 563 C            | 49,8                          | —                   | 4        | 60     | 36    | 2,76            |
| 13   | 547 A            | 35,1                          | —                   | 2        | 59     | 37    | 2,76            |
| 14   | 572              | 31,8                          | —                   | 10       | 54     | 36    | 2,78            |
| 15   | 546 E            | 31,1                          | —                   | 7        | 53     | 40    | 2,78            |
| 16   | S. 13. c A       | 60,7                          | —                   | 16       | 51     | 33    | 2,79            |
| 17   | 547 A            | 22,6                          | —                   | 2        | 53     | 45    | 2,79            |
| 18   | 124              | 41,0                          | —                   | 10       | 52     | 38    | 2,80            |
| 19   | 130              | 90,7                          | —                   | 8        | 55     | 37    | 2,80            |
| Średnia arytmetyczna ciężarów właściwych zbadanych 90 próbek wynosi: $\gamma = 2,75$ |                  |                               |                     |          |        |       |                 |

Na podstawie fig. 1 lub tab. 2 stwierdzamy przykładowo, że próbka 16, zawierająca 33% frakcji ilowej, wykazuje ciężar właściwy  $\gamma = 2,79$ , natomiast próbka 3, zawierająca 40% frakcji ilowej, ma znacznie mniejszy ciężar właściwy  $\gamma = 2,71$ , zatem procentowy udział minerałów ciężkich w próbce 16 jest większy niż w próbce 3.

Próbki 3, 11, 15 przy jednakowej zawartości frakcji ilowej  $i = 40\%$  wykazują różne ciężary właściwe  $\gamma = 2,71; 2,75, 2,78$ .

Tabela 3

## Ciężar właściwy plicieńskich utworów ilastych Warszawy (ul. Złota, PKiN)

| Liczba porządkowa | Znak próbki lub numer otworu | Głębokość pobrania próbki w m | Rodzaj gruntu | Ciężar właściwy $\gamma$ |
|-------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------|--------------------------|
| 1                 | 9                            | 43,30                         | ił            | 2,74                     |
| 2                 | otwór 9                      | 43,45                         | „             | 2,73                     |
| 3                 | „ 9                          | 43,90                         | „             | 2,73                     |
| 4*                | „ 12                         | 37,50                         | ił pylasty    | 2,66                     |
| 5                 | 2,02                         | 3,25                          | ił            | 2,71                     |
| 6                 | 2,025                        | 43,80                         | ił pylasty    | 2,74                     |
| 7                 | 2,025                        | 44,80                         | „ „           | 2,73                     |
| 8                 | otwór 8                      | 39,60                         | „ „           | 2,73                     |
| 9                 | „ 9                          | 56,85                         | „ „           | 2,74                     |
| 10                | „ 11                         | 43,80                         | „ „           | 2,70                     |
| 11                | „ 12                         | 37,90                         | „ „           | 2,73                     |
| 12                | „ 13                         | 3,50                          | „ „           | 2,73                     |
| 13                | „ R. I.                      | 69,00                         | „ „           | 2,74                     |
| 14                | „ R. I.                      | 81,50                         | „ „           | 2,71                     |
| 15                | 6                            | 5,50                          | „ „           | 2,70                     |
| 16                | otwór 12                     | 37,9                          | „ „           | 2,73                     |

\* W próbce 4 o ciężarze właściwym  $\gamma = 2,66$  stwierdzono 7 % substancji organicznych.

Tabela 4

## Ciężar właściwy ilów plicieńskich z okolicy Bydgoszczy

| Liczba porządkowa    | Nr laboratoryjny | Głębokość pobrania próbki w m | Fracje w procentach |          |        |       | Ciężar właściwy $\gamma$ |
|----------------------|------------------|-------------------------------|---------------------|----------|--------|-------|--------------------------|
|                      |                  |                               | żwirowa             | piaskowa | pyłowa | iłowa |                          |
| 1                    | 11231            | 1,5                           | —                   | 1        | 25     | 74    | 2,68                     |
| 2                    | 236              | 0,8                           | —                   | 18       | 42     | 40    | 2,67                     |
| 3                    | 238              | 0,8                           | —                   | 1        | 13     | 86    | 2,70                     |
| 4                    | 530              | 1,4                           | —                   | 4        | 43     | 53    | 2,67                     |
| 5                    | 12424            | 1,4                           | —                   | 3        | 37     | 60    | 2,77                     |
| 6                    | 426              | 2,5                           | —                   | 4        | 50     | 46    | 2,82                     |
| 7                    | 433              | 0,9                           | —                   | 4        | 35     | 61    | 2,80                     |
| 8                    | 435              | 1,8                           | —                   | 2        | 29     | 69    | 2,80                     |
| 9                    | 466              | ściana                        | —                   | —        | 45     | 55    | 2,73                     |
| 10                   | 472              | „                             | —                   | 20       | 28     | 52    | 2,68                     |
| 11                   | 474              | „                             | —                   | 26       | 33     | 41    | 2,74                     |
| 12                   | 477              | „                             | 4                   | 24       | 32     | 40    | 2,76                     |
| 13                   | 480              | „                             | —                   | 7        | 34     | 59    | 2,78                     |
| 14                   | 495              | „                             | —                   | 3        | 50     | 47    | 2,72                     |
| Średnia arytmetyczna |                  |                               |                     |          |        |       | 2,74                     |

Znaczne dysproporcje między ciężarem właściwym a procentową zawartością frakcji ilowej spostrzegamy również wśród danych zestawionych w tab. 1. Na przykład próbka 16 przy 37% zawartości frakcji ilowej wykazuje ciężar właściwy  $\gamma = 2,80$ , natomiast próbka 8, przy znacznie większej zawartości frakcji ilowej  $i = 50\%$ , ma mniejszy ciężar właściwy  $\gamma = 2,76$ .

Domieszki substancji organicznych obniżają średnią wielkość ciężaru właściwego ładu i przy większej ich zawartości uniemożliwiają orientację co do zawartości minerałów ciężkich w badanej próbce.

Badania geologiczno-techniczne terenu budowy Pałacu Kultury i Nauki w Warszawie przy ul. Żłotej, wykonane przez Zakład Mechaniki Gruntów i Fundamentowania Instytutu Techniki Budowlanej, wykazały dla ładu i ich odmian pylastych ciężary właściwe zestawione w tab. 3.

Tab. 4 i 5 zawierają ciężary właściwe pliczeńskich ładu występujących w okolicach Bydgoszczy. Tabele te zestawiono na podstawie

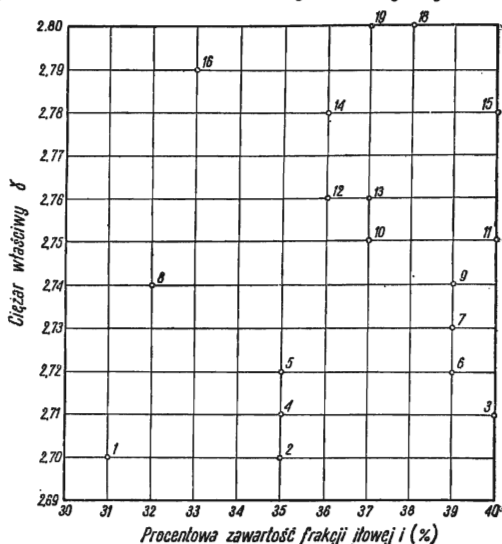


Fig. 1. Ciężar właściwy i procentowa zawartość frakcji ilowej próbek zestawionych w tabeli 2

Specific gravity and percentage of content of the clay fraction of samples presented in Table 2

Tabela 5

**Ciężar właściwy ładu pliczeńskich z domieszką substancji organicznych z okolicy Bydgoszczy**

| Liczba porządkowa | Nr laboratoryjny | Głębokość pobrania próbki, w m | Frakcje w procentach |          |        |       | Ciężar właściwy $\gamma$ | Zawartość substancji organicznych w %* |
|-------------------|------------------|--------------------------------|----------------------|----------|--------|-------|--------------------------|--|
|                   |                  |                                | żwirowa              | piaskowa | pyłowa | ilowa |                          |  |
| 1                 | 11550            | 1,4                            | —                    | 11       | 31     | 58    | 2,54                     | 8,5                                    |
| 2                 | 568              | 1,5                            | —                    | 4        | 39     | 57    | 2,55                     | 5,7                                    |
| 3                 | 539              | 0,4                            | —                    | 7        | 43     | 50    | 2,57                     | 7,4                                    |
| 4                 | 565              | 1,4                            | —                    | 6        | 38     | 56    | 2,57                     | 6,3                                    |
| 5                 | 508              | 1,5                            | —                    | 6        | 41     | 53    | 2,58                     | 8,1                                    |
| 6                 | 503              | 1,4                            | —                    | 8        | 31     | 61    | 2,59                     | 4,4                                    |
| 7                 | 534              | 0,9                            | —                    | 6        | 49     | 45    | 2,61                     | 7,9                                    |
| 8                 | 559              | 0,9                            | 5                    | 9        | 41     | 45    | 2,61                     | 7,4                                    |
| 9                 | 546              | 0,8                            | —                    | 6        | 26     | 68    | 2,62                     | 8,2                                    |
| 10                | 552              | 1,5                            | —                    | 1        | 43     | 56    | 2,64                     | 7,3                                    |
| 11                | 506              | 0,4                            | —                    | 2        | 48     | 50    | 2,64                     | 6,5                                    |

\*Znaczna zawartość szczątków zwęglonych roślin i korozek w roślinnych oraz konkrekcji węglanu wapnia. Zawartość substancji organicznych oznaczono metodą prażenia (600°C) według PN-55/B-04485

Tabela 6

## Ciężar właściwy trzeciorzędowych utworów zwietrzelinowych z okolic Olsztyna

| Liczba porządkowa | Nr laboratoryjny | Nr otworu | Głębokość pobrania próbki w m | Frakcje w procentach |          |        |       | Rodzaj gruntu | Ciężar właściwy | Zawartość substancji organicznych w %* |
|-------------------|------------------|-----------|-------------------------------|----------------------|----------|--------|-------|---------------|-----------------|--|
|                   |                  |           |                               | żwirowa              | piaskowa | pyłowa | iłowa |               |                 |  |
| 1                 | 14315            | 3         | 8,5                           | 1                    | 7        | 30     | 62    | ił            | 2,70            |  |
| 2                 | 15120            | 4         | 9,0                           | 1                    | 13       | 32     | 54    | „             | 2,68            | 6,5                                    |
| 3                 | 14312            | 5         | 4,8                           | —                    | 14       | 53     | 33    | ił pylasty    | 2,70            |  |
| 4                 | 14313            | 5         | 11,1                          | —                    | 4        | 38     | 58    | ił            | 2,81            |  |
| 5                 | 15116            | 5         | 12,7                          | —                    | 13       | 33     | 54    | „             | 2,81            |  |
| 6                 | 15128            | 5         | 19,5                          | —                    | 9        | 42     | 49    | „             | 2,84            |  |
| 7                 | 15127            | 5         | 15,4                          | —                    | 7        | 47     | 46    | „             | 2,66            | 7,5                                    |
| 8                 | 15092            | 6         | 4,4                           | —                    | 28       | 29     | 43    | „             | 2,67            | 3,5                                    |
| 9                 | 15094            | 6         | 6,4                           | —                    | 3        | 24     | 73    | „             | 2,83            |  |
| 10                | 14317            | 6         | 8,5                           | —                    | 5        | 28     | 67    | „             | 2,74            |  |
| 11                | 15096            | 6         | 10,4                          | —                    | 10       | 35     | 45    | „             | 2,67            | 8,3                                    |
| 12                | 14316            | 6         | 11,4                          | —                    | 3        | 44     | 53    | „             | 2,66            | 7,7                                    |
| 13                | 15097            | 6         | 12,4                          | —                    | 7        | 55     | 38    | ił pylasty    | 2,62            | 8,2                                    |
| 14                | 15098            | 6         | 13,5                          | —                    | 3        | 51     | 46    | „             | 2,71            |  |
| 15                | 15077            | 9         | 2,2                           | 2                    | 15       | 28     | 55    | ił            | 2,72            |  |
| 16                | 15078            | 9         | 3,4                           | —                    | 10       | 47     | 43    | „             | 2,69            | 6,4                                    |
| 17                | 15079            | 9         | 5,2                           | —                    | 11       | 38     | 51    | „             | 2,68            | 7,7                                    |
| 18                | 15080            | 9         | 7,3                           | 9                    | 32       | 26     | 33    | „             | 2,74            |  |
| 19                | 15084            | 10        | 3,7                           | 3                    | 24       | 34     | 39    | „             | 2,76            |  |
| 20                | 15085            | 13        | 2,5                           | —                    | 3        | 61     | 36    | ił pylasty    | 2,74            |  |
| 21                | 15101            | 15        | 1,5                           | —                    | 4        | 50     | 46    | ił            | 2,76            |  |
| 22                | 15161            | 21        | 3,2                           | —                    | 10       | 55     | 35    | ił pylasty    | 2,76            |  |

\* Zawartość substancji organicznych oznaczono metodą prażenia (600°C) według PN-55/B-04485.

Tabela 7

## Ciężar właściwy mioceńskich łów pylastych z okolic Tarnobrzega (otwór Nr 1)

| Liczba porządkowa | Nr laboratoryjny | Głębokość pobrania próbki, w m | Frakcje w procentach |          |        |       | Rodzaj gruntu | Ciężar właściwy | Zawartość substancji organicznych, w %* |
|-------------------|------------------|--------------------------------|----------------------|----------|--------|-------|---------------|-----------------|---|
|                   |                  |                                | żwirowa              | piaskowa | pyłowa | iłowa |               |                 |   |
| 1                 | 12 204           | 7,8                            | —                    | —        | 64     | 36    | ił pylasty    | 2,61            | 3,8                                     |
| 2                 | 221              | 20,0                           | —                    | 1        | 59     | 40    | „             | 2,65            | 3,4                                     |
| 3                 | 223              | 21,5                           | —                    | 27       | 43     | 30    | ił            | 2,67            | 5,7                                     |
| 4                 | 227              | 24,7                           | —                    | —        | 66     | 34    | ił pylasty    | 2,62            | 7,2                                     |
| 5                 | 231              | 27,5                           | —                    | —        | 53     | 47    | „             | 2,59            | 4,5                                     |
| 6                 | 233              | 29,0                           | —                    | 3        | 64     | 33    | „             | 2,64            | 6,3                                     |
| 7                 | 240              | 35,5                           | —                    | 7        | 56     | 37    | „             | 2,64            | 7,3                                     |
| 8                 | 253              | 30,50                          | 2                    | 5        | 63     | 30    | „             | 2,64            | 7,1                                     |

\* Zawartość substancji organicznych oznaczono metodą prażenia (600°C) według PN-55/B-04485.

wyników badań wykonanych przez Laboratorium Mechaniki Gruntów Zakładu Geologii Inżynierskiej.

Wśród zbadanych ilów plioceńskich Bydgoszczy stwierdzono ily ze znaczną domieszką substancji organicznych (tab. 5). Ciężar właściwy tych ilów jest znacznie mniejszy od 2,67.

Tab. 6 zawiera wielkość ciężarów właściwych trzeciorzędowych utworów zwiertelinowych z okolic Olsztyna. Tabelę tę zestawiono na podstawie wyników badań wykonanych przez Laboratorium Mechaniki Gruntów Zakładu Geologii Inżynierskiej I. G.

W tab. 7 podano ciężary właściwe mioceneńskich ilów pylastych — z okolic Tarnobrzega, występujących w pionie jednego otworu badawczego. Tabelę zestawiono na podstawie wyników badań wykonanych przez Laboratorium Mechaniki Gruntów Zakładu Geologii Inżynierskiej I. G. Małe wartości ciężarów właściwych tych ilów spowodowane są i w tym przypadku domieszką substancji organicznych.

### CIEŻAR WŁAŚCIWY ILÓW ZAWIERAJĄCYCH DOMIESZKĘ SUBSTANCJI ORGANICZNYCH

W celu scharakteryzowania wpływu domieszek organicznych na ciężar właściwy iltu wykonamy kilka obliczeń. Do obliczeń tych przyjmujemy następujące oznaczenia:

- $\gamma_1$  — ciężar właściwy substancji organicznej
- $\gamma_2$  — ciężar właściwy cząstek nieorganicznych
- $p$  — procentowa wagowa zawartość substancji organicznych.

Jeżeli oznaczenia te wprowadzimy do wzoru (2) na str. 863, to otrzymamy:

$$\gamma = \frac{100}{\sum \frac{p}{\gamma}} = \frac{100}{\frac{p}{\gamma_1} + \frac{100-p}{\gamma_2}}$$

Po przekształceniu równanie to przybierze postać

$$\gamma = \frac{100 \cdot \gamma_1 \cdot \gamma_2}{p(\gamma_2 - \gamma_1) + 100 \cdot \gamma_1} \quad (3)$$

Jeżeli za ciężar właściwy substancji organicznych przyjmujemy

$\gamma_1 = 1,50$ , to otrzymamy:

$$\gamma = \frac{150 \gamma_2}{p(\gamma_2 - 1,5) + 150} \quad (3a)$$

Na podstawie tego wzoru obliczono ciężar właściwy ilów przyjmując kolejno za średni ciężar właściwy ich cząstek nieorganicznych wielkość  $\gamma_2 = 2,65, 2,70, 2,80$  i  $2,85$  oraz różne wartości procentowej zawartości substancji organicznych ( $p$ ). Wyniki obliczeń zestawiono w tab. 8.

Wykresy na fig. 2, sporządzone na podstawie danych w tab. 8, przedstawiają zależność między ciężarem właściwym iltu a procentową zawartością występujących w nim domieszek substancji organicznych. Z wykresu tego oraz z tab. 8 można się zorientować, w jakim stopniu domieszki substancji organicznych obniżają ciężar właściwy ilów.



Przy określonej ilości domieszki substancji organicznych procentowa obniżka wielkości ciężaru właściwego iłu będzie tym większa, im większy jest średni ciężar właściwy jego cząstek nieorganicznych, np. 5% domieszka substancji organicznych obniża ciężar właściwy iłu o 3,77% (z ciężaru właściwego 2,65 na 2,55), zaś iłu o 4,21% (z ciężaru właściwego 2,85 na 2,73).

Tabela 8

Ciężar właściwy ilów w zależności od procentowej zawartości substancji organicznych

| Zawartość substancji organicznych, % | Średni ciężar właściwy cząstek nieorganicznych, $\gamma_2$ |      |      |      |
|--------------------------------------|--|------|------|------|
|                                      | 2,65   | 2,70 | 2,80 | 2,85 |
| 1                                    | 2,63   | 2,68 | 2,78 | 2,83 |
| 2                                    | 2,61   | 2,66 | 2,75 | 2,80 |
| 3                                    | 2,59   | 2,64 | 2,73 | 2,78 |
| 4                                    | 2,57   | 2,62 | 2,71 | 2,75 |
| 5                                    | 2,55   | 2,60 | 2,68 | 2,73 |
| 10                                   | 2,46   | 2,50 | 2,58 | 2,62 |
| 15                                   | 2,38   | 2,41 | 2,48 | 2,51 |
| 20                                   | 2,30   | 2,33 | 2,39 | 2,42 |
| 25                                   | 2,23   | 2,25 | 2,30 | 2,23 |

Ciężar właściwy cząstek organicznych  $\gamma_1 = 150$

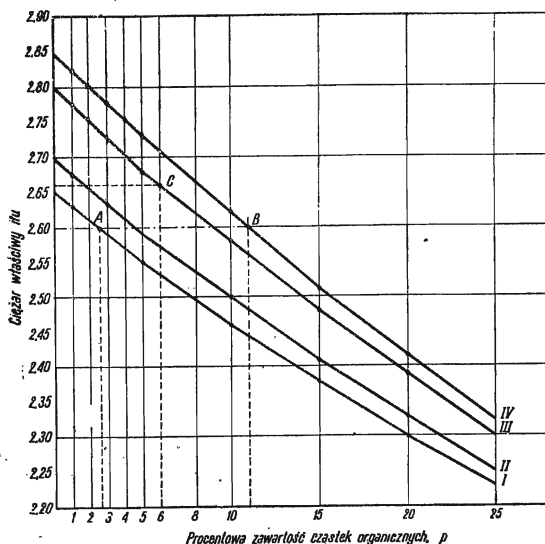


Fig. 2. Wykresy zależności między ciężarem właściwym iłu a procentową zawartością jego domieszek, na podstawie danych z tabeli 8

Diagrams of interdependence between the specific gravity of the clay, and the percentage of content of its admixtures, on the basis of data taken from Table 8

Ciężar właściwy substancji organicznych  
 Ciężar właściwy cząstek nieorganicznych:  
 Wykresy: I -  $\gamma_2 = 2,65$ , II -  $\gamma_2 = 2,70$ ,  
 III -  $\gamma_2 = 2,80$ , IV -  $\gamma_2 = 2,85$   
 Specific gravity of organic substances  
 Specific gravity of inorganic substances:  
 Diagrams: I -  $\gamma_2 = 2,65$ , II -  $\gamma_2 = 2,70$ ,  
 III -  $\gamma_2 = 2,80$ , IV -  $\gamma_2 = 2,85$

Jeżeli zbadana próbka wykazała ciężar właściwy np.  $\gamma = 2,60$ , to może ona zawierać 2,5÷11% substancji organicznych (A, B na fig. 2), zależnie od średniej wielkości ciężaru właściwego jej cząstek nieorganicznych.

Jeżeli znamy ciężar właściwy ilu oraz procentową zawartość jego substancji organicznych, to na podstawie fig. 2 lub tab. 8 możemy ocenić średnią wielkość ciężaru właściwego cząstek nieorganicznych. Na przykład, jeżeli  $\gamma = 2,67$ ,  $p = 6\%$  (C na fig. 2), to średni ciężar właściwy cząstek nieorganicznych będzie wynosić 2,80.

Przy ilach o dużej zawartości minerałów ciężkich zatracą się orientację co do zawartości substancji organicznych, np. il o średnim ciężarze właściwym  $\gamma_s = 2,85$ , przy zawartości 5% substancji organicznych wykaże ciężar właściwy  $\gamma = 2,73$  (tab. 8). Taką wartość ciężaru właściwego mogą również wykazać iły nie zawierające substancji organicznych. Dużą zawartość substancji organicznych można rozpoznać wzrokowo lub przez waleczkowanie. W poszczególnych przypadkach należy jednak oznaczyć zawartość substancji organicznych, co na podstawie wzoru (3a) umożliwi obliczyć średni ciężar właściwy cząstek nieorganicznych.

### BENTONITY SZWAJCARSKIE I BAWARSKIE

Na podstawie publikacji F. Hofmanna (1956) podamy krótką charakterystykę bentonitów szwajcarskich oraz bentonitów bawarskich i wykonamy kilka obliczeń.

Wszystkie dotychczas zbadane bentonity szwajcarskie są pochodzenia wulkanicznego. Osadzone zostały bez współdziałania transportu wodnego. Tym tłumaczy się ich grubodispersyjność i jednolitość tekstury. Makroskopowo przedstawiają masę mydlastą w dotyku, barwy szaroniebieskiej, niekiedy o odcieniu zielonawym lub żółtawym.

Krzywe termiczne bentonitów występujących w miejscowościach Jonentobel i Heilsberg pokrywają się z krzywymi termicznymi znanych bentonitów amerykańskich. Bentonity występujące w tych miejscowościach są reprezentowane przez iły montmorylonitowo-beidelitowe.

W miejscowości Bischofszell występuje bentonit w dwóch warstwach: górnej i dolnej. Miąższość warstwy górnej wynosi 40÷60 cm, dolnej — 30÷60 cm. Warstwy te przedziela warstwa tufu wulkanicznego grubości około 170 cm. Krzywe termiczne obu warstw mają ten sam kształt; różnią się między sobą tylko intensywnością efektów. Świadczy to o jednorodności obu warstw pod względem rodzaju minerałów składowych przy zróżnicowaniu stosunku zawartości poszczególnych minerałów.

Skład minerałów ciężkich zbadanych bentonitów szwajcarskich przedstawia tabela 9.

Całkiem odmienny skład mineralny od składu mineralnego bentonitów szwajcarskich ma bentonit bawarski występujący w miejscowości Landshut. W skład minerałów ciężkich tego bentonitu wchodzi (w procentach): granat — 68, epidot — 10, dysten — 5, staurolit — 5, apatyt — 4, amfibol — 4, ruda — 4.

Badania wykonane przez laboratoria szwajcarskie wykazały, że omawiane bentonity — mimo bardzo zróżnicowanego stosunku zawartości minerałów ciężkich — mają na ogół jednakowy ciężar właściwy  $\gamma = 2,75$ .

Tab. 9 podaje zawartości minerałów ciężkich w zbadanych bentonitach liczone w procentach ich łącznego ciężaru ( $\Sigma p = 100\%$ ). Obliczymy teraz; jaki procent stanowi zawartość minerałów ciężkich w stosunku do łącz-

nego ciężaru wszystkich cząstek stałych tych bentonitów. Do wykonania tego obliczenia potrzebne są następujące wartości:

- ciężar właściwy bentonitu ( $\gamma = 2,75$ ),
- średni ciężar właściwy minerałów ciężkich,
- średni ciężar właściwy minerałów pozostałych, nie zaliczonych do frakcji minerałów ciężkich.

Średni ciężar właściwy frakcji minerałów ciężkich obliczymy na podstawie wzoru (2) na str. 863.

$$\gamma = \frac{100}{\sum \frac{p}{\gamma}}$$

Wartości  $p$  podane są w tab. 9.

Dla ciężarów właściwych minerałów ciężkich zestawionych w tej tabeli przyjmujemy następujące wielkości średnie, zgodnie z publikacją A. Bolewskiego i St. Jaskólskiego (1951):

|         |                |
|---------|----------------|
| apatyt  | $\gamma = 3,1$ |
| cyrkon  | $\gamma = 4,3$ |
| rutyl   | $\gamma = 4,2$ |
| ilmenit | $\gamma = 4,7$ |
| amfibol | $\gamma = 3,3$ |

Średnie wielkości ciężaru właściwego frakcji minerałów ciężkich poszczególnych rodzajów bentonitów szwajcarskich, obliczone na podstawie powyższych danych, zestawiono w tab. 10.

Tabela 9

Procentowa zawartość minerałów ciężkich w bentonitach szwajcarskich według F. Hoffmana (1956)

| Miejsce występowania bentonitu | Apatyt | Cyrkon | Rutyl | Ilmenit | Amfibol |
|--------------------------------|--------|--------|-------|---------|---------|
| Bischofszell warstwa górna     | 28     | 47     | 3     | 22      | —       |
| Bischofszell warstwa dolna     | 1      | 53     | 7     | 39      | —       |
| Jonentobel                     | 63     | 23     | —     | 8       | 6       |
| Heilsberg                      | 4      | 38     | 8     | 50      | —       |
| Heiligenberg                   | 6      | 36     | 7     | 51      | —       |

W skład minerałów pozostałych (nie zaliczonych do frakcji minerałów ciężkich) wchodziły minerały o następującym ciężarze właściwym:

|           |                 |
|-----------|-----------------|
| oligoklaz | $\gamma = 2,64$ |
| kwarc     | $\gamma = 2,65$ |
| andezyn   | $\gamma = 2,68$ |
| sanidyn   | $\gamma = 2,55$ |

Minerały te występują w różnych ilościach w poszczególnych bentonitach. Za średnią wielkość ciężaru właściwego minerałów tej grupy można przyjąć  $\gamma_2 = 2,65$ .

Znając ciężar właściwy bentonitu  $\gamma = 2,75$ , średni ciężar właściwy frakcji minerałów ciężkich  $\gamma_1$  (tab. 10) oraz średni ciężar właściwy pozostałych minerałów  $\gamma_2 = 2,65$ , możemy obliczyć procentową zawartość minerałów ciężkich w poszczególnych ilach. Do obliczenia tego zastosujemy wzór (3):

$$\gamma = \frac{100 \gamma_1 \cdot \gamma_2}{p(\gamma_2 - \gamma_1) + 100 \gamma_1} \quad (3)$$

Jeżeli równanie to rozwiążemy według szukanej wielkości  $p$ , to otrzymamy:

$$p = \frac{100 (\gamma - \gamma_2) \gamma_1}{(\gamma_1 - \gamma_2) \gamma} \quad (4)$$

Po wstawieniu wartości stałych dla rozpatrywanych bentonitów:

$$\gamma = 2,75, \quad \gamma_2 = 2,65, \quad \text{wzór ten przybierze postać:}$$

$$p = \frac{10 \cdot \gamma_1}{(\gamma_1 - 2,65) 2,75} \quad (4a)$$

Zestawione w tab. 10 zawartości minerałów ciężkich obliczono tym wzorem.

Tabela 10

Średni ciężar właściwy i procentowa zawartość minerałów ciężkich w bentonitach szwajcarskich

| Miejsce występowania bentonitu* | Średni ciężar właściwy minerałów ciężkich $\gamma_1$ | Procentowa zawartość minerałów ciężkich | Procentowa zawartość pozostałych minerałów |
|---------------------------------|--|---|--|
| Bischofszell<br>warstwa górna   | 3,94   | 11,1                                    | 88,9                                       |
| Bischofszell<br>warstwa dolna   | 4,42   | 9,1                                     | 90,9                                       |
| Jonentobel                      | 3,43   | 16,0                                    | 84,0                                       |
| Heilsberg                       | 4,44   | 9,0                                     | 91,0                                       |
| Heiligenberg                    | 4,38   | 9,3                                     | 90,7                                       |

\* Ciężar właściwy bentonitów = 2,75.

Średni ciężar właściwy minerałów niezaliczonych do frakcji minerałów ciężkich — = 2,65.

W tab. 10 widzimy, że omawiane bentonity szwajcarskie zawierają 9÷16% minerałów ciężkich o średnim ciężarze właściwym 3,43÷4,42 oraz 84÷91% minerałów o średnim ciężarze właściwym 2,65.

Podobnie przedstawia się średni ciężar właściwy minerałów ciężkich bentonitu bawarskiego z okolicy Landshut.

Ciężar właściwy bentonitu bawarskiego — Landshut

(obliczenie przybliżone na podstawie poniższych danych odnośnie do zawartości i ciężaru właściwego minerałów ciężkich):

|        |                     |                |
|--------|---------------------|----------------|
| granat | $p = 68\%$          | $\gamma = 4,0$ |
| epidot | $p = 10 \text{ ,,}$ | $\gamma = 3,4$ |

|           |           |                |
|-----------|-----------|----------------|
| staurolit | $p = 5$ „ | $\gamma = 3,7$ |
| dysten    | $p = 5$ „ | $\gamma = 3,2$ |
| apatyt    | $p = 4$ „ | $\gamma = 3,7$ |
| ilmienit  | $p = 4$ „ | $\gamma = 4,7$ |
| amfibol   | $p = 4$ „ | $\gamma = 3,3$ |

Średni ciężar właściwy minerałów ciężkich przy powyższych danych wynosi:

$$\gamma = \frac{100}{\sum \frac{p}{\gamma}} = 3,82$$

Przy założeniu 5÷15% zawartości minerałów ciężkich o średnim ciężarze właściwym  $\gamma_1 = 3,82$  i przy średnim ciężarze właściwym pozostałych minerałów  $\gamma = 2,65$ , ciężar właściwy bentonitu, obliczony według wzoru 3, wynosić będzie  $\gamma = 2,69 \div 2,78$ .

Zakład Geologii Inżynierskiej I. G.  
Nadesłano dnia 30 marca 1958 r.

#### PIŚMIENNICTWO

- BENDEL L. (1949) — Ingenieurgeologie. Erste Hälfte. Springer. Wien.
- BOLEWSKI A. i JASKÓLSKI ST. (1951) — Oznaczanie minerałów. Pr. Państw. Inst. Geol. 2. Warszawa.
- HOFMANN F. (1956) — Sedimentpetrographische und tonmineralogische Untersuchungen an Bentoniten der Schweiz und Südwestdeutschlands. Ecl. geol. Helv. 49, Nr 1, S. 113—131. Basel.
- SCHULTZE E., MUHS H. (1950) — Bodenuntersuchungen für Ingenieurbauten. Springer. Berlin (Göttingen), Heidelberg.
- TERZAGHI K. (1925) — Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage. Franz Deuticke. Leipzig u. Wien.

Wincenty FORTUNAT

#### SPECIFIC GRAVITY OF CLAYS

##### Summary

The specific gravity of investigated rocks is an important indication which makes possible the drawing of certain conclusions with regards to their mineral composition, and therefore also to their physical and mechanical properties based on this composition. The cognizance of the specific gravity of rocks is a significant index in the geological identification of the sedimentary rocks, and in investigations of engineering geology, petrography, mineralogy and technology.

The specific gravity of clay and of its silty and arenaceous varieties fluctuates within wide limits, between 2.40 and 2.90 and more, depending upon their mineral composition and organic admixtures (Tables 1 to 7).

In these tables the author has presented the specific gravities of Pliocene and Miocene clays, and of their silty varieties, appearing in some regions of Poland (like Warsaw, Bydgoszcz, Tarnobrzeg), with the exclusion of varved clays which he looks upon as a separate object of investigation.

Clay, as well as every other kind of soil, is a mixture consisting of various minerals, sometimes containing an admixture of organic substances. Each one of these component minerals as well as the organic substance generally has their own particular specific gravity. The specific gravity of a particular soil, determined by laboratory methods, represents the mean value of the specific gravities of its component parts. Knowing, in turn, the specific gravity of the individual substances forming the component parts of a clay (or any kind of soil) and the percentage (by weight) of content of its individual components, it is possible to compute the mean value of its specific gravity. This computation may be made by the use of equation [3]. In this equation the following terms are used:  $\gamma$  = mean specific gravity of the investigated clay,  $p$  = percentage (by weight) of content of the individual component minerals,  $\gamma$  below term of sum = specific gravities of individual component minerals.

Fig. 1, calculated on the basis of data from Table 2, presents the disproportions between the specific gravity and the per cent content of the clay fraction as determined in the investigated silty Pliocene clays of the Warsaw region.

In order to characterize the influence of the content of organic particles upon the specific gravity of the clay, the author introduced an equation [3] in which the following terms have been used:  $\gamma$  = mean specific gravity of the clay;  $\gamma_1$  = specific gravity of its organic substances;  $\gamma_2$  = mean magnitude of specific gravity of its inorganic substances. For magnitude of  $\gamma_1 = 1.50$ , this equation passes into equation [3a]. The magnitude of the specific gravity of clays when computed by equation [3a] for various magnitudes of  $\gamma_2$  and various magnitudes of  $p$ , has been recorded in Table 8. The diagrams on Fig. 2, prepared on the basis of data taken from Table 8, present the interdependence between the specific gravity of the clay and the percent content of its organic particles.

For purposes of comparison the author has given a brief characteristic of Swiss bentonites (according to F. Hofmann, 1956). In Table 9 the composition of the fraction of the heavy minerals of these bentonites has been given. On the basis of equations [3a and 4], the author has calculated the mean specific gravity of the fraction of heavy minerals and the percent content of this fraction in the individual bentonites. The results of these computations are given on Table 10. According to this table, the mean specific gravity of the investigated bentonites is 2.75, the mean specific gravity of the fraction of heavy minerals 3.43 to 4.44, and its content in the individual bentonites is from 9 to about 16%.

Entirely different from the composition of the fraction of heavy minerals in the Swiss bentonites is the composition of the fraction of heavy minerals in the Bavarian bentonite, occurring at Landshut. The mean specific gravity of the heavy minerals in this bentonite is 3.82. With its 5 to 15% content of heavy minerals, the specific gravity of this bentonite is 2.69 to 2.78.