

# WSPÓLCZYNNIK FILTRACJI TORFÓW

Iwona CHMIELEWSKA\*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono wyniki badań edometrycznych, których celem było wyznaczenie współczynnika filtracji torfów. Badania edometryczne zostały przeprowadzone na próbkach pobranych z podłoża obwodnicy Bargłowa Kościelnego. Próbki pobrano w kierunku pionowym i poziomym. Badania ścisłości przeprowadzono z użyciem zestawu pięciu edometrów z możliwością automatycznej rejestracji odczytów czujników przemieszczeń. Na podstawie badań wyznaczono: edometryczne moduły ścisłości pierwotnej, współczynniki konsolidacji oraz współczynnik filtracji. Wykazano, że wartości parametrów określonych dla próbek pobranych w kierunku pionowym i poziomym są znacząco różne, co wskazuje na anizotropię torfów. Wartości wyznaczonych parametrów porównano z wartościami podanymi w literaturze.

*Słowa kluczowe:* torfy, współczynnik filtracji, badania edometryczne.

## 1. Wprowadzenie

W związku z rozwojem budownictwa, w szczególności budownictwa drogowego, coraz częstszym problemem jest konieczność wykorzystania pod budowę terenów o trudnych warunkach geotechnicznych, charakteryzujących się występowaniem gruntów organicznych. Przykładem może być budowa obwodnicy Bargłowa Kościelnego, miejscowości leżącej w ciągu drogi krajowej numer 61 w województwie podlaskim.

Na obwodnicy o łącznej długości około 12 km znajdują się dwa odcinki, w których podłożu występują grunty organiczne: jeden o długości 285 m, charakteryzujący się występowaniem torfów i namulów o miąższości do 8 m, a drugi o długości 260 m, na którym w podłożu zalegają grunty organiczne o miąższości do 6 m. Na odcinku drugim dokonano pełnej wymiany słabego gruntu, zaś na odcinku pierwszym wzmocniono podłoże kolumnami piaskowymi w otocze geosyntetycznej GEC (*Geosynthetic Encased Columns*). Przy projektowaniu kolumn GEC konieczna jest znajomość parametrów fizycznych i mechanicznych gruntów słabych, a w szczególności: modułów odkształcenia, współczynnika konsolidacji oraz współczynnika filtracji.

W pracy przedstawiono wyniki badań edometrycznych torfów pobranych z ośmiu różnych miejsc zlokalizowanych na odcinku pierwszym obwodnicy Bargłowa Kościelnego. Dodatkowo z wykopu badawczego pobrano próbki torfów w kierunku poziomym.

Celem pracy jest przedstawienie metodyki

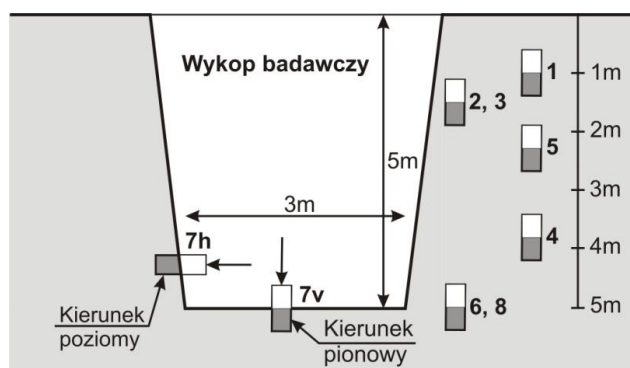
wyznaczania współczynnika filtracji torfów na podstawie badań edometrycznych. Zgodnie ze wzorem podanym między innymi przez: Terzaghię (1943), Heada (1994), Smitha i Smitha (1998) oraz Kowalczyka i in. (2013), współczynnik filtracji może być wyznaczony na podstawie badań ścisłości w oparciu o wartość współczynnika konsolidacji oraz modułu ścisłości. W pracy przedstawiono sposób wyznaczenia tych dwóch parametrów.

Problematykę związaną z wyznaczeniem współczynnika filtracji na podstawie badań ścisłości torfów opisali między innymi Gabryś i Szymański (2010).

## 2. Ogólny opis badań

Próbki torfów do badań pobierano za pomocą cienkościennych cylindrów o średnicy wewnętrznej równej 70 mm. Cylindry wciskano w podłoże w kierunku pionowym i poziomym. W kierunku pionowym pobrano łącznie osiem próbek. Próbkę nr 1 pobrano z głębokości 1,0 m p.p.t., próbki nr 2 i 3 z głębokości około 1,5 m p.p.t., próbkę nr 4 z głębokości około 3,8 m p.p.t., próbkę nr 5 z głębokości 2,3 m p.p.t., natomiast próbki nr 6 i 8 z głębokości około 5,0 m p.p.t. Próbki 7v i 7h pobrano z wykopu badawczego o głębokości 5 m, odpowiednio w kierunku pionowym i poziomym. Próbki pobierano w różnych odległościach od siebie, z terenu obejmującego pierwszy odcinek obwodnicy. Schemat sposobu pobierania próbek przedstawiono na rysunku 1.

\* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: i.chmielewska@pb.edu.pl



Rys. 1. Schemat pobierania próbek

Górze i dół cylindrów zabezpieczono przed zmianą objętości wywołaną odprężeniem oraz utratą wilgotności na skutek transportu i przechowywania. Oznaczenie podstawowych parametrów fizycznych torfów wykonano w przeciągu tygodnia od momentu pobrania próbek. Natomiast badania edometryczne rozpoczęto po tygodniu od dnia pobrania próbek. Badania ścisłości przeprowadzono za pomocą zestawu pięciu edometrów z możliwością automatycznej rejestracji odczytów czujników przemieszczeń. W edometrach zbadano po pięć próbek pobranych z każdego z dziewięciu cylindrów. Ze względu na niewielkie różnice pomiędzy wynikami badań poszczególnych próbek, prezentowane w pracy wyniki są uśrednionymi wynikami badań dla każdej grupy złożonej z pięciu próbek.

### 3. Parametry fizyczne torfów

Przed przystąpieniem do badań edometrycznych określono wartości następujących parametrów fizycznych torfów: wilgotność  $w$ , ciężar objętościowy  $\gamma$ , gęstość właściwa szkieletu gruntowego  $\rho_s$ , zawartość części organicznych  $I_{om}$  oraz stopień rozkładu.

Wilgotność  $w$  oznacza stosunek masy wody zawartej w porach gruntu do suchej masy stałych cząstek, wyrażony w procentach (PKN-CEN ISO/TS 17892-1 *Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 1: Oznaczenie wilgotności*).

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_c} \cdot 100 = \frac{m_w}{m_d} \cdot 100 \quad (1)$$

gdzie:  $m_1$  jest masą pojemnika i próbki w stanie wilgotnym,  $m_2$  jest masą pojemnika i próbki w stanie suchym,  $m_c$  jest masą pojemnika,  $m_w$  jest masą wody, natomiast  $m_d$  jest masą próbki w stanie suchym.

Za suchy grunt uważa się taki grunt, z którego nie da się usunąć więcej wody w temperaturze  $105^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  (PKN-CEN ISO/TS 17892-1).

Ciężar objętościowy  $\gamma$  badanych torfów wyznaczono zgodnie ze wzorem (PKN-CEN ISO/TS 17892-2 *Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 2: Oznaczenie gęstości gruntów drobnziarnistych*):

$$\gamma = \rho g = \frac{m}{V} g \quad (2)$$

gdzie:  $\rho$  jest gęstością objętościową gruntu,  $m$  jest masą gruntu,  $V$  jest objętością gruntu,  $g$  jest wartością przyspieszenia ziemskiego równą  $9,81 \text{ m/s}^2$ .

Gęstość właściwa szkieletu gruntowego  $\rho_s$  wyraża stosunek suchej masy próbki  $m_d$  do objętości tej masy  $V_d$  (PKN-CEN ISO/TS 17892-3 *Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 3: Oznaczenie gęstości właściwej - metoda piknometru*).

$$\rho_s = \frac{m_d}{V_d} \quad (3)$$

Gęstość właściwą szkieletu gruntowego oznaczono laboratoryjnie metodą piknometru zgodnie z normą PKN-CEN ISO/TS 17892-3.

Zawartość części organicznych  $I_{om}$  w badanych torfach wyznaczono metodą prażenia. Oznaczenie zawartości części organicznych z użyciem metody prażenia polega na wysuszeniu próbki i jej zważeniu ( $m_d$ ). Następnie próbkę poddaje się wypalaniu w wysokiej temperaturze. Po ostygnięciu próbka jest ważona ponownie ( $m_z$ ), a zawartość części organicznych obliczana jest ze wzoru (Lechowicz i Szymański, 2002):

$$I_{om} = \frac{m_d - m_z}{m_d} \cdot 100\% \quad (4)$$

Stopień rozkładu torfów określono z użyciem 10-cio stopniowej skali von Posta. Metoda oceny stopnia rozkładu według tej skali polega na obserwacji torfu ściskanego w dłoni. Podczas ściskania należy zwrócić uwagę na kolor wyciskanej wody, ilość przecięniętej przez palce masy oraz wygląd nierozłożonych części roślinnych (Myślińska, 1999). Zgodnie ze skalą von Posta stopień rozłożenia torfu oznacza się symbolami od  $H_1$  do  $H_{10}$ . Im wyższa wartość indeksu, tym większy jest stopień rozłożenia torfu.

Otrzymane w wyniku przeprowadzonych badań i obliczeń wartości podstawowych parametrów fizycznych torfów przedstawiono w tabeli 1.

### 4. Moduły ścisłości pierwotnej

Próbki torfów badano w edometrach przy różnych wartościach naprężeń pionowych o wartościach: 15, 32, 64, 96, 128 oraz 256 kPa. Ze względu na możliwości techniczne edometrów, próbki o największej ścisłości (4, 7v i 7h) badano przy maksymalnych naprężeniach pionowych równych 64 kPa. Próbki miały średnicę 63,5 mm i wysokość 20 mm.

Zgodnie z normą PKN-CEN ISO/TS 17892-5 *Badania geotechniczne. Badania laboratoryjne gruntów. Część 5: Badanie edometryczne gruntów* moduły ścisłości pierwotnej  $M_0$  obliczane są dla poszczególnych poziomów naprężeń ze wzoru:

$$M_0 = \frac{\Delta\sigma_{0i}'}{\varepsilon_0} = \frac{\Delta\sigma_{0i}' h_{0i}}{\Delta h_{0i}} \quad (5)$$

gdzie:  $\Delta\sigma_{0i}'$  jest przyrostem naprężeń efektywnych dla

obciążenia pierwotnego,  $\varepsilon_0$  jest odkształceniem względnym dla obciążenia pierwotnego,  $h_{0i}$  jest początkową wysokością próbki dla obciążenia pierwotnego, natomiast  $\Delta h_{0i}$  jest różnicą wysokości próbki wywołaną zmianą obciążenia, dla obciążenia pierwotnego.

Przy znanej wysokości próbki  $h_i$  możliwe jest wyznaczenie wskaźnika porowatości  $e_i$  ze wzoru (Wiłun, 2013):

$$e_i = e_0 - \frac{\Delta h_i}{h_0} (1 + e_0) \quad (6)$$

gdzie:  $\Delta h_i$  jest zmianą wysokości próbki spowodowaną zmianą obciążenia,  $h_0$  jest początkową wysokością próbki,  $e_0$  jest początkowym wskaźnikiem porowatości gruntu wyznaczanym ze wzoru (Wiłun, 2013):

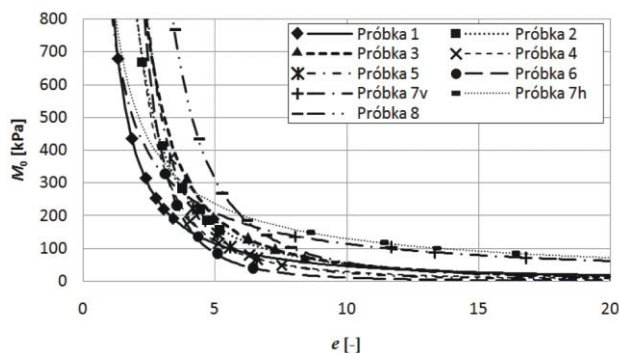
$$e_0 = \frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d} \quad (7)$$

gdzie  $\rho_d$  jest gęstością objętościową szkieletu gruntowego wyznaczaną z zależności (PKN-CEN ISO/TS 17892-2):

$$\rho_d = \frac{100\rho}{100 + w} \quad (8)$$

Wartości wskaźnika porowatości odpowiadające poszczególnym poziomom naprężeń przedstawiono w tabeli 2.

Wartości modułów ścisłości zależą przede wszystkim od wielkości naprężeń pionowych. Wraz ze wzrostem naprężeń pionowych zmniejsza się wskaźnik porowatości gruntów  $e$  i rośnie wartość edometrycznego modułu ścisłości pierwotnej  $M_0$  (rys. 2). Otrzymane z badań uśrednione wartości modułów ścisłości  $M_0$  dla poszczególnych próbek torfów przedstawiono w tabeli 3.



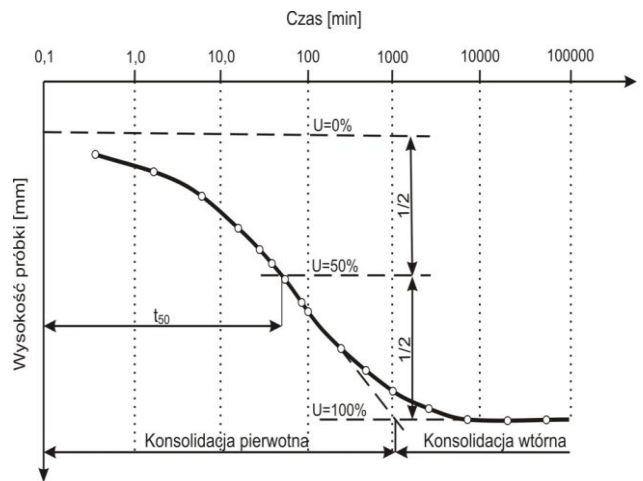
Rys. 2. Zależność edometrycznego modułu ścisłości pierwotnej  $M_0$  od wskaźnika porowatości  $e$

Najniższe wartości edometrycznych modułów ścisłości pierwotnej określonych w kierunku pionowym otrzymano dla próbek torfów 4, 6 oraz 7v, a najwyższe dla próbek 1 i 2. Jak wynika z rysunku 2 oraz z tabeli 3 wartości modułów ścisłości  $M_0$  dla próbek pobranych w kierunku pionowym są o około 15% mniejsze od wartości tych samych modułów wyznaczonych dla torfów pobranych w kierunku poziomym.

## 5. Współczynnik konsolidacji

Na podstawie badań ściśliwości współczynnik konsolidacji  $c_v$  może być wyznaczony dwiema metodami: Casagrande'a i Taylora (Head, 1994).

W normie PKN-CEN ISO/TS 17892-5 metoda Casagrande'a nazywana jest dopasowaniem krzywej logarytmu czasu. Najważniejszą czynnością, jaką należy wykonać podczas stosowania metody Casagrande'a jest wyznaczenie czasu  $t_{50}$ , czyli czasu 50% konsolidacji (rys. 3). W tym celu należy poprowadzić proste będące przedłużeniem krzywej konsolidacji pierwotnej i wtórnej. Punkt, w którym przetną się proste jest punktem wyznaczającym 100% konsolidacji. Następnie należy poprowadzić dwie proste poziome. Pierwsza z nich ma przechodzić przez początek krzywej konsolidacji, zaś druga przez punkt wyznaczający 100% konsolidacji. Połowa różnicy rzędnych prostych poziomych wyznacza punkt 50% konsolidacji.



Rys. 3. Metoda Casagrande'a wyznaczania współczynnika konsolidacji  $c_v$  (Head, 1994)

W metodzie Casagrande'a współczynnik konsolidacji wyznaczany jest z zależności (PKN-CEN ISO/TS 17892-5):

$$c_v = \frac{0,197L^2}{t_{50}} \quad (9)$$

gdzie: 0,197 jest wartością współczynnika czasu dla stopnia konsolidacji  $U = 0,5$ , zaś  $L$  jest długością drogi odpływu wody (dla próbek z odpływem górą i dołem),  $t_{50}$  jest czasem 50% konsolidacji.

W metodzie Taylora analizuje się zmiany wysokości próbki w zależności od pierwiastka czasu wyrażonego w minutach (rys. 4). Początkowy prostoliniowy odcinek wykresu należy przedłużyć tak, aby przeciął się osią rzędnych. Z powstałego punktu należy poprowadzić prostą, która we wszystkich punktach ma odcięte 1,15 razy większe od tych wyznaczonych przez prostoliniowy odcinek wykresu. Na przecięciu z krzywą konsolidacji powstaje punkt odpowiadający czasowi 90% procent konsolidacji.

Tab. 1. Parametry fizyczne torfów

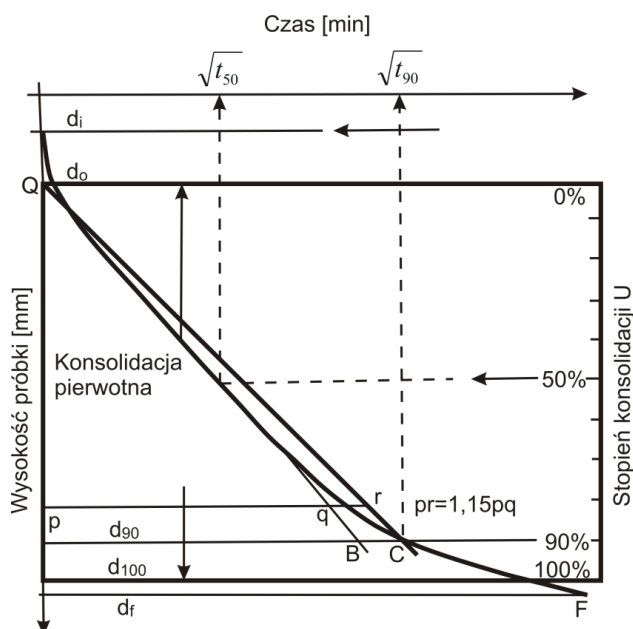
| Numer próbki | Wilgotność $w$ | Ciężar objętościowy $\gamma$ | Gęstość właściwa $\rho_s$ | Zawartość części organicznych $I_{om}$ | Stopień rozkładu |
|--------------|----------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------------------|------------------|
|              | [%]            | [kN/m <sup>3</sup> ]         | [g/cm <sup>3</sup> ]      | [%]                                    | [%]              |
| 1            | 236,5          | 11,3                         | 1,47                      | 90,6                                   | 40 - 50          |
| 2            | 320,2          | 10,2                         | 1,49                      | 88,2                                   | 60 - 70          |
| 3            | 465,4          | 8,9                          | 1,47                      | 90,7                                   | 40 - 50          |
| 4            | 449,0          | 9,4                          | 1,46                      | 92,4                                   | 60 - 70          |
| 5            | 315,8          | 9,4                          | 1,70                      | 64,2                                   | 70 - 80          |
| 6            | 315,8          | 9,4                          | 1,70                      | 64,2                                   | 70 - 80          |
| 7v           | 941,0          | 8,3                          | 1,42                      | 97,9                                   | 20 - 30          |
| 7h           | 965,1          | 8,8                          | 1,43                      | 97,4                                   | 20 - 30          |
| 8            | 451,4          | 9,3                          | 1,49                      | 88,6                                   | 70 - 80          |

Tab. 2. Wskaźniki porowatości badanych torfów

| Napięcie pionowe [kPa] | Wskaźnik porowatości $e$ [-] |          |          |          |          |          |           |           |          |
|------------------------|------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|
|                        | Próbka 1                     | Próbka 2 | Próbka 3 | Próbka 4 | Próbka 5 | Próbka 6 | Próbka 7v | Próbka 7h | Próbka 8 |
| 0                      | 3,399                        | 5,164    | 8,390    | 7,532    | 6,565    | 6,447    | 16,810    | 16,308    | 7,874    |
| 15                     | 3,048                        | 4,696    | 7,270    | 6,308    | 5,559    | 5,092    | 13,337    | 13,293    | 6,929    |
| 32                     | 2,743                        | 4,442    | 6,251    | 5,139    | 5,103    | 4,355    | 11,690    | 11,313    | 6,192    |
| 64                     | 2,376                        | 3,754    | 4,925    | 4,053    | 4,144    | 3,554    | 8,047     | 8,503     | 5,269    |
| 96                     | -                            | -        | -        | -        | -        | 3,113    | -         | -         | -        |
| 128                    | 1,829                        | 2,998    | 3,920    | -        | 3,289    | -        | -         | -         | 4,366    |
| 256                    | 1,309                        | 2,229    | -        | -        | -        | -        | -         | -         | 3,455    |

Tab. 3. Wartości edometrycznych modułów ścisłości pierwotnej

| Napięcie pionowe [kPa] | Edometryczne moduły ścisłości pierwotnej $M_0$ [kPa] |          |          |          |          |          |           |           |          |
|------------------------|------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|
|                        | Próbka 1                                             | Próbka 2 | Próbka 3 | Próbka 4 | Próbka 5 | Próbka 6 | Próbka 7v | Próbka 7h | Próbka 8 |
| 0                      | 191,4                                                | 154,6    | 71,1     | 47,3     | 66,9     | 38,5     | 71,0      | 85,0      | 101,0    |
| 15                     | 219,9                                                | 184,6    | 99,6     | 78,8     | 102,9    | 83,5     | 86,0      | 99,6      | 140,0    |
| 32                     | 252,2                                                | 218,6    | 131,9    | 114,5    | 143,7    | 134,5    | 103,0     | 116,6     | 184,2    |
| 64                     | 313,0                                                | 282,6    | 192,7    | 181,7    | 220,5    | 230,5    | 135,0     | 148,6     | 267,4    |
| 96                     | -                                                    | -        | -        | -        | -        | 326,5    | -         | -         | -        |
| 128                    | 434,6                                                | 410,6    | 314,3    | -        | 374,1    | -        | -         | -         | 433,8    |
| 256                    | 677,8                                                | 666,6    | -        | -        | -        | -        | -         | -         | 766,6    |



Rys. 4. Metoda Taylora wyznaczania współczynnika konsolidacji  $c_v$  (Head, 1994)

W metodzie Taylora współczynnik konsolidacji  $c_v$  wyznaczany jest ze wzoru (PKN-CEN ISO/TS 17892-5):

$$c_v = \frac{0,848L^2}{t_{90}} \quad (10)$$

gdzie: 0,848 jest wartością współczynnika czasu dla stopnia konsolidacji  $U = 0,9$ , zaś  $t_{90}$  jest czasem 90% konsolidacji.

Jeżeli temperatura w laboratorium w trakcie prowadzenia badań znacząco różni się od 20°C, należy zastosować poprawkę  $f_T$ , której wartość podaje norma PKN-CEN ISO/TS 17892-5.

W przypadku, gdy znany jest aktualny czas odpowiadający danemu stopniowi konsolidacji, współczynnik  $c_v$  może być wyznaczony z zależności (Head, 1994):

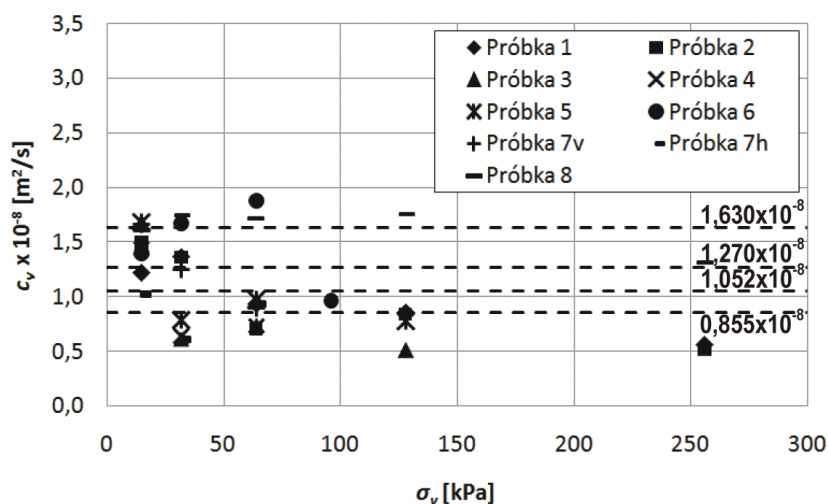
$$c_v = T_v \frac{L^2}{t} \quad (11)$$

gdzie:  $T_v$  jest współczynnikiem czasu odczytanym z tablicy w zależności od stopnia konsolidacji  $U$ ,  $t$  jest czasem odpowiadającym danemu stopniowi konsolidacji.

Obliczone dla badanych torfów współczynniki konsolidacji  $c_v$  wyznaczone na podstawie wzoru (11) przedstawiono w tabeli 4 i na rysunku 5.

Tab. 4. Wartości współczynników konsolidacji  $c_v$

| Napężenie pionowe [kPa] | Współczynniki konsolidacji $c_v \times 10^{-8}$ [m <sup>2</sup> /s] |          |          |          |          |          |           |           |          |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|
|                         | Próbka 1                                                            | Próbka 2 | Próbka 3 | Próbka 4 | Próbka 5 | Próbka 6 | Próbka 7v | Próbka 7h | Próbka 8 |
| 15                      | 1,222                                                               | 1,491    | 1,681    | 1,438    | 1,682    | 1,392    | 1,660     | 1,023     | 1,606    |
| 32                      | 1,371                                                               | 1,357    | 0,611    | 0,635    | 0,784    | 1,667    | 1,252     | 0,607     | 1,749    |
| 64                      | 0,930                                                               | 0,697    | 0,741    | 0,731    | 0,974    | 1,879    | 0,897     | 0,934     | 1,719    |
| 96                      | -                                                                   | -        | -        | -        | -        | 0,959    | -         | -         | -        |
| 128                     | 0,857                                                               | 0,837    | 0,510    | -        | 0,777    | -        | -         | -         | 1,759    |
| 256                     | 0,558                                                               | 0,511    | -        | -        | -        | -        | -         | -         | 1,316    |



Rys. 5. Zależność współczynnika konsolidacji  $c_v$  od napężenia pionowego

Według Smitha i Smitha (1998) wartość współczynnika konsolidacji jest stała i nie zależy od wielkości naprężeń pionowych. Zatem do dalszych obliczeń przyjęto stałą wartość współczynnika konsolidacji będącą średnią wartością otrzymaną z badań próbek. Dla próbek torfów o numerach od 1 do 6 średnia wartość współczynnika konsolidacji wyniosła  $c_v = 1,052 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  (rys. 5). Wartość współczynnika konsolidacji dla próbek 7v jest równa  $c_{v,v} = 1,270 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ , natomiast dla próbek 7h,  $c_{v,h} = 0,855 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  (rys. 5). Dla próbki 8 wartość współczynnika konsolidacji wynosi  $c_v = 1,630 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$  (rys. 5). Otrzymane z badań wartości współczynników konsolidacji torfów są porównywalne z wartościami przedstawionymi przez Gabryś i Szymańskiego (2010) oraz przez Malinowską i in. (2013).

Współczynniki konsolidacji próbek torfów 7v, pobranych w kierunku pionowym, są o około 50% większe od tych samych współczynników wyznaczonych dla próbek 7h, które pobrano w kierunku poziomym.

## 6. Współczynnik filtracji

Współczynnik filtracji torfów mieści się w szerokim

przedziale od około  $10^{-10}$  do  $10^{-3} \text{ m/s}$  (Borys, 1993). Na wartość współczynnika filtracji torfów mają wpływ: rodzaj torfu oraz stopień rozkładu. Wraz ze wzrostem stopnia rozkładu maleje współczynnik filtracji (Borys, 1993). Wartość współczynnika filtracji zależy również od wskaźnika porowatości  $e$ . Im wyższa jest wartość wskaźnika porowatości, tym większą wartość przyjmuje współczynnik filtracji. Powszechnie przyjmuje się, że wartość współczynnika filtracji jest proporcjonalna do  $e^3/(1+e)$  (Shahabi i in., 1984; Carrier, 2003; Chapuis, 2012).

W oparciu o badania ściśliwości gruntów, współczynnik filtracji może być wyznaczony ze wzoru (Terzaghi, 1943; Head, 1994; Smith i Smith, 1998; Kowalczyk i in., 2013):

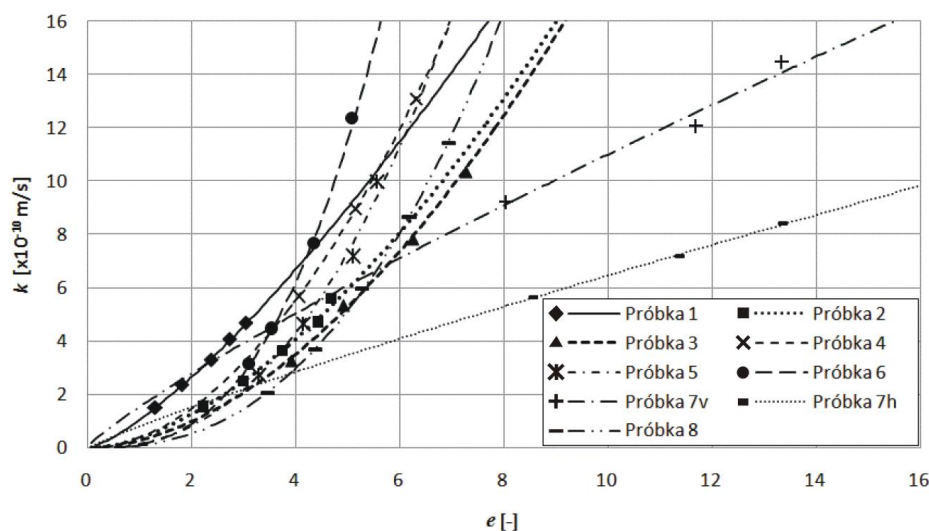
$$k = \frac{c_v \gamma_w}{M_0} \quad (12)$$

gdzie  $\gamma_w$  jest ciężarem objętościowym wody.

Wartości współczynnika filtracji wyznaczone na podstawie wzoru (12) przedstawiono w tabeli 5. Natomiast zależność współczynnika filtracji  $k$  od wskaźnika porowatości  $e$  przedstawiono na rysunku 6.

Tab. 5. Wartości współczynników filtracji  $k$  wyznaczone na podstawie wzoru (12)

| Naprężenie pionowe [kPa] | Współczynniki konsolidacji $k \times 10^{-10} \text{ [m/s]}$ |          |          |          |          |          |           |           |          |
|--------------------------|--------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|----------|
|                          | Próbka 1                                                     | Próbka 2 | Próbka 3 | Próbka 4 | Próbka 5 | Próbka 6 | Próbka 7v | Próbka 7h | Próbka 8 |
| 15                       | 4,693                                                        | 5,591    | 10,362   | 13,097   | 10,029   | 12,359   | 14,487    | 8,421     | 11,422   |
| 32                       | 4,092                                                        | 4,721    | 7,824    | 9,013    | 7,182    | 7,673    | 12,096    | 7,193     | 8,681    |
| 64                       | 3,297                                                        | 3,652    | 5,356    | 5,680    | 4,680    | 4,477    | 9,229     | 5,644     | 5,980    |
| 96                       | -                                                            | -        | -        | -        | -        | 3,161    | -         | -         | -        |
| 128                      | 2,375                                                        | 2,513    | 3,284    | -        | 2,759    | -        | -         | -         | 3,686    |
| 256                      | 1,523                                                        | 1,548    | -        | -        | -        | -        | -         | -         | 2,086    |



Rys. 6. Zależność współczynnika filtracji  $k$  od wskaźnika porowatości  $e$

Najwyższe wartości współczynnika filtracji określonego w kierunku pionowym uzyskano dla próbek torfów o numerach: 4, 6, 7v. Najniższe wartości współczynnika filtracji otrzymano dla próbek 1 oraz 2. Wyznaczone wartości współczynnika filtracji torfów są zbliżone do przedstawionych przez Gabryś i Szymańskiego (2010).

Współczynnik filtracji próbki 7v, pobranej w kierunku pionowym, jest o około 70% wyższy od współczynnika filtracji próbki 7h, pobranej w kierunku poziomym.

## 7. Podsumowanie

Badania wykazały dużą zmienność współczynnika filtracji w zależności od wskaźnika porowatości torfów. Zależność ta jest najbardziej widoczna dla próbki torfu numer 8, dla której nastąpiło ponad pięciokrotne zmniejszenie współczynnika filtracji po badaniu ściśliwości.

W przypadku próbek torfów o numerach od 1 do 6 oraz próbki numer 8 widoczna jest nieliniowa zależność pomiędzy współczynnikiem filtracji i wskaźnikiem porowatości. Dla próbek torfów 7v i 7h zależność współczynnika filtracji od wskaźnika porowatości jest zbliżona do liniowej.

Dla badanych torfów nie można powiązać wielkości współczynnika filtracji ze stopniem ich rozkładu, gdyż największą wartość współczynnika filtracji w kierunku pionowym otrzymano zarówno dla torfów o największym (próbka numer 6), jak i najmniejszym stopniu rozkładu (próbki 7v).

Przeprowadzone badania wykazały dużą ściśliwość badanych torfów. Największą ściśliwością określoną w kierunku pionowym charakteryzują się próbki 7v, o najmniejszym stopniu rozkładu. W trakcie badania nastąpiło ponad dwukrotne zmniejszenie wskaźnika porowatości określonego dla tych próbek.

Badania ściśliwości próbek torfów 7v i 7h wykazały, że badane torfy są anizotropowe. Edometryczny moduł ściśliwości pierwotnej próbek pobranych w kierunku pionowym jest o około 15% mniejszy od tego samego parametru określonego dla próbek pobranych w kierunku poziomym. Współczynnik konsolidacji określony dla próbek 7v jest o około 50% większy od współczynnika konsolidacji wyznaczonego dla próbek 7h. Natomiast wartość współczynnika filtracji dla próbek pobranych w kierunku pionowym jest o około 70% wyższa od wartości współczynnika filtracji określonej dla próbek pobranych w kierunku poziomym.

Badania przeprowadzone na dziewięciu próbkach torfów wykazały duże różnice w wartościach tych samych parametrów określonych dla poszczególnych próbek. Największe różnice są widoczne w wartościach wilgotności naturalnej, wskaźnika porowatości, edometrycznego modułu ściśliwości pierwotnej oraz współczynnika filtracji.

## Literatura

- Borys M. (1993). Niskie nasypy z miejscowych gruntów organicznych dla potrzeb budownictwa wodno-melioracyjnego. *Wydawnictwo IMUZ*, Falenty.
- Carrier W. D. (2003). Goodbye, Hazen; Hello, Kozeny-Carman. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 129, No. 11, 1054-1056.
- Chapuis R. P. (2012). Predicting the saturated hydraulic conductivity of soils: a review. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol. 71, No. 3, 401-434.
- Gabryś K., Szymański A. (2010). The analysis of consolidation in organic soils. *Annals of Warsaw University of Life Sciences - SGGW*, Vol. 42, No. 2, 261-270.
- Head K. H. (1994). Manual of soil laboratory testing. Vol. 2. *John Wiley & Sons*, New York - Toronto.
- Kowalczyk S., Szczepański T., Dobak P. (2013). Charakterystyka rozkładu ciśnienia porowego w badaniach konsolidacji past gruntowych z północnopolskich glin zwałowych. *Budownictwo i Inżynieria Środowiska*, Vol. 4, Nr 2, 127-134.
- Lechowicz Z., Szymański A. (2002). Odształcenia i Stateczność Nasypów na Gruntach Organicznych. Cz. I: Metodyka badań. *Wydawnictwo SGGW*, Warszawa.
- Malinowska E., Bursa B., Chmielnicki P., Dziuba W. (2013). Wyznaczanie współczynnika konsolidacji pionowej i poziomej w słabonośnych gruntach organicznych. *Acta Scientiarum Polonorum: Architectura*, Vol. 12, No. 1, 63-74.
- Myślińska E. (1999). Parametry fizyczne torfów i ocena metod ich oznaczania. *Przegląd Geologiczny*, Vol. 47, Nr 7, 676-682.
- Shahabi A. A., Das B. M., Tarquin A. J. (1984). Empirical relation for coefficient of permeability of sand. *Proc. 4th Australia-New Zealand Conference on Geomechanics*, Vol. 84, No. 2, 54-57.
- Smith G. N., Smith I. G. N. (1998). Elements of Soil Mechanics. 7<sup>th</sup> Ed., *Blackwell Science*, Oxford.
- Terzaghi K. (1943). Theoretical Soil Mechanics. *John Wiley & Sons, Inc.*, New York - London.
- Wiłun Z. (2013). Zarys Geotechniki. *Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ*, Warszawa.

## COEFFICIENT OF PERMEABILITY OF PEAT

**Abstract:** The paper presents the results of oedometer tests of peat samples. The aim of the research was to determine coefficient of permeability of peat. The oedometer tests were carried out on samples taken from the subsoil of Bargłów Kościelny bypass road. Samples were taken in the vertical and horizontal directions. The oedometer tests were conducted using a set of five oedometers with the possibility of automatic registration of displacement sensor readings. On the basis of test results the oedometric modulus of primary compression, consolidation coefficient and the coefficient of permeability were determined. It was shown that the values of parameters determined for samples taken in the vertical and horizontal directions were significantly different. The values of the determined parameters were compared with the values given in the literature.

Badania zostały zrealizowane w Politechnice Białostockiej w ramach pracy nr MB/WBiŚ/1/2015 i sfinansowane ze środków na naukę MNiSW.