

Przebieg procesu konsolidacji podłoża ze szlamów poflotacyjnych przy zmiennej przepuszczalności

Jan Gaszyński*, Eugeniusz Zawisza**



J. Gaszyński

E. Zawisza

Course of the consolidation process of the subsoil made of coal sludges with varying permeability. Prz. Geol., 53: 763–765.

S u m m a r y. The paper presents results of calculations of the course of the consolidation process of coal sludges subjected to the loading with consecutive heap layers made of coarse-grained colliery spoils. Geotechnical parameters of the sludges were assumed on the basis of the investigations carried out on the material from the sedimentation pond of the Coal Recovery Plant in Trachy. The colliery spoils were dumped in layers: the first layer — 2 m thick, the second and the third one — 4 m each, and the fourth — 8 m thick. The sludges deposited in the sedimentation pond were considered as a homogenous subsoil consolidating under the load applied on the surface. Taking into consideration the large surface of the pond (around 125 x 110 m) in relation to the thickness of the sludges (9 m), the problem was considered as the consolidation at the uniaxial state of strain. The results of the calculations are depicted in the dia-

grams of settlement and the degree of consolidation versus time. Taking into consideration changes of the sludge permeability as the load increases was found to significantly improve the assessment of the actual course of consolidation. The increase of consolidation time with the diminishing permeability coefficient results in slower dissipation of the pore pressure and thus in slower increase of the effective stress. This issue is very important for the bearing capacity of the subsoil and the stability of the colliery spoils heap built on it.

Key words: coal sludges, consolidation

Osadniki szlamów powęglowych, powstających jako odpady poflotacyjne w procesie wzbogacania węgla, mogą być, po zakończeniu składowania szlamów i odsączeniu wody, wykorzystane do zwałowania gruboziarnistych odpadów powęglowych. Szlamy są materiałem bardzo drobnym o małej wodoprzepuszczalności, zmiennej konsystencji i wynikającej stąd ograniczonej wytrzymałości oraz dużej ściśliwości. Dla określenia możliwości zwałowania odpadów powęglowych na powierzchni osadników szlamów należy przeprowadzić obliczenia spodziewanych osiadań podłoża z uwzględnieniem przebiegu konsolidacji przy zadanym obciążeniu. Parametry do obliczeń mogą być określone na podstawie badań terenowych i laboratoryjnych.

Niniejszy artykuł stanowi kontynuację poprzedniej pracy autorów (Gaszyński & Zawisza, 2005), w której dokonano analizy przebiegu procesu konsolidacji podłoża ze szlamów poflotacyjnych, poddanego różnym programom obciążania od kolejno formowanych warstw zwału z gruboziarnistych odpadów powęglowych przy jednakowej przepuszczalności szlamów. W prezentowanej pracy uwzględniono zmienną przepuszczalność szlamów w podłożu na skutek stopniowej konsolidacji. Obliczenia wykonano dla jednego programu obciążania. Podstawę analizy stanowią wyniki obliczeń spodziewanych osiadań oraz stopnia konsolidacji podłoża pod obciążeniem warstwami zwału o różnej grubości, przy założonym modelu konsolidacji.

Założenia obliczeniowe

Parametry charakteryzujące właściwości fizyczne i mechaniczne szlamów poflotacyjnych przyjęto na podstawie badań Zawiszy i in. (1993), przeprowadzonych na materiale z osadnika Zakładu Odzysku Węgla w Trachach. Podłoże rodzime stanowią zagęszczone piaski drobne. Skarpy osadnika o nachyleniu ok. 45° są zbudowane z zagęszczonych gruboziarnistych odpadów powęglowych. Szlamy w osadniku, o łącznej grubości 9 m miały zmienną konsystencję w przekroju pionowym. Dolna warstwa szlamu o grubości 1 m zalegająca na podłożu piaszczystym była w stanie twardoplastycznym, na niej zalegała warstwa o grubości ok. 5 m w stanie plastycznym, wyżej wyróżniono dwie warstwy (każdą o grubości 1,5 m) — charakteryzujące się stanami miękoplastycznymi. W tab. 1 zestawiono wartości podstawowych parametrów geotechnicznych szlamów w osadniku, odpadów powęglowych w formowanym zwale i gruntu podłoża.

Sposób zwałowania przyjęto taki sam jak opisany w poprzednich pracach Zawiszy i in. (2004) oraz Gaszyńskiego i Zawiszy (2005). Grubość pierwszej warstwy zwału z gruboziarnistych odpadów powęglowych przyjęto 2 m, drugiej i trzeciej po 4 m, a czwartej 8 m.

Zalegające w osadniku szlamy potraktowano jako jednorodne podłoże konsolidujące pod obciążeniem przyłożonym na powierzchni. Biorąc pod uwagę dużą powierzchnię osadnika (ok. 125 x 110 m) w stosunku do grubości szlamów (9 m), zagadnienie potraktowano jako konsolidację w jednoosiowym stanie odkształcenia. Za takim rozwiązaniem przemawia następujące uzasadnienie:

□ do wykonywanych w takim przypadku obliczeń można wykorzystać powszechnie znane i oznaczane parametry geotechniczne (M_o , k), co ułatwia korzystanie z algorytmu obliczeniowego w praktyce (Jeske i in., 1966, Januszkiewicz-Bednarczyk & Zawisza, 1981);

*Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Środowiska, Instytut Geotechniki, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków; jgaszyn@pk.edu.pl

**Akademia Rolnicza, Zakład Mechaniki Gruntów i Budownictwa Ziarnego, al. Mickiewicza 24/28, 30-059 Kraków; kmgibz@ar.krakow.pl

Tab. 1. Podstawowe właściwości fizyczne i mechaniczne szlamów, odpadów powęglowych i gruntu podłoża
 Table 1. Basic physical and mechanical properties of the sludges, colliery spoils and the subsoil

Material <i>Material</i>	Ciężar objętościowy <i>Bulk density</i> [kN/m ³]	Współczynnik przepuszczalności <i>Permeability coefficient</i> [m/s]	Moduł ścisłości pierwotnej <i>Primary compressibility modulus</i> [kPa]	Spójność <i>Cohesion</i> [kPa]	Kąt tarcia wewnętrznego <i>Angle of internal friction</i> [°]
Szlamy <i>Sludges</i>	14,62–15,99	10 ⁻⁸ –10 ⁻⁷	4700	4–10	3–21
Odpady powęglowe <i>Colliery spoils</i>	17,17	10 ⁻²	16000	10	33
Piasek drobny <i>Fine sand</i>	17,66	10 ⁻³	30000	0	30

□ obciążenie szlamów narasta w miarę równomiernie na całej powierzchni na skutek stopniowego formowania warstw zwału z odpadów powęglowych.

Osiadanie powierzchni szlamów spowodowane stałym obciążeniem q opisuje zależność (Gaszyński, 1984; Jeske i in., 1966):

$$w(t) = [1 - F_k(t)] \frac{h \cdot q}{E_k} + F_k(t) \cdot \frac{h \cdot q}{E_p} \quad [1]$$

gdzie:

$$F_k(t) = \frac{8}{\pi^2} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\exp[-(2k-1)^2 \pi^2 \cdot t_k]}{(2k-1)^2} \quad [2]$$

$$t_k = \frac{kM_0}{4h^2} \cdot t \quad [3]$$

t — czas

q — obciążenie brzegu

h — miąższość warstwy

k — współczynnik przepuszczalności

M_0 — moduł ścisłości pierwotnej

$$E_p = \infty$$

w modelu Terzagiego

$$E_k = M_0$$

Przy uwzględnieniu zmiennego w czasie obciążenia mającego istotny wpływ na przebieg procesu konsolidacji szlamów, osiadanie opisuje zależność:

$$w(t) = \int_0^t \frac{dq(\tau)}{d\tau} \left\{ [1 - F_k(\tau)] \cdot \frac{h}{E_k} + F_k(\tau) \cdot \frac{h}{E_p} \right\} d\tau \quad [4]$$

Funkcja $q(\tau)$ opisuje zmienne w czasie obciążenie. Wartości obciążenia od kolejnych warstw zwału z odpadów powęglowych wynoszą:

$$q_1 = 2,0 \text{ m} \cdot 17,17 \text{ kN/m}^3 = 34,34 \text{ kN/m}^2,$$

$$q_2 = 4,0 \text{ m} \cdot 17,17 \text{ kN/m}^3 = 68,68 \text{ kN/m}^2,$$

$$q_3 = 4,0 \text{ m} \cdot 17,17 \text{ kN/m}^3 = 68,68 \text{ kN/m}^2,$$

$$q_4 = 8,0 \text{ m} \cdot 17,17 \text{ kN/m}^3 = 137,36 \text{ kN/m}^2.$$

W obliczeniach uwzględniono jednakową prędkość przykadanego obciążenia (czas formowania zwału na osadniku szlamów — tab. 2). Przyjęto, że w wyniku konsolidacji szlamów pod kolejno formowanymi warstwami zwału ich przepuszczalność będzie się zmniejszać od $k = 10^{-7}$ m/s (szlamy nieobciążone) do $k = 10^{-9}$ m/s (szlamy po obciążeniu trzecią warstwą zwału). Taki zakres wartości współczynnika przepuszczalności szlamów wynika zarów-

Tab. 2. Program obciążania osadnika szlamów odpadami powęglowymi oraz wartości współczynnika przepuszczalności
 Table 2. Programme of loading the sedimentation pond with colliery spoils and the values of permeability coefficient

Czas [doby] <i>Time [days]</i>			Obciążenie <i>Load [kPa]</i>		Współczynnik przepuszczalności <i>Permeability coefficient [m/s]</i>
Obciążenia <i>Loading</i>	Przerwy <i>Breaks</i>	Całkowity <i>Total</i>	W etapie <i>At a stage</i>	Całkowite <i>Total</i>	
15	–	15	34,34	34,34	10 ⁻⁷
–	15	30	–	34,34	
30	–	60	68,68	103,02	10 ⁻⁸
–	30	90	–	103,02	
30	–	120	68,68	171,70	10 ⁻⁹
–	30	150	–	171,70	
60	–	210	137,36	309,06	10 ⁻⁹

Ryc. 1. Wykresy przyrostu obciążenia (a), osiadania (b) i stopnia konsolidacji (c) w funkcji czasu

Fig. 1. Increase of loading (a), settlement (b) and degree of consolidation (c) versus time

no z cytowanych wyżej badań własnych jak i innych autorów (Kawalec & Kawalec, 1995).

Wyniki obliczeń

Do obliczeń przebiegu procesu konsolidacji podłoża zbudowanego ze szlamu, obciążanego według przyjętego programu kolejnymi warstwami zwału z odpadów powęglowych, przyjęto wcześniej omówiony model konsolidacji oraz wykorzystano własne programy. Na ryc. 1 przedstawiono wykresy przedstawiające zmiany obciążenia oraz osiadania i stopnia konsolidacji szlamów w osadniku w funkcji czasu.

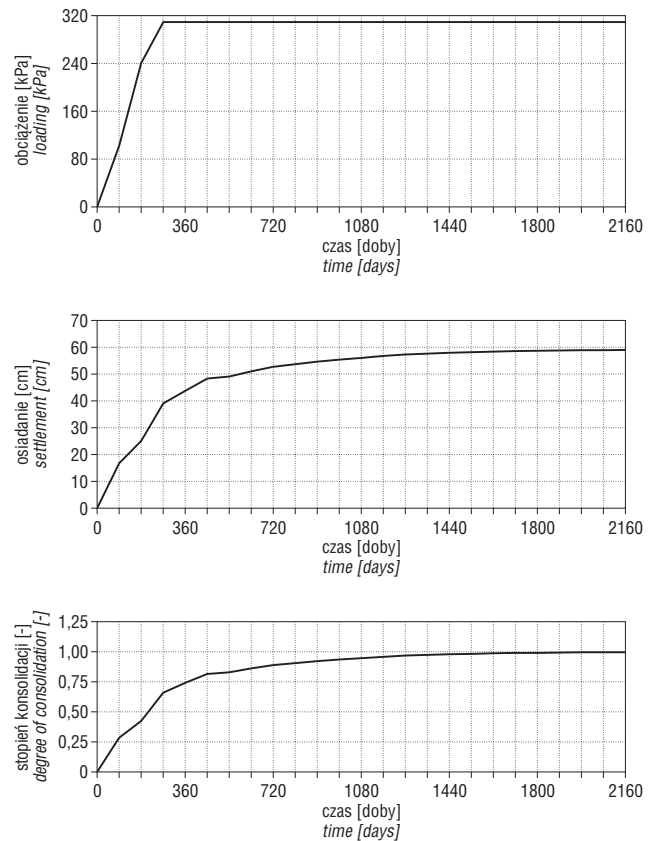
Analizując przebieg wykresów można stwierdzić, że czas konsolidacji podłoża ze szlamów znacznie przekracza czas przyłożenia obciążenia. Jest to istotna różnica pomiędzy wynikami prezentowanymi, a przedstawionymi w poprzedniej pracy autorów (Gaszyński & Zawisza 2005). W cytowanej pracy wykazano, że czas konsolidacji był zależny od prędkości przyrostu obciążenia (dla przyrostu obciążenia odpowiadającego przyjętemu w niniejszej pracy — por. tab. 2 — i stałego współczynnika filtracji szlamów, konsolidacja kończyła się stosunkowo szybko, tj. po ok. 4 miesiącach od przyłożenia obciążenia). W rozważanym w niniejszej pracy zadaniu ze zmiennym współczynnikiem filtracji konsolidacja szlamów trwała bardzo długo, tj. ponad 5 lat od przyłożenia obciążenia.

Wnioski

Analiza otrzymanych wyników obliczeń przebiegu procesu konsolidacji szlamów poflotacyjnych pod narastającym obciążeniem zewnętrznym pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Stwierdzono, że uwzględnienie zmian przepuszczalności szlamów zachodzących w wyniku zwiększania obciążenia ma istotny wpływ na realne oszacowanie przebiegu procesu konsolidacji; wskazuje na to porównanie wartości osiadań dla stałego i zmniejszającego się współczynnika przepuszczalności.

2. Otrzymane rezultaty mają istotne znaczenie przy ustalaniu czasu konsolidacji oraz spodziewanych przemieszczeń obciążonego podłoża ze szlamów poflotacyjnych.



3. Zwiększanie się czasu konsolidacji, przy zmniejszającym się współczynniku przepuszczalności, wpływa na wolniejszą dysypację ciśnienia porowego i wynikający stąd wolniejszy wzrost naprężeń efektywnych. Problem ten ma ważne znaczenie dla nośności podłoża oraz stateczności nadbudowywanego na nim zwałowiska odpadów powęglowych.

Literatura

- GASZYŃSKI J. 1984 — Identyfikacja modelu Konsolidacji Biota na podstawie realizacji jednoosiowego zadania brzegowego. Arch. Hydrotechniki, 31: 1–2.
- GASZYŃSKI J. & ZAWISZA E. 2005 — Analiza procesu konsolidacji podłoża ze szlamów poflotacyjnych poddanych zmiennemu w czasie obciążeniu. Materiały XXVIII Zimowej Szkoły Mechaniki Górniczej i Geoinżynierii, Szklarska Poręba. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej: 175–182.
- JESKE T., PRZEDECKI T. & ROSIŃSKI B. 1966 — Mechanika gruntów. PWN, Warszawa.
- JUSZKIEWICZ-BEDNARCZYK B. & ZAWISZA W. 1981 — Determination of Terzaghi's consolidation parameters by conjugate gradients method. Archiwum Hydrotechniki, 28.
- KAWALEC B. & KAWALEC J. 1995 — Odpady kopalniane jako warstwa uszczelniająca odpadów przemysłowych. Z. Nauk. Politechniki Śląskiej, seria: Budownictwo, 81: 447–458.
- ZAWISZA E., SETMAJER J. & SKALICZ F. 1993 — Ekspertyza w zakresie możliwości zwałowania osadników szlamu z Zakładu Odzysku Węgla w Trachach odpadami powęglowymi. Manuskrypt.
- ZAWISZA E., BARAN P. & CAŁA M. 2004 — Obliczenia stateczności podłoża ze szlamów poflotacyjnych obciążonego zwałem z odpadów powęglowych. [W:] Materiały 50 Konferencji Naukowej KILiW PAN i Komitetu Nauki PZITB, Krynica 2004, III: 281–288.