

## Projektowanie stromych skarp z gruntów słabo przepuszczalnych, zbrojonych geosiatkami drenującymi

Mgr inż. Jakub Bryk – Maccaferri Polska Sp. z o.o., Warszawa, Polska

Inż. Pietro Rimoldi – Officine Maccaferri SpA, Zola Predosa, Włochy

Dr inż. Patrick J. Naughton – Institute of Technology Sligo, Sligo, Irlandia

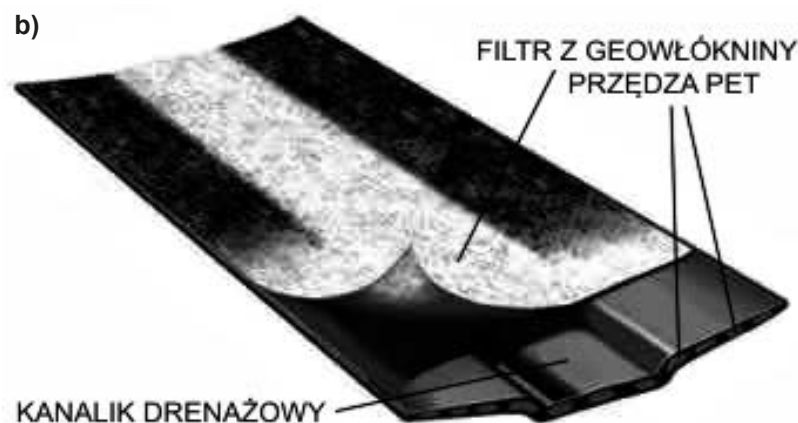
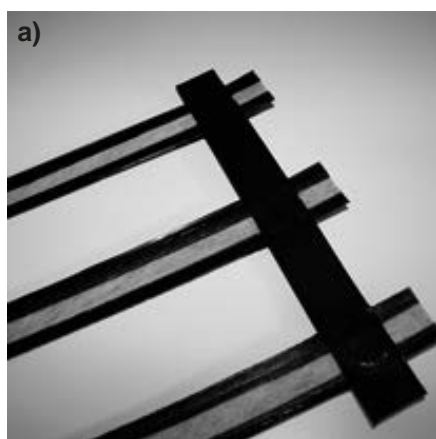
Skarpy i ściany oporowe z gruntu zbrojonego wykonuje się tradycyjnie z gruntów niespoistych, przepuszczalnych. W gruntach tych na ogół nie występuje nadciśnienie wody w porach, dzięki czemu wytrzymałość na ścinanie jest wysoka. Badania [5] i wieloletnie doświadczenia polowe [1] pokazują, że grunty słabo przepuszczalne mogą być stosowane również do wznoszenia skarp i ścian z gruntu zbrojonego, pod warunkiem zapewnienia odpowiedniego drenażu w nasypie gruntowym. Przy braku skutecznego drenażu podczas wznoszenia nasypu z gruntu spoistego powstaje nadciśnienie wody w porach gruntu. Ciśnienie wody w porach wpływa na zmniejszenie wytrzymałości na ścinanie gruntu oraz na obniżenie wytrzymałości na styku grunt / zbrojenie.

Geosiatki drenujące są produktami hybrydowymi, łączącymi właściwości zbrojenia i drenażu geosyntetycznego. Geosiatki te, oferowane przez firmę Maccaferri pod nazwą ParaDrain®, zaprojektowano specjalnie do zbrojenia nasypów z gruntów słabo przepuszczalnych, w tym gruntów spoistych. Geosiatki drenujące składają się z pasów podłużnych i poprzecznych

taśm (rys. 1a). Zadaniem taśm poprzecznych jest utrzymanie geometrii siatki, tj. stałej odległości pomiędzy pasami podłużnymi. Pasy podłużne pełnią funkcję zbrojącą i drenującą. Każdy z pasów (rys. 1b) składa się z dwóch elementów: (i) taśmy zbrojeniowej wykonanej z wytrzymałej przędzy poliestrowej w polimerowej osłonce oraz (ii) kanałka drenażowego, wyprofilowanego w taśmie. Filtr z geowłókniny zabezpiecza przed zatkanie kanałka ziarnami gruntu.

Geosiatki drenujące są stosowane w geotechnice od dekady. Korzystając z metody obliczeniowej [7], zaprojektowano i z powodzeniem wykonano wiele konstrukcji z gruntu spoistego, zbrojonego geosiatkami drenującymi.

W pierwszej części niniejszego artykułu omówiono zaktualizowaną metodę projektowania zbrojonych skarp i ścian z gruntów spoistych, zaproponowaną przez Giroud z zespołem [3]. W drugiej części artykułu przedstawiono analizę zależności pomiędzy właściwościami filtracyjnymi gruntu a wymaganym rozstawem, długością i przepuszczalnością właściwą zbrojenia w skarpie lub ścianie.



Rys. 1. Układ geosiatki drenującej (a) i szczegółowy widok pasa podłużnego (b)

## WŁAŚCIWOŚCI GRUNTU SŁABO PRZEPUSZCZALNEGO

Właściwości gruntów słabo przepuszczalnych stosowanych do budowy nasypów mogą być bardzo różne, szczególnie w zakresie wytrzymałości na ścinanie oraz ściśliwości. Najczęściej spotyka się grunty o efektywnym kącie tarcia wewnętrznego  $20^\circ \geq \phi' \geq 30^\circ$ ; spójności  $0 \geq c' \geq 20$  kPa; współczynnika konsolidacji  $0,1 \geq C_v \geq 100$  m<sup>2</sup>/rok (dla niektórych pyłów nawet powyżej 100); współczynnika ściśliwości objętościowej  $0,01 \geq m_v \geq 5$  m<sup>2</sup>/MN. Współczynnik wodoprzepuszczalności gruntu słabo przepuszczalnego  $k$  można określać na podstawie klasycznej zależności:

$$k = \gamma_w C_v m_v \quad (1)$$

gdzie:

$\gamma_w$  – ciężar objętościowy wody.

W układzie SI podstawowymi jednostkami równania (1) są:  $k$  [m/s],  $\gamma_w$  [kN/m<sup>3</sup>],  $C_v$  [m<sup>2</sup>/s],  $m_v$  [m<sup>2</sup>/N] (współczynnik ściśliwości objętościowej jest odwrotnie proporcjonalny do edometrycznego modułu ściśliwości pierwotnej  $m_v = 1/M_o$ ).

## PROJEKTOWANIE Z ZASTOSOWANIEM GEOSIATEK DRENUJĄCYCH

### Geometria nasypu zbrojonego

Do zbrojenia ścian oporowych lub stromych skarpi stosuje się wiele warstw poziomego zbrojenia geosyntetycznego, często o jednakowej długości i w stałym rozstawie pionowym. Strefą zbrojoną określa się część nasypu ograniczoną warstwami zbrojenia. Za strefą zbrojoną często stosuje się drenaż pionowy, w celu zabezpieczenia przed napływem wody do strefy zbrojonej i/lub skrócenia drogi filtracji w geosiatce drenażującej o połowę. Jeżeli za zbrojeniem występuje drenaż (rys. 1a), woda ze strefy zbrojonej będzie odprowadzana w dwóch kierunkach. Przepływ będzie następował od płaszczyzny bezodpływowej pośrodku strefy zbrojonej do drenażu za zbrojeniem oraz w kierunku lica ściany/skarpy. Długość drenażu  $B$  jest równa odległości pomiędzy płaszczyzną bezodpływową a licem lub tyłem

strefy mierzonej po powierzchni zbrojenia. Przy braku drenażu za strefą zbrojoną (rys. 2b), długość drenażu jest 2 razy większa, ponieważ woda odprowadzana jest od tylnej płaszczyzny strefy do lica ściany/skarpy.

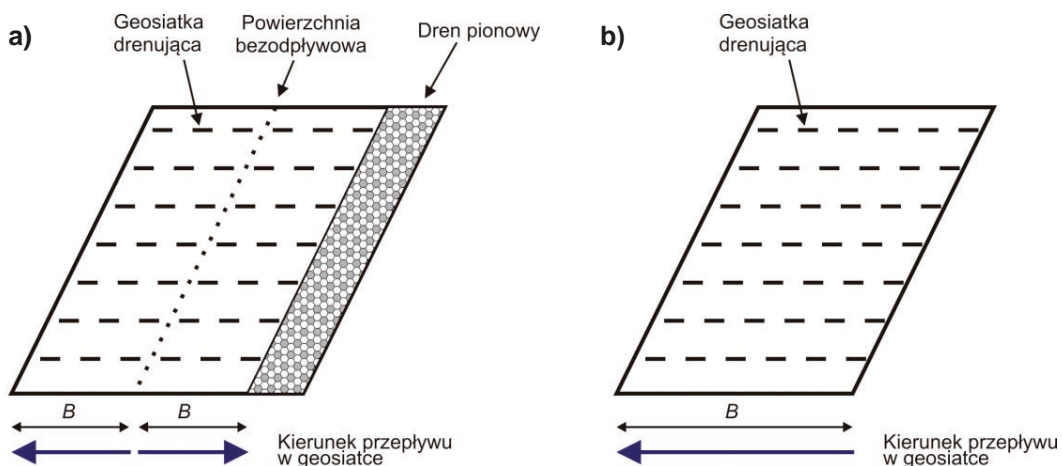
### Omówienie metody projektowej

Metoda projektowa zaproponowana przez Giroud z zespołem [3] obejmuje dwa etapy: (I) określenie wymaganej przepuszczalności właściwej geosiatki drenażującej i czasu wymaganego do pełnego rozproszenia nadciśnienia wody w porach gruntu oraz (II) sprawdzenie stateczności i osiadań skarpy lub ściany z gruntu zbrojonego.

Część druga metody jest klasycznym projektem gruntu zbrojonego geosyntetykami i nie będzie omawiana w niniejszym artykule.

### Określenie wymaganej przepuszczalności właściwej zbrojenia

Naprężenie wynikające z ciężaru nasypu (zwiększające się wraz z wysokością budowli) oraz z energii zagęszczania gruntu (podczas układania kolejnych warstw) powoduje powstawanie nadciśnienia wody w porach gruntu słabo przepuszczalnego. Woda z porów gruntu filtruje w nasypie pionowo, w kierunku najbliższego drenażu poziomego. Aby odpływ wody z nasypu do kanalików drenażowych w zbrojeniu był możliwy, ciśnienie wody w zbrojeniu musi być mniejsze od ciśnienia wody w porach gruntu. Inaczej niż w klasycznym założeniu w teorii konsolidacji, ciśnienie wody w kanaliku drenażowym jest zawsze większe od zera. Dzieje się tak dlatego, że przepływ wody w poziomym kanaliku w zbrojeniu jest możliwy tylko na skutek gradientu hydraulicznego wynikającego z różnicy ciśnień w zbrojeniu. Ciśnienie wody w kanaliku drenażowym jest najwyższe w punkcie bezodpływowym (rys. 2a) i równe zero na końcu lub końcach zbrojenia, na ogół przy licu ściany/skarpy oraz przy drenażu pionowym za zbrojeniem. W efekcie różnicy ciśnień występuje gradient hydrauliczny powodujący przepływ wody w kanaliku drenażowym, w kierunku końca / końców zbrojenia, gdzie ciśnienie wody jest równe zero.



Rys. 2. Geometria analizowanych skarpi zbrojonych geosyntetykami: z drenażem za zbrojeniem (a) oraz bez drenażu za strefą zbrojoną (b)  
Ściany oporowe z gruntu zbrojonego będą wyglądały podobnie, z tym, że lico będzie zbliżone do pionu

Maksymalne ciśnienie wody w kanalikach drenazowych nie może być ani zbyt duże, ani zbyt małe. Zbyt wysokie ciśnienie wody w kanaliku spowodowałoby spowolnienie napływu wody z gruntu do geosiatki drenującej. W przypadku zbyt małego ciśnienia wody w kanaliku drenazowym przepływ wody w kierunku poziomym, w płaszczyźnie geosiatki, byłby zbyt wolny.

Giroud [2] zaproponował rozwiązanie tego złożonego problemu, wykazując, że: (i) maksymalny dopływ wody z nasypu gruntowego do geosiatki drenującej występuje na koniec układania warstwy nasypu zalegającej bezpośrednio nad geosiatką oraz (ii) natężenie przepływu jest zależne od bezwymiarowego czynnika czasu  $T_o$ . Do rozważanego w artykule przypadku, tj. pionowej drogi filtracji równej  $H/2$  – połowie miąższości warstwy  $H$  gruntu słabo przepuszczalnego, współczynnik czasu wyznacza się z zależności:

$$T_o = \frac{4C_v t_o}{H^2} \quad (2)$$

gdzie:

$t_o$  – czas wbudowywania rozważanej warstwy gruntu,  
 $H$  – miąższość warstwy gruntu.

Założono, że geosiatki drenujące są instalowane pod każdą układaną warstwą gruntu, a tym samym, że pionowy rozstaw geosiatek oraz grubość warstw gruntu są takie same. Podstawowymi jednostkami SI są:  $C_v$  [ $m^2/s$ ],  $t_o$  [s],  $H$  [m].

Wymagana przepuszczalność właściwa jest przepuszczalnością właściwą poziomej geosiatki drenującej, zdolnej do odprowadzenia maksymalnego napływu wody z nasypu, przy akceptowalnym ciśnieniu wody w kanalikach geosiatki. Z przekształcenia teorii zaproponowanej przez Giroud [2], przy założeniu, że maksymalne ciśnienie wody w kanalikach geosiatki  $u_{max}$  wynosi 10% naprężenia pionowego w gruncie (stopień konsolidacji nasypu 90%), uzyskano następujące zależności na wymaganą przepuszczalność właściwą  $\theta_{req}$  geosiatki:

$$\theta_{req} = \frac{10B^2 k}{H\sqrt{T_o}} = \frac{5B^2 k}{\sqrt{C_v t_o}} \quad \text{dla } 1 \times 10^{-6} \leq T_o \leq 1 \quad (3)$$

$$\theta_{req} = \frac{10B^2 k}{HT_o} = \frac{5B^2 k}{2C_v t_o} \quad \text{dla } T_o \geq 1 \quad (4)$$

Przy  $T_o = 1$  równania są tożsame. Równania przyjmują prostszą postać po podstawieniu współczynnika  $k$  zamiast  $m_v$ . Jeżeli wartość  $k$  nie jest znana, można ją wyznaczyć na podstawie  $C_v$  i  $m_v$  z równania (1).

Na podstawie równań (3) i (4) widać, że: (i) wraz z dwukrotnym zmniejszeniem długości drenazu  $B$ , jak ma to miejsce w przypadku wykonania drenu pionowego za strefą zbrojną (rys. 1a), wymagana przepuszczalność właściwa geosiatki zmniejsza się czterokrotnie; (ii) wymagana przepuszczalność właściwa geosiatki jest wprost proporcjonalna do wodoprzepuszczalności gruntu  $k$ , tzn. szybszy napływ wody z nasypu wymaga większej przepuszczalności geosyntetyku oraz (iii) im krótszy będzie czas wznoszenia nasypu, tym większa będzie wymagana przepuszczalność właściwa geosiatki.

Przepuszczalność właściwa geosiatki wymagana ze względu na napływ wody z gruntu musi być mniejsza od dopuszczalnej przepuszczalności wynikającej z warunków przepływu w płaszczyźnie geosyntetyku. W przypadku wielu geosyntetyków drenazowych dopuszczalna przepuszczalność właściwa jest funkcją gra-

dientu hydraulicznego. Przybliżoną wartość gradientu w kanaliku drenazowym można wyznaczyć z zależności:

$$i_{avg} = \frac{u_{max}}{\gamma_w B} \quad (5)$$

gdzie:

$u_{max}$  – maksymalne dopuszczalne ciśnienie wody w kanaliku drenazowym. Zaleca się przyjmowanie  $u_{max} = 10\%$  składowej pionowej naprężenia w gruncie.

Obliczenia wykonane dla typowych parametrów pokazują, że spadek hydrauliczny w kanaliku drenazowym jest na ogół mniejszy od 1,0. Jak wykazano w [3], wyznaczanie spadku hydraulicznego w omawianych geosiatkach drenujących jest niekonieczne, ponieważ do celów praktycznych można przyjąć, że przepuszczalność właściwa geosiatki drenującej jest od niego niezależna.

### Wyznaczenie czasu potrzebnego do rozproszenia ciśnienia wody w porach gruntu

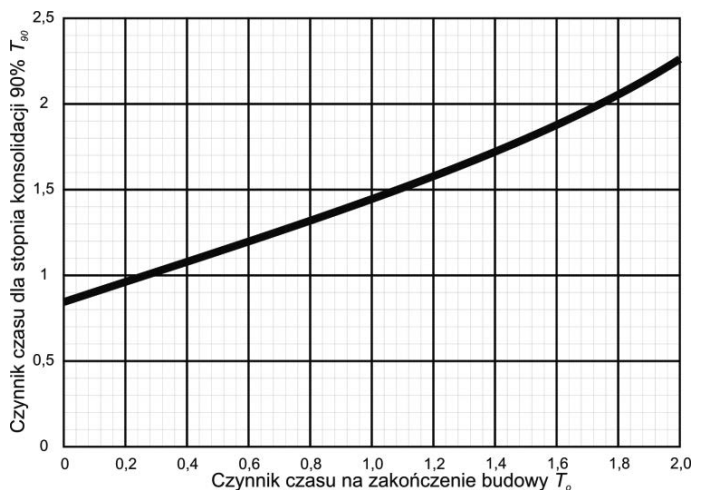
Na podstawie następującego klasycznego równania (podobnego do równania (2)) można określić czas wymagany do osiągnięcia stopnia konsolidacji równego 90% (tj. czas od rozpoczęcia budowy do momentu, w którym 90% nadciśnienia wody w porach będzie rozproszone):

$$t_{90} = \frac{T_{90} H^2}{4C_v} \quad (6)$$

gdzie:

$T_{90}$  – czynnik czasu przy stopniu konsolidacji 90%.

Klasyczną wartość współczynnika  $T_{90} = 0,848$  można stosować tylko do nasypów teoretycznie wznoszonych natychmiast ( $t = 0$  – obciążenie momentalne). Według [6], w rzeczywistości czynnik czasu  $T_{90}$  jest funkcją czynnika czasu na zakończenie budowy,  $T_o$ . Zależność  $T_{90}$  od  $T_o$  pokazano na rys. 3. Dla  $T_o > 2$  można przyjmować  $T_{90} = 1,1 \times T_o$ .



Rys. 3. Czynnik czasu przy stopniu konsolidacji 90% w funkcji czynnika czasu na zakończenie budowy, według [6]

### Sprawdzenie stateczności

Wyznaczenie wymaganej przepuszczalności właściwej geosiatki byłoby niemożliwe bez znajomości długości drenazu  $B$ . Długość drenazu może być równa długości zbrojenia (geosiat-



ki), jak pokazano na rys. 2b lub może być równa połowie długości zbrojenia, jak pokazano na rys. 2a. Ostateczną długość zbrojenia wyznacza się w obliczeniach stateczności gruntu zbrojenia geosyntetykami.

## ANALIZA PARAMETRYCZNA

### Założenia i zakres analizy

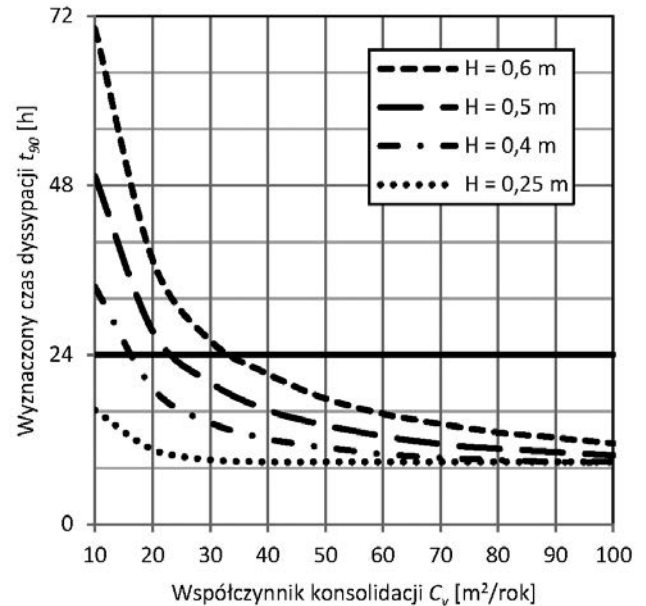
Celem analizy było zbadanie czasu potrzebnego do rozproszenia (dyssypacji) ciśnienia wody w porach w różnych, często spotykanych gruntach słabo przepuszczalnych oraz wymaganej do tego przepuszczalności właściwej geosiatki. Przeprowadzono obliczenia dla różnych danych wejściowych, w tym różnej wodoprzepuszczalności gruntu nasypowego oraz różnej geometrii układu.

Analiza dotyczyła jednej warstwy gruntu, zlokalizowanej w dowolnym miejscu w nasypie. Przyjęto, że woda ze strefy zbrojonej może odpływać w kierunku lica oraz w kierunku drenu pionowego za strefą (jak na rys. 2a). W przypadku braku drenu za zbrojeniem czas dyssypacji ciśnienia wody w porach byłby czterokrotnie większy, co wynika z równań (3) i (4). Przyjęto ponadto, że: (i) stateczność ogólna skarpy jest zapewniona oraz że (ii) cała warstwa gruntu jest układana i zagęszczana w 8 godzin, tj. w ciągu jednej zmiany roboczej.

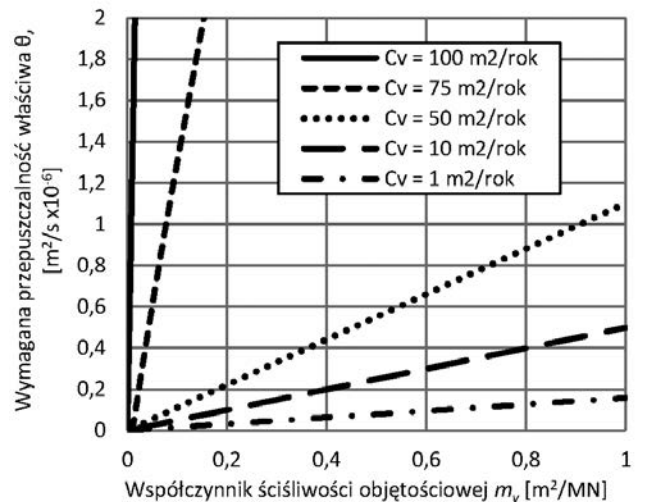
W analizie uwzględniano różny rozstaw pionowy i różną długość zbrojenia, różne wartości współczynnika konsolidacji oraz współczynnika ścisłości objętościowej. Przeprowadzono obliczenia dla zbrojenia w rozstawie pionowym 0,25 m, 0,4 m, 0,5 m i 0,6 m oraz długości zbrojenia równej wielokrotności wysokości skarpy –  $0,7 \times H$ ,  $1 \times H$  i  $1,2 \times H$ . Współczynnik konsolidacji  $C_v$  różnicowano w zakresie od  $1 \text{ m}^2/\text{rok}$  do  $100 \text{ m}^2/\text{rok}$ , a współczynnik ścisłości objętościowej  $m_v$  w zakresie od  $0,01 \text{ m}^2/\text{MN}$  do  $1 \text{ m}^2/\text{MN}$ . Ciężar gruntu nasypowego ma znaczenie przy wyznaczeniu parametrów zależnych od stanu naprężenia ( $k$ ,  $C_v$ ,  $m_v$ ), jednak nie jest uwzględniany wprost w obliczeniach przepuszczalności właściwej, stąd nie podano jego wartości.

### Czas dyssypacji ciśnienia wody w porach

Z przeprowadzonych rozważań wynika praktyczny wniosek, że układanie jednej warstwy nasypu na zmianę roboczą pozwala na skonsolidowanie warstwy w ciągu 24 godzin (czas dyssypacji 90% ciśnienia  $< 24 \text{ h}$ ). Optymalizowanie konstrukcji pod kątem dalszego skrócenia czasu konsolidacji nie wpłynęłoby na przyspieszenie budowy. Z wykresu przedstawionego na rys. 4. wynika, że rozproszenie ciśnienia wody w porach w czasie poniżej 24 h jest możliwe i łatwo osiągalne. W przypadku gruntów o bardzo małej przepuszczalności ( $C_v$  poniżej  $30 \text{ m}^2/\text{rok}$ ), przy jednoczesnym pionowym rozstawie zbrojenia przekraczającym 0,5 m, wyznaczony czas konsolidacji przekracza 24 godziny. Sytuacji takiej można jednak łatwo uniknąć, przewidując na etapie projektowania mniejszy rozstaw zbrojenia lub zastosowanie gruntów o większej przepuszczalności. W gruntach o współczynniku konsolidacji  $C_v > 50 \text{ m}^2/\text{rok}$  czas wymagany do rozproszenia 90% ciśnienia wody w porach wynosi mniej niż 12 godzin. Warto zauważyć, że czas dyssypacji jest niezależny od współczynnika ścisłości objętościowej  $m_v$ .



Rys. 4. Zależność wyznaczonego czasu dyssypacji ciśnienia porowego  $t_{90}$  od współczynnika konsolidacji  $C_v$  przy długości zbrojenia równej  $1 \times H$

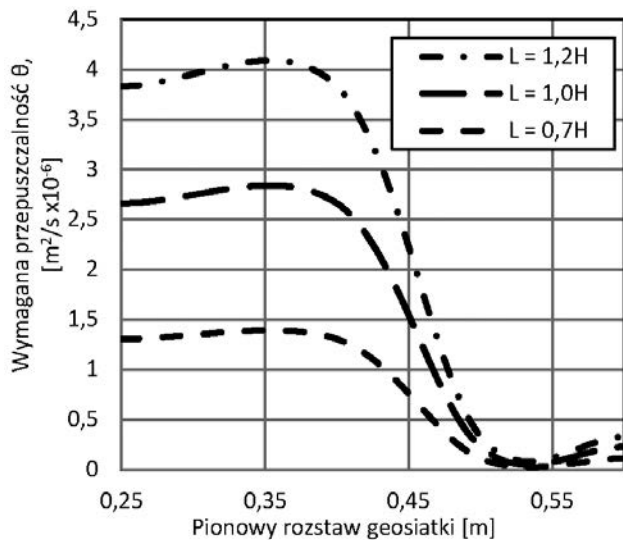


Rys. 5. Zależność wymaganej przepuszczalności właściwej  $\theta$  od współczynnika ścisłości objętościowej  $m_v$  przy różnych wartościach współczynnika konsolidacji  $C_v$  i długości zbrojenia  $1 \times H$

### Wymagana przepuszczalność właściwa geosiatki

Z równań (3) i (4) wynika, że wymagana przepuszczalność właściwa geosiatki jest wprost proporcjonalna do  $m_v$ , a dla  $T_o \leq 1$  również do  $C_v^{(1/2)}$ . Zależność tę zobrazowano na wykresie na rys. 5. W gruntach o współczynniku konsolidacji  $C_v \leq 50 \text{ m}^2/\text{rok}$  wymagana przepuszczalność właściwa geosiatki drenującej jest mniejsza niż  $1,2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ . Wraz z wzrostem przepuszczalności gruntu, np. dla  $C_v > 75 \text{ m}^2/\text{rok}$ , wymagana przepuszczalność właściwa geosiatki gwałtownie rośnie, o więcej niż rząd wielkości.

Wymagana przepuszczalność właściwa zależy również od pionowego rozstawu geosiatki drenującej (rys. 6). Z obliczeń wynika, że w przypadku układania zbrojenia w mniejszych odstępach pionowych, będzie wymagana większa przepuszczalność właściwa geosyntetyku. Wynika to bezpośrednio z czasu



Rys. 6. Wymagana przepuszczalność właściwa geosiatki w funkcji rozstawu zbrojenia przy  $C_v = 50 \text{ m}^2/\text{rok}$

dyssypacji ciśnienia porowego (rys. 4) – geosiatki w małym rozstawie pionowym rozpraszają nadciśnienie szybciej, podczas gdy geosiatki ułożone w większym rozstawie odprowadzają większą ilość wody, ale w dłuższym okresie czasu, dzięki czemu nie jest konieczna bardzo duża przepuszczalność właściwa geosyntetyku.

Im większa będzie długość zbrojenia w konstrukcji (w kierunku poziomym), tym większa będzie wymagana przepuszczalność geosiatki, co jest spowodowane większą ilością wody odprowadzaną na większą odległość.

## DYSKUSJA I ZALECENIA PROJEKTOWE

Projektowanie stromych skarp zbrojonych geosyntetykami jest bardziej złożone w przypadku gruntów słabo przepuszczalnych niż w przypadku gruntów niespoistych. Przepuszczalność gruntów przeznaczonych do budowy nasypów ma istotne znaczenie projektowe i powinna być starannie analizowana.

Według [4] nasypy z gruntów o mniejszej wytrzymałości (zarówno niższej wartości kąta tarcia wewnętrznego  $\phi'$ , jak i wytrzymałości na styku grunt/geosyntetyk) wymagają większych długości zbrojenia w nasypie. Można zatem zakładać, że w przypadku nasypów z gruntów słabo przepuszczalnych będzie konieczne zastosowanie dłuższego zbrojenia ze względu na zapewnienie stateczności ogólnej konstrukcji.

Z analizy przedstawionej w artykule wynika, że jest możliwe wznoszenie nasypów z gruntów słabo przepuszczalnych w tempie jednej warstwy na dobę. Takie tempo prac nie różni się zasadniczo od postępu robót podczas wznoszenia nasypów z gruntów niespoistych.

W nasypach z gruntów słabo przepuszczalnych należy szczególnie uważnie zaplanować pionowy rozstaw zbrojenia. Z przyczyn praktycznych zaleca się stosowanie rozstawu nie większego niż 0,6 m, głównie ze względu na ograniczenie przemieszczeń poziomych. Z analizy przedstawionej w artykule wynika, że optymalny rozstaw zbrojenia wynosi 0,5 m ze względu na wymagany czas rozproszenia ciśnienia wody w po-

rach, przy czym przepuszczalność właściwa geosiatki wymagana do odprowadzenia wody w tym czasie, jest realna i możliwa do zapewnienia. Zastosowanie mniejszego rozstawu zbrojenia wiązałoby się z koniecznością stosowania siatek o większej przepuszczalności właściwej, których produkcja byłaby trudna i niepraktyczna. Ponadto, ze względu na zapewnienie stateczności ogólnej konstrukcji, lepsze efekty daje wydłużanie zbrojenia, niż zmniejszanie jego rozstawu.

Konstrukcje z gruntu zbrojonego można wznosić z większości gruntów słabo przepuszczalnych, pod warunkiem starannego rozpoznania właściwości filtracyjnych gruntu oraz odpowiedniego zaplanowania układu zbrojenia w nasypie.

## WNIOSKI

Przedstawiono metodę projektowania stromych skarp zbrojonych geosyntetykami, z zastosowaniem gruntów słabo przepuszczalnych oraz geosiatek drenujących.

Z analizy przeprowadzonej przy różnych właściwościach gruntów słabo przepuszczalnych wynika, że nasypy mogą być wznoszone bezpiecznie w tempie jednej warstwy na dobę. Okres 24 godzin jest wystarczający do rozproszenia 90% ciśnienia wody w porach i odprowadzenia wody konsolidacyjnej do geosiatek drenujących.

Wyznaczono optymalny pionowy rozstaw zbrojenia równy 0,5 m. Przy takim rozstawie, geosiatka drenująca będzie odprowadzała wodę w ciągu 24 godzin z większości typowych gruntów słabo przepuszczalnych (charakteryzowanych różnymi wartościami  $C_v$ ). Ponadto, wymagana przepuszczalność właściwa geosiatki będzie niezależna od długości zbrojenia. Na rynku są dostępne geosiatki drenujące o przepuszczalności  $\theta$  wystarczającej do odprowadzenia wody z półmetrowej warstwy gruntu słabo przepuszczalnego. Stosowanie tych geosiatek jest ekonomicznie uzasadnione.

## LITERATURA

1. Fukuoka M.: Long-term deformation of reinforced cohesive soil fills and walls. Proc. 6th International Conference on Geosynthetics, Atlanta, Vol. 2, 1998, 811-814.
2. Giroud J. P.: Geotextile Drainage Layers for Soil Consolidation. Civil Engineering for Practicing and Design Engineers, Vol. II, 1983, 275-295.
3. Giroud J. P., Naughton P. J., Rimoldi P., Scotto M.: Design of reinforced slopes and walls with low-permeability fills using draining geogrids. Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference on Geosynthetics, Paper No. 248, 2014.
4. Jewell R. A.: Soil Reinforcement with Geotextiles. CIRIA Special Publication 123, London 1996.
5. Kempton G. T., Jones C. J. F. P., Jewell R. A., Naughton P. J.: Construction of slopes using cohesive fills and a new innovative geosynthetic material. Proceedings of EuroGeo 2, Bologna, Vol. 2, 2000, 825-828.
6. Lumb P.: Rate of Settlement of a Clay Layer Due to a Gradually Applied Load. Civil Engineering and Public Works Review, Vol. 58, March, 1963, 315-317.
7. Naughton P. J., Jewell R. A., Kempton G. T.: The design of steep slopes constructed from cohesive fills and a geogrid. Proceeding of the International Symposium on Soil reinforcement, IS Kyushu, Japan, November 2001, 2001.