

DRENAŻE BUDOWLI WODNYCH

J. Bogumił Lewandowski

Katedra Budownictwa Wodnego AR w Poznaniu

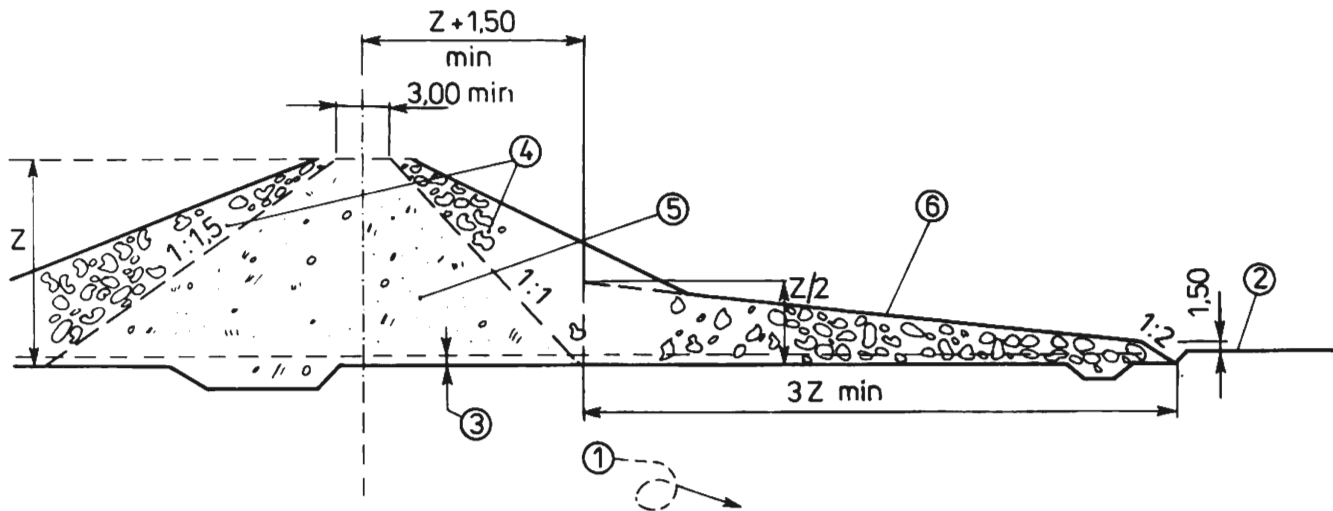
Każda budowla piętrząca lub inna budowla inżynierska, zakłócająca istniejący reżim stanów wody, doprowadza do powstania różnicy ciśnień wód gruntowych i wywołuje towarzyszący temu ruch tych wód, zwany filtracją. Jest to zwykle zjawisko uboczne, niepożądane.

Filtracja wody powodować może odkształcenie miejscowe obejmujące na ogół niewielkie masy gruntu /przemieszczenia ziaren lub bryłek/ oraz zmiany jego stanu i wewnętrznej budowy, głównie stanu granulometrycznego. Miejscowe odkształcenia spowodowane filtracją w gruncie można podzielić umownie na sufozję i wyparcie oraz przebicia hydrauliczne. Zgodnie więc z zasadą budownictwa wodnego w strefie podwyższonych stanów górnej wody stosowane są wszelkiego rodzaju utrudnienia w przenikaniu wody do gruntu, tzw. uszczelnienia, natomiast w strefie stanów niskich /dolnej wody/ stosowane są ujęcia wody filtracyjnej - drenaże.

Stosowanie kontrolowanego ujęcia wód filtracyjnych ma na celu zabezpieczenie przed możliwością wystąpienia niepożądanych zjawisk, tzn. drenaż winien być wykonany w ten sposób, aby nie dopuścić do powstania odkształceń miejscowych. Podstawowym zadaniem drenażu jest więc obniżenie ciśnienia wody w porach gruntu. Wpływa to korzystnie na warunki stateczności budowli, a w okresie budowy drenaż przyspiesza proces konsolidacji gruntu.

Zadania i działanie drenażu można przedstawić na przykładzie drenażu płaskiego niewysokiej zapory ziemnej. Drenaż taki, odpowiednio wkomponowany w zaporę, może być zastosowany w przypadku relatywnie jednorodnego, przepuszczalnego podłoża, także wówczas, gdy ścianki szczelne lub inne pionowe uszczelnienia nie są przewidziane. Drenaż taki może być także zastosowany, gdy względnie jednorodne przepuszczalne podłoże jest przykryte cienką warstwą nieprzepuszczalną; warstwa drenażowa zwiększa ciężar, dodatkowo wpływając na warunki stateczności i efektywnie zmniejsza ciśnienie, które może wywołać przebicie warstwy nieprzepuszczalnej. W przypadku uwarstwionego przepuszczalnego podłoża bez przegrody szczelnej drenaż płaski jest mało skuteczny.

Typowy drenaż płaski, zalecany przez amerykańskie Bureau of Reclamation [9], pokazano na rysunku 1. Drenaż płaski stanowi tu pochyła ławeczka, wkomponowana w stopę skarpy odpowietrznej.



Rys. 1. Drenaż płaski zalecany przez Bureau of Reclamation

1 - podłoże przepuszczalne, 2 - poziom pierwotny terenu, 3 - wykop, 4 - strefa przepuszczalna
5 - minimalny rdzeń szczeliny, 6 - nachylenie zmienne

Jeśli materiał przepuszczalny zapory jest np. piaszczysto-żwirowy tej samej gradacji co materiał piaszczysto-żwirowy podłoża, nie ma niebezpieczeństwa przemieszczenia cząstek gruntu z podłoża do korpusu zapory. Jeśli przepuszczalne strefy zapory zbudowane byłyby np. z większych okruchów skalnych, wówczas dla zabezpieczenia przed wynoszeniem cząstek gruntu z podłoża do wolnych przestrzeni korpusu zapory należałoby zastosować filtr odwrotny, czyli warstwę lub warstwę specjalnie dobranego gruntu.

Najważniejsze, ale zarazem bardzo proste i trafne kryterium doboru gruntu na filtr odwrotny podał Terzaghi [8].

$$\frac{D_{15}}{d_{15}} \geq 4 \quad \frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 4$$

gdzie

D - grunt filtru

d - grunt chroniony.

Bardziej rozbudowane warunki określa Bureau of Reclamation. Podawane ograniczenia mają na celu spełnienie kryterium stabilności filtru oraz zapewnienie znacznego wzrostu przepuszczalności między gruntem chronionym i filtrem. Kryteria te mogą być stosowane w przypadku naturalnych piasków i żwirów lub tłuczni, a także dla "jednorodnych" i "sortowanych" filtrów:

$$\frac{D_{15}}{d_{15}} = 5 - 40 \quad \text{przy warunku, że materiał filtru nie zawiera więcej niż 5\% cząstek mniejszych niż 0,074 mm} \quad /1/$$

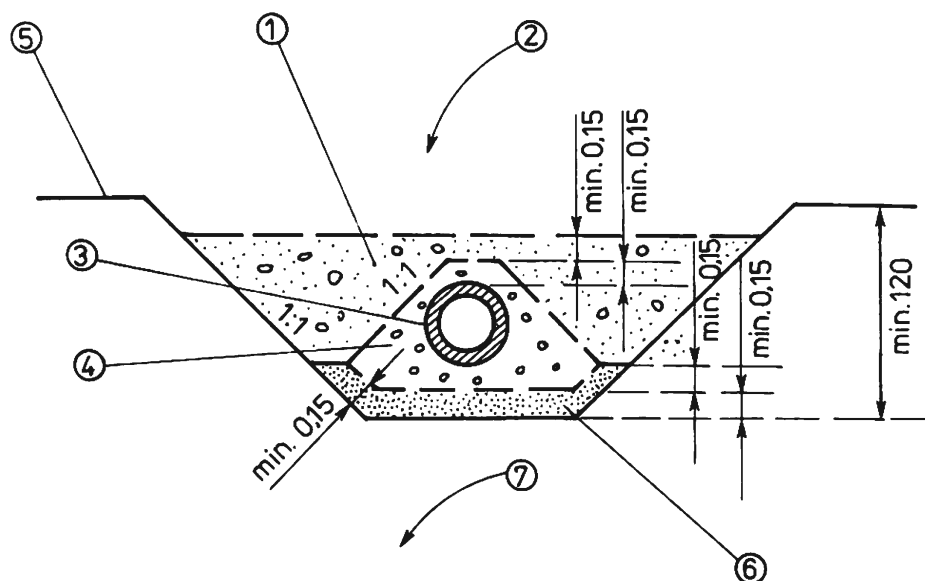
$$\frac{D_{15}}{d_{85}} \leq 5 \quad /2/$$

$$\frac{d_{85}}{\text{maksymalny otwór rury drenażowej}} \geq 2 \quad /3/$$

Krzywa uziarnienia materiału filtru jest z grubsza równoległa do krzywej uziarnienia materiału chronionego. /4/

Kryteria powyższe mogą być stosowane także dla kolejnych warstw, jeśli więcej niż jedna warstwa filtru okaże się konieczna.

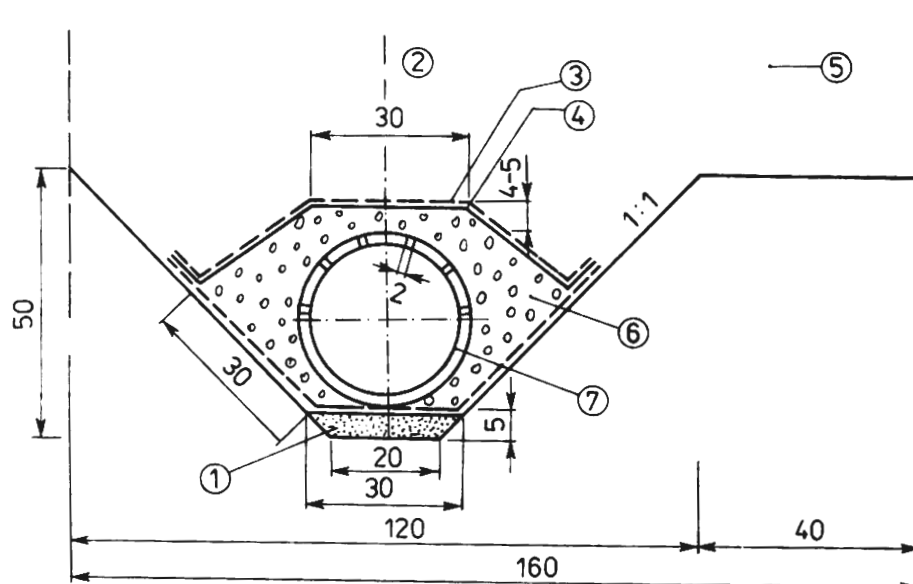
Dla odprowadzenia wód filtracyjnych przechwyconych przez drenaż płaski stosuje się drenaż rurowy. W niektórych przypadkach drenaż rurowy może być wystarczającym urządzeniem dla przechwylenia wód filtracyjnych. Zalecaną przez Bureau of Reclamation konstrukcję drenażu rurowego pokazano na rysunku 2. Minimalna szerokość rowu, w którym ułożono drenaż, 0,6 do 1,0 m w zależności od wymiarów rurociągu, minimalna średnica rury dla niskich zapór 15 cm. Zwykle pożądane są dwie warstwy filtru wokół rury drenażowej.



Rys. 2. Amerykański drenaż rurowy: 1 - sortowany drobny tłuczeń, 2 - narzut kamienny, 3 - rurociąg kanalizacyjny z otwartymi stykami $d = 20$ cm, 4 - sortowany żwir lub tłuczeń, 5 - linia wykopu, 6 - sortowany piasek, 7 - grunt podłoża

Przedstawione wyżej zasady projektowania drenażu i filtru odwrotnego są wprawdzie proste, ale w opinii jednego z projektantów: "klasyczny drenaż... przysparza wykonawcy sporo kłopotów. Prawidłowe jego konstruowanie wymaga dużej dokładności, a samo dobranie właściwych frakcji o uziarnieniu zgodnym z obliczeniami - jest zazwyczaj pobożnym życzeniem projektanta" [7]. Stąd możliwość zastąpienia mineralnego filtru odwrotnego przez maty filtracyjne wydaje się bardzo korzystne. Rozwiązanie takie, projektu J. Rittera [7], zastosowano przy budowie zapory czołowej w Jeziorsku /rys. 3/.

Zastosowanie różnego rodzaju siatek, tkanin, włókien w najrozmaitszych pracach i konstrukcjach inżynierskich stało się bardzo powszechne. Materiały te wykonane zwykle z tworzyw syntetycznych nazywane są geotekstyliami. Światowy zbyt i zastosowania geotekstyli rekordowo wzrosły szczególnie w ostatnim pięcioleciu. Od 1984 r. wychodzi międzynarodowe czasopismo "Geotextiles and Geomembranes" wydawane przez Elsevier Applied Science Publishers. Stawiane jest pytanie, czy jest to chwilowa moda, która zostanie wkrótce zarzucona i zapomniana, czy



Rys. 3. Zapora czołowa w Jezorku: 1 - podsypka wyrówn. z grubego piasku, 2 - zasyp gruntem piaszczystym z wykopu, 3 - siatka z tworzywa sztucznego, oczka 7,5x7,5 mm; szer. 100 cm, 4 - włóknina WD-3, szer. 100 cm, 5 - wykop ręczny w odeskowaniu, 6 - żwir sortowany $d_{60}=12$ mm; $\frac{d_{60}}{d_{10}} \leq 20$; 7 - rura kamionkowa perfor. ϕ 39 cm KBI - 22.2.3. (57)

jest to coś głębszego i bardziej trwałego? Jeśli to ostatnie, to można się spodziewać, że geotekstyli z dotychczas mało znaczącego, ubocznego składnika staną się jednym z podstawowych materiałów w budownictwie inżynierskim z całą konsekwencją techniczną i ekonomiczną wywołanych zmian. Dalszy rozwój geotekstyli zależy zarówno od inżynierów budownictwa, jak i od technologów włókienników, od ich ścisłej współpracy. W odpowiedzi na pytanie, jakie jest działanie geotekstyli, wymienia się zwykle cztery główne funkcje, cytuję za Leflairem' [3].

- rozdzielenie dwu różnych rodzajów gruntu zwykle bardziej gruboziarnistego od miękkiego, spoistego,
- filtrowanie - nietamowane przepuszczanie wody,
- drenowanie - odprowadzenie wody,
- wzmocnienie - jako swojego rodzaju zbrojenie konstrukcji ziemnych.

Bardzo często niektóre z tych funkcji spełniane są równolegle. Na przykład, przy wznoszeniu nasypu na słabym, ściśliwym podłożu, geotekstyli ułożone pod nasypem działają jako przegroda między podłożem a pierwszą warstwą nasypu, jako filtr między podłożem a nasypem w czasie konsolidacji ściśliwego gruntu, jako mechaniczne zbrojenie, przejmujące naprężenia rozciągające oraz, jeśli wystarczająco grube - działają jako dren odprowadzający wodę wydalaną w procesie konsolidacji gruntu.

Omawiając korzyści stosowania geotekstyli wymienia się zwykle następujące cechy, które czynią je szczególnie atrakcyjne i użyteczne

- 1/ właściwości włókien: ich wytrzymałość, wyrażona często w odniesieniu do jednostkowych kosztów, zakres modułów włókien, ich stabilność chemiczną;
- 2/ wysoka zgodność współpracy z gruntem dzięki swej odkształcalności, przewodności hydrau-

licznej, tworzy jeden ciągły element, mimo nieciągłości materiału gruntowego;

3/ oszczędności w kosztach transportu i łatwość zastosowania. Mata filtracyjna o gramaturze 250 g/m^2 może zastąpić 15-centymetrową warstwę gruntową o masie 250 kg/m^2 /tysiącokrotnie większa!/. Materiał na filtr odwrotny nie zawsze znajduje się na miejscu budowy;

4/ łatwość, prostota układania i niezawodność działania.

Na pierwszy rzut oka filtry odwrotne z materiałów mineralnych i materiałów tekstylnych takich jak tkaniny, włókniny, czy ich kompozycje mogą wydawać się zupełnie różne. Niepewność i trudność stosowania i projektowania tych ostatnich wynika głównie z dotychczasowego, empirycznego podejścia. Większość kryteriów dla filtrów mineralnych wychodzi z zasady porównywania wielkości ziaren filtru i gruntu chronionego, ponieważ nie znane są rzeczywiste geometryczne parametry systemu porów materiału gruntowego, np. wielkości porów. Filtry tekstylne mogą być charakteryzowane przez wielkość efektywnych otworów, określanych wprost metodą przesiewu.

Przy formułowaniu warunków stawianym filtrom tekstylnym można wyróżnić dwie szkoły myślenia. Jedni uważają, że wystarczające jest, aby filtr zabezpieczał przed wymyciem grubych frakcji gruntu chronionego, co przy zastosowaniu geotekstylia pozwala na zachowanie także drobniejszych cząstek w zasadniczej masie gruntu. Inni natomiast uważają, że należy zachować całkowicie drobne frakcje, co może być osiągnięte tylko wówczas, gdy pory w materiale filtracyjnym są wystarczająco małe, aby zatrzymać najdrobniejsze cząstki gruntu chronionego.

Geotekstylia różnią się bardzo swoją budową, a pod względem właściwości filtracyjnych wg Heertena i Wittmanna [1] mogą być sklasyfikowane następująco:

- względnie cienkie, zwykle o grubości $t \leq 2 \text{ mm}$ i masie na jednostkę powierzchni do 300 g/m^2 ;
- względnie grube, jednowarstwowe włókniny igłowane /needle punched nonwovens/, posiadające zwykle grubość $t > 2 \text{ mm}$ i gramaturę do 600 g/m^2 ;
- grube wielowarstwowe włókniny igłowane /produkt złożony/ o grubości w przybliżeniu 4,5 do 15 mm i gramaturze 600 do 2000 g/m^2 .

Ogólnie tekstylia-geotekstylia zawierają cienkie włókna, które tworzą stosunkowo otwartą strukturę porowatą o dużych porach. Średnica kanalików porowatych d_p jest ogólnie dużo większa niż średnica włókna d_f , czyli dla geotekstylia $d_p \gg d_f$.

W przypadku filtrów mineralnych średnica ziarna D jest zwykle większa niż średnica porowego kanalika d_p , powstałego między ziarnami gruntu, stąd dla filtrów mineralnych

$$d_p < D$$

Różnica w strukturze jest szczególnie widoczna, gdy porówna się porowatość różnych materiałów filtracyjnych [1]:

- włókniny igłowane /90% porów, 10% włókniń/ $n \approx 0,9$
- włókniny z obróbką termiczną /thermally bonded nonwovens, 70% porów, 30% włókniń/ $n \approx 0,7$
- filtr mineralny, grunt luźno ułożony /50% porów, 50% cz. stałych/ $n \approx 0,5$
- filtr mineralny, grunt zagęszczony /25% porów, 75% cz. stałych/ $n \approx 0,25$

W celu określenia zdolności filtracyjnych włókniny konieczne jest przyjęcie odpowiedniej charakterystycznej wielkości. Dane o wielkości porów mogą być scharakteryzowane tzw. efektywną wielkością otworu, D_w /effective opening size/. Jest ona określana metodą Heertena, tzw. mokrego przesiewu przy zastosowaniu testującego piasku. W odniesieniu do innych metod znanych z literatury, służących do wyznaczenia charakterystycznych średnic porów / 0_{90} , 0_{95} , 0_{98} /, zdaniem Heertena szczególną uwagę należy zwrócić na metodę suchego przesiewu przy zastosowaniu szklanych paciorków, ponieważ ta metoda daje w wyniku dużo mniejsze pory z powodu efektów elektrostatycznych i stąd jest zbyt mało dokładna dla celów projektowania.

Z uwagi na to, że warunki hydrauliczne, którym musi odpowiadać projektowany filtr, nie mogą zwykle być zbyt precyzyjnie określone, najczęściej wychodzi się z zasady bezpieczeństwa zachowania geometrii /geometric safety/. Z praktyki stosowania filtrów mineralnych przyjmuje się, że przynajmniej 15% cząstek gruntu chronionego winna być większa niż maksymalna wielkość porów, dla gruntów jednorodnych - co gwarantuje bezpieczne zachowanie geometrii. Wielkość ta rośnie do 50 lub 60% przy wzroście wskaźnika różnoziarnistości gruntu.

W szczególnie trudnych hydraulicznie warunkach pracują дренаże i filtry odwrotne umocnień brzegowych kanałów żeglugowych, gdzie przy falowaniu występuje szybkozmienny, burzliwy przepływ filtracyjny.

Zgodnie z wynikami badań Federalny Instytut Dróg Wodnych w Karlsruhe /RFN/ przyjmuje następujące zasady projektowania filtru, gwarantujące bezpieczeństwo zachowania geometrii, przy odpowiednio umocowanych matach filtracyjnych:

- W przypadku statycznego obciążenia filtru, przy przepływie filtracyjnym nieburzliwym:

$$D_w < 2,5 d_{50} \quad \text{oraz} \quad D_w < d_{90}$$

z możliwością wzrostu współczynnika 2,5 do maksimum 10. Dla bardziej różnoziarnistych luźnych gruntów / $U_d = \frac{d_{60}}{d_{10}} > 5$ / należy dobierać D_w między d_{50} i d_{90} .

- W przypadku dynamicznego obciążenia filtru przy przepływie burzliwym /np. falowanie/

$$D_w < 1,0 d_{50}$$

Powyższe zasady mają zastosowanie dla gruntów chronionych przy $d_{50} > 0,06$ mm.

- W przypadku gruntów o $d_{50} < 0,06$ mm jest możliwe przyjęcie większej wartości efektywnego otworu D_w , uwzględniając kohezyjne właściwości gruntu:

$$D_w < 10 d_{50}, \quad D_w < d_{90}$$

oraz

$$D_w < 0,1 \text{ mm}$$

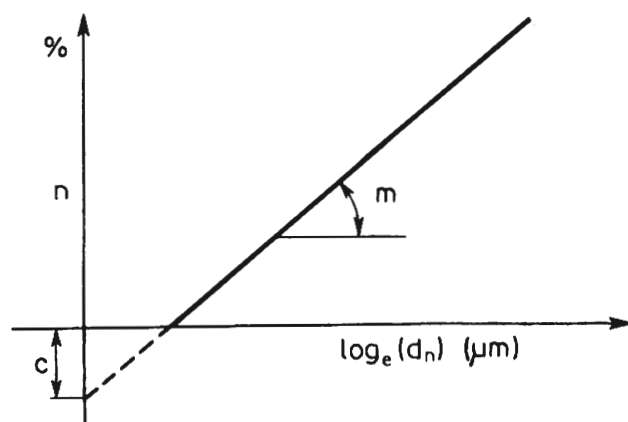
Przedstawione wyżej zasady rekomendowane do stosowania przez Federalny Instytut Dróg Wodnych z Karlsruhe uzależniają przyjmowanie efektywnego wymiaru otworu włókniny od średnicy grubych frakcji gruntu chronionego $D_w < d_{90}$. Z innego punktu widzenia wychodzi w swych rozważaniach T.S. Ingold [2], który przyjął, że otwory w macie filtracyjnej winny być uzależnione od średnicy frakcji minimalnej danego gruntu chronionego, w celu praktycznie całkowitego zabezpieczenia się przed wynoszeniem nawet najdrobniejszych frakcji. Słuszność swego rozumowania przebadał na modelu matematycznym.

Krzywą uziarnienia gruntu chronionego można przedstawić w skali półlogarymicznej jako prostą określoną równaniem /rys. 4/.

$$n = m \ln /d_n/ + c \quad /1/$$

n - procentowa zawartość danej frakcji wraz z mniejszymi,

m - współczynnik kierunkowy prostej, który może być określony jako $m = \frac{\Delta n}{\Delta \ln /d_n/}$



Rys. 4. Krzywe uziarnienia gruntu chronionego

Przy przyjęciu za $n = 60\% - 10\% = 50\%$ oraz $\Delta \ln /d_n/ = \ln /d_{60}/ - \ln /d_{10}/ =$
 $= \ln \frac{d_{60}}{d_{10}} = \ln U,$

gdzie U - wskaźnik różnoziarnistości gruntu stąd

$$n = 50 \frac{\ln /d_n/}{\ln U} + C \quad /2/$$

Dla wyznaczenia stałej można przyjąć warunek, że dla $n = 50$, $d_n = d_{50}$, stąd

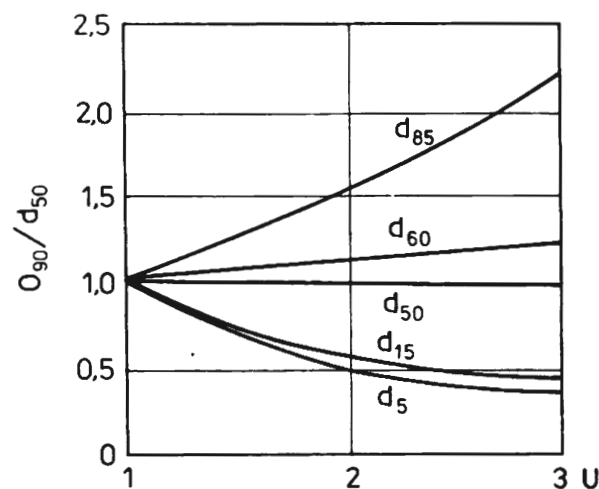
$$d_n = \exp \left[\left(\frac{n}{50} - 1 \right) \ln U + \ln d_{50} \right] \quad /3/$$

Dla charakterystyki danej włókniny Ingold posługuje się krzywą rozkładu porów i do projektowania filtru odwrotnego bierze pod uwagę 0_{90} , co odpowiada tzw. efektywnej wielkości porów, D_w , przyjmowanej przez Heertena. Ziarna gruntu chronionego, które mają pozostać nie wyniesione przez filtrującą wodę, winny spełniać warunek $d_n \geq 0_{90}$,

Wykorzystując równanie /3/ i dzieląc obustronnie przez d_{50} otrzymujemy

$$\frac{0_{90}}{d_{50}} = \left(d_{50} \right)^{-1} \exp \left[\left(\frac{n}{50} - 1 \right) \ln U + \ln d_{50} \right] \quad /4/$$

Przebieg tej zależności pokazano na rysunku 5. Dla $d_n < d_{50}$, przy wzroście U wymagana wielkość otworów włókniny maleje. Niestety, wyniki tak przyjętego modelu są nie do przyjęcia z praktycznego punktu widzenia. Otrzymywane wymiary porów są zbyt małe i nie uwzględniona jest malejąca podatność gruntu na sufozję wraz ze wzrostem stopnia różnoziarnistości gruntu.



Rys. 5. Wymagane wymiary porów włókniny 0_{90} w zależności od wskaźnika różnoziarnistości gruntu $U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$

Równanie /3/ można przedstawić także w postaci

$$d_n = d_{50} U^{\left(\frac{n}{50} - 1 \right)} \quad /5/$$

przyjmując natomiast za $n = 90\%$ i $d_n = d_{90}$ przy wyznaczaniu stałej C we wzorze /2/ otrzymujemy

$$d_n = d_{90} U^{\frac{n-90}{50}} \quad /6/$$

Dla określenia średnicy ziarna, która winna być zatrzymana, Ingold wychodzi z empirycznej zależności, określonej dla modelowej studni pracującej w warstwie wodonośnej, utworzonej przez grunt o różnej granulacji. Według tych badań, średnica d_n , która winna być zatrzymana przez filtr, uzależniona jest od wskaźnika różnoziarnistości gruntu:

$$n = 100 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2U}} \right) \quad /7/$$

Wstawiając powyższą zależność do wzorów /5/ i /6/ otrzymujemy

$$d_n = d_{50} U \left(1 - \sqrt{2/U} \right) \quad /8/$$

$$d_n = d_{90} U \left(0,2 - \sqrt{2/U} \right) \quad /9/$$

Ingold przeprowadził obszerne badania, mierząc masę wynoszonego gruntu przy różnych rodzajach gruntu, spadkach hydraulicznych oraz rodzajach materiału filtracyjnego. Ostatecznie zakładając, że drobne frakcje wynoszone poprzez filtr z gruntu chronionego nie powinny przekraczać wagowo 1%, otrzymał następujące warunki doboru materiału na filtr /wyprowadzone wprost z równania /8/ i /9/ przy przyjęciu $d_{n*} = 0_{90}$ /:

$$\frac{0_{90}}{d_{50}} = \alpha U \left(1 - \sqrt{2/U} \right) \quad /10/$$

$$\frac{0_{90}}{d_{90}} = \alpha U \left(0,2 - \sqrt{2/U} \right) \quad /11/$$

Przy spadku hydraulicznym w granicach do $i = \pm 0,5$ $\alpha = 1$, natomiast przy wartościach do $i = \pm 1$, $\alpha = (|i| - 0,5) \sqrt{U/4}$; omawiane badania były przeprowadzone dla $U = 5$ do 50.

Należy podkreślić, że mimo innego punktu wyjścia kryteria Ingolta i zasady Federalnego Instytutu Dróg Wodnych dają wyniki dość zbieżne.

Obok zagadnienia wielkości porów pod kątem zatrzymania wymywanych cząstek gruntu drugim podstawowym zagadnieniem przy doborze włókniny jest jej wodoprzepuszczalność. Badania tej właściwości dla różnych materiałów filtracyjnych były wykonywane także dość szeroko w Polsce, w tym w Katedrze Budownictwa Wodnego AR w Poznaniu.

Zgodnie z zaleceniami podawanymi w literaturze światowej, wymagane jest, aby wodoprzepuszczalność włóknin określonych współczynnikiem filtracji k przy ciśnieniu 2 kPa: była 50-krotnie większa od współczynnika filtracji gruntu in situ. Warunek ten określany jest dla włókniny igłowej, fabrycznie czystej, o grubości $t > 2$ mm. Uważa się, że dla włóknin cięszych pomiar współczynnika k jest obarczony zbyt dużym błędem.

Publikowane wyniki badań wodoprzepuszczalności tkanin i włókien filtracyjnych są niekiedy dość rozbieżne i nie zawsze w pełni porównywalne, ze względu na różną metodę badań i różną dokładność wyników. Pomocne mogą tu być podane przez Lewandowskiego i Młynarka [4] wyrażenia na stałe do wzoru Prony-Forchheimera wyprowadzone na drodze analitycznej. Wzór ten przybiera postać:

$$l = 180 \left\{ \frac{r(1-n)^2}{g n^3 d^2} \right\} v + 0,75 \left\{ \frac{(1-n)}{g n^3 d} \right\} v^2 \quad /12/$$

gdzie

- l - spadek hydrauliczny,
- γ - współczynnik kształtu wg Kozengego i Carmana,
- n - porowatość włókniny,
- ν - kinematyczny współczynnik lepkości,
- g - przyspieszenie ziemskie,
- d - średnica włókna,
- v - prędkość filtracyjna.

Przeprowadzona dyskusja wyżej podanego wzoru wykazała, że jest on pewnym uogólnieniem znanych, dotychczas wykonanych badań geotekstylii.

Przy opracowywaniu wyników obszernych badań wodoprzepuszczalności włókien i tkanin filtracyjnych, realizowanych w Katedrze Budownictwa Wodnego, wprowadzono pojęcie wskaźnika wodoprzepuszczalności

$$w = \frac{k}{\delta}, \quad /13/$$

gdzie

- k - współczynnik filtracji wg prawa Darcy,
- δ - grubość włókniny /por.[5]/.

Wielkość ta nie jest obarczona błędem pomiaru δ , stąd proponowany wskaźnik może stać się bardziej dogodnym do ogólnego formułowania wymagań dotyczących wodoprzepuszczalności geotekstylii. Na szczególną uwagę zasługują prace Młynarka wiążące wodoprzepuszczalność włókniny z charakterystyką jej porowatości. Dla badanych włókien produkcji polskiej oraz Fibertex, Bidim i Terratex, Młynarek [6] podaje pełną charakterystykę: współczynnik i wskaźnik wodoprzepuszczalności oraz średnicę i maksymalną wielkość porów, porowatość, a także grubość badanych włókien, ich gramaturę, średnicę pojedynczego włókna. W charakterystyce tej ważną rolę odgrywa wprowadzone przez Młynarka pojęcie efektywnej średnicy porów, dla wyznaczenia której podał wzór empiryczny postaci

$$D = 3,3 d n$$

/14/

gdzie

- d - średnica pojedynczego włókna,
n - porowatość włókniny.

Przedstawione wyżej wyniki badań wykazują złożoność zjawisk związanych z pracą włókniny jako filtru odwrotnego, wykazują trudności pomiaru interesujących wielkości i trudności opisu matematycznego. W przeciwieństwie do tego, włókniny charakteryzują się wieloma zaletami i wielką łatwością ich stosowania. Można sądzić, że mimo praktycznie braku włóknin na rynku krajowym "moda" stosowania tego materiału i w naszych warunkach stanie się koniecznością i koniecznością stanie się masowa produkcja krajowych włóknin filtracyjnych. Słuszne jest więc dalsze pogłębianie naszej wiedzy o geotekstyliach i ich zastosowaniach w drenażach budowli hydrotechnicznych.

LITERATURA

1. Heerten G., Wittmann L.: Filtration Properties of Geotextile and Mineral Filters Related to River and Canal Bank Protection Geotext a Geomemb. 1985, 2, 1, 4, 7.
2. Ingold T.S.: A Theoretical and Laboratory Investigation of Alternating Flow Filtration Criteria for Woven Structures Geotext a Geomemb. 1984, 2, 1, 31.
3. Leflaire E.: Geotextiles: Their Rationale and Future Geotext a Geomemb. 1985, 2, 1, 23.
4. Lewandowski J.B., Młynarek J.: Analytical Determination of Intrinsic Permeability of Synthetic Nonwoven Filter Fabric Geotext a Geomemb. 1985, 2, 2, 169.
5. Lewandowski J.B., Młynarek J.: Badania wodoprzepuszczalności włóknin i tkanin filtracyjnych. Roczn. Naukowe AR Poznań, Melioracje, 1984, z. 4.
6. Młynarek J.: Hydraulic Conductivity and Pore Sizes Nonwoven Filter Fabric. Geotext Geomemb. 1985, 2, 1, 65.
7. Ritter J.: Zastosowanie maty filtracyjnej w drenażu zapory Inform. Projekt. 1979, nr 1.
8. Terzaghi K., Peck R.E.: Soil mechanics in engineering practice. J. Wiley, New York 1948.
9. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation Design of Small Dams, Washington 1965.

Józef Bogumił Lewandowski

DRAINAGES OF THE WATER PLANTS

Summary

The work discusses aims and work of drainage on the basis of an earthfill dam horizontal drainage blanket. The basic classical criteria for ground selection for the inverse filter were also given. The nonwoven filter fabrics were characterized and the advantages of applying them in drainage construction were presented. There was made a critical review of the crucial research results concerning the geotextile hydraulic materials and the selection rules for using them as an inverse filter.

Юзеф Богумил Левандовски

ДРЕНАЖИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Р е з ю м е

В статье рассмотрено назначение и работу дренажа на примере плоского дренажа земляной плотины. Представлены основные критерии подбора грунта на обратный фильтр. Охарактеризованы свойства волокнистых фильтрационных материалов и преимущества их применения в конструкциях дренажей. Приводится критический обзор более существенных результатов исследований гидравлических характеристик геотекстильных материалов и принципов подбора этих материалов в качестве обратных фильтров.