

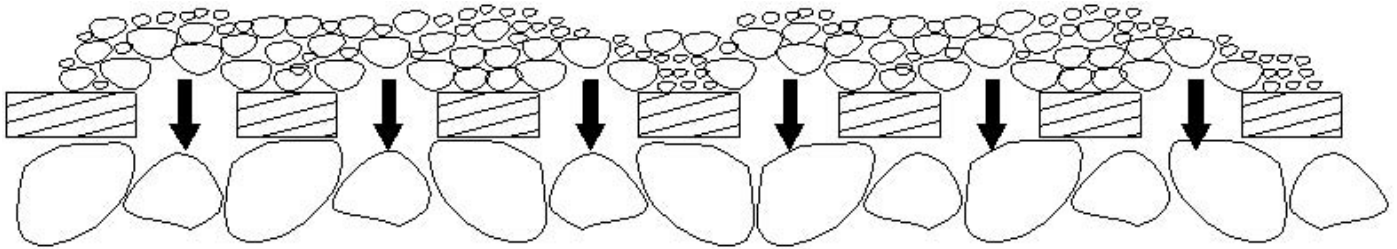
## **Problem trwałości geosyntetyków w aplikacjach filtracyjnych w budownictwie wodnym**

**Dr inż. Witold Sterpejkowicz-Wersocki**  
**Politechnika Gdańska. Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska**

Geosyntetyczne materiały filtracyjne są stosowane w rozmaitych konstrukcjach inżynierskich już od kilkudziesięciu lat. W Polsce bardziej powszechne zastosowanie ma miejsce od lat dziewięćdziesiątych XX wieku wraz z szerszą ich dostępnością na rynku. Czas, jaki minął od pierwszych aplikacji tych materia-

łów, pozwala zweryfikować ich przydatność w aspekcie długookresowego zachowania ich funkcji oraz parametrów.

Dwa podstawowe zastosowania geosyntetyków pełniących funkcje filtracyjne w budownictwie wodnym śródlądowym dotyczą ich wykorzystania w zabezpieczeniach przeciwerozyjnych



Rys. 1. Przesklepienie uformowane w płaszczyźnie styku między filtrem geosyntetycznym a gruntem

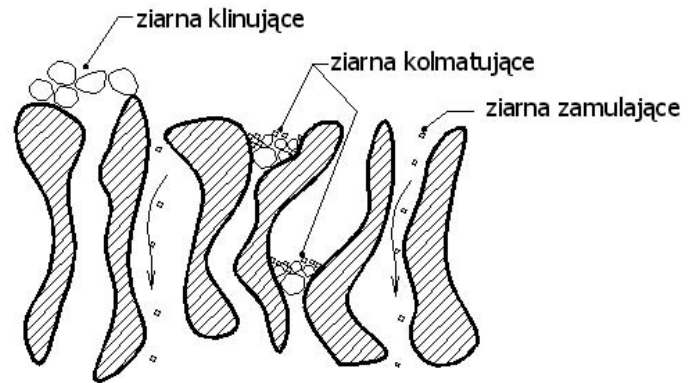
na skarpach oraz w systemach drenażowych. W zabezpieczeniach przeciwoerozyjnych geosyntetyki są układane pod narzutami, działając jako filtr zabezpieczający podłoże przed wypłukiwaniem drobnych cząstek gruntu i obsuwaniem się całej konstrukcji. W drenażach natomiast stanowią zabezpieczenie gruntu przed wynoszeniem drobnych frakcji i przenikaniem ich do drenażu. Szczególnie szerokie zastosowanie w systemach drenażowych, spośród różnych materiałów geosyntetycznych, znalazły geowłókniny, które działając jako efektywne filtry zmniejszające ryzyko zatkania drenu, zastąpiły w dużym stopniu gruntowe filtry odwrotne. Doświadczenia wskazują jednak, że w pewnych warunkach dojść może do kolmatacji geowłókniny, która z czasem zaczyna przybierać cechy geomembrany.

### ZJAWISKA ZACHODZĄCE W PŁASZCZYŹNIE KONTAKTU

Aby mówić o istnieniu stabilności zjawisk zachodzących w strefie kontaktowej gruntu z filtrem geosyntetycznym i układu grunt-filtr syntetyczny, materiał geotekstylny musi pozwalać na swobodny przepływ wody przy jednoczesnym zapobieganiu erozji i migracji drobnych cząstek gruntu przez układ drenażowy wraz ze strumieniem filtrującej wody. Cechy te, w powiązaniu z wytrzymałością mechaniczną materiału, decydują o jego trwałości pozwalającej na zachowanie właściwości wyrobu podczas procesu jego wbudowywania i dalszej eksploatacji. Transport cząstek gruntu w obrębie struktury ziarnistej jest możliwy wtedy, gdy istnieje wystarczająca ilość i wielkość wolnych przestrzeni (porów) w gruncie oraz istnieje siła filtracyjna zdolna unieść i poruszyć cząstkę gruntu. Jak wspomniano, zamiarem jest zapobieżenie transportowi drobnowymiarowych cząstek gruntu w podłożu. Zjawiskiem sprzyjającym temu jest powstanie na powierzchni rozdziału faz (gruntu i filtra geosyntetycznego) naturalnego filtra (przesklepienia).

Wymienione we wstępie praktyczne zastosowania geotekstyliów wskazują jednocześnie na dwa zasadnicze zjawiska towarzyszące przepływowi wody przez grunt chroniony i materiał filtracyjny, którymi są sufozja gruntu i kolmatacja wewnętrzna geosyntetyku.

Funkcja filtracyjna geosyntetyku polega na umożliwieniu przepływu wody, przy jednoczesnym zatrzymaniu gruntu. Jednak funkcją filtra w budownictwie wodnym nie jest zatrzymanie (retencja) cząstek gruntu, gdyż filtr, który zatrzymuje cząstki gruntu, ulega kolmatacji z powodu gromadzących się na nim (lub w nim) cząstek gruntu. Ze względu na to, że w geotechnice nie ma możliwości płukania filtra lub jego wymiany, musi on zapobiegać przemieszczaniu się gruntu. Jeżeli filtr funkcjonuje



Rys. 2 Mechanizm migracji cząstek gruntu przez geowłókninę

prawidłowo, grunt nie ulega przemieszczeniu i ryzyko wystąpienia kolmatacji jest niewielkie.

Oprócz wymienionej kolmatacji cząstkami gruntu (kolmatacja mechaniczna) można wyróżnić również przypadki kolmatacji biologicznej (np. przerost korzeni roślin przez geowłókninę, grzyby i bakterie) oraz kolmatacji chemicznej (np. przez odkładanie się związków żelaza z wód gruntowych na płaszczyźnie geosyntetyku), których przykłady będą opisane w dalszej części artykułu.

### WYBRANE KRYTERIA DOBORU GEOSYNTETYCZNYCH MATERIAŁÓW FILTRACYJNYCH

Z funkcji filtracyjnej geosyntetyku polegającej na umożliwieniu przepływu wody przy jednoczesnym zatrzymaniu gruntu wynikają wymagane właściwości: wodoprzepuszczalności i retencji, jakim powinny odpowiadać filtry geotekstylny. Przedstawione będą tu niektóre kryteria, którymi można się kierować przy doborze materiału geosyntetycznego pełniącego funkcje filtracyjne. W większości są to kryteria zaproponowane przez J.P. Giroud [3].

#### Kryterium wodoprzepuszczalności

Obecność filtra (nawet bardzo przepuszczalnego) zaburza przepływ wody w gruncie chronionym (od strony dopływu do filtra) i z tego powodu wybrany filtr musi wprowadzać akceptowalnie małe zaburzenia warunków przepływu wody. Zmiany te dotyczą ciśnienia wody w porach i natężenia przepływu.

Obecność filtra powoduje wzrost ciśnienia w porach gruntu przyległego do filtra i z tego powodu wybrany materiał powi-

nien powodować jak najmniejszy wzrost ciśnień. Doświadczenia wskazują, że wzrost ciśnienia wody w porach nie wystąpi, jeżeli dobrany filtr będzie spełniał następujące kryterium:

$$k_f > k_s i_s$$

gdzie:

$k_f$  – przepuszczalność filtra,

$k_s$  – przepuszczalność gruntu,

$i_s$  – gradient hydrauliczny w gruncie przyległym do filtra.

Typowe gradienty hydrauliczne w zależności od miejsca zastosowania filtra zestawiono w tabl. 1 (zachowawczo przyjęto gradient 1,0 w przypadkach, gdy w rzeczywistości jest on mniejszy niż 1,0)

Tabl. 1. Typowe gradienty hydrauliczne

Zastosowanie	Gradient hydrauliczny
Drenaż opaskowy	1,0
Drenaż pionowy na ścianie	1,5
Odwodnienie krawędzi drogi	1,0
Umocnienie kanału	1,0
Warstwa drenażowa składowiska	1,5
Drenaż w podstawie skarpy odpowietrznej zapory ziemnej	2,0
Rdzeń glinowy (iłowy) zapory ziemnej	od 3 do >10

Wystarczająca wodoprzepuszczalność geosyntetyku oznacza, że należy dążyć do zwiększenia wodoprzepuszczalności struktury filtracyjnej w kierunku przepływu wody (zgodnie z regułami obowiązującymi przy doborze warstw filtru odwrotnego). W przypadku ochrony brzegu rzeki oznacza to, że przepuszczalność materiału geotekstylnego powinna być większa od przepuszczalności gruntu, na którym ma być zastosowany materiał geotekstylny. Jako główne kryterium projektowania w przypadku przepływu normalnego do powierzchni rozdziału faz przyjmuje się zasadę, że wodoprzepuszczalność geosyntetyku powinna być większa niż gruntu po stronie, z której następuje przepływ wody.

### Kryterium retencji

W jaki sposób należy dobrać maksymalny dopuszczalny wymiar porów filtra geotekstylnego, aby filtr ten zatrzymał grunt? Odpowiedź na to pytanie wynika z dostosowania kryterium Terzaghi'ego dla filtrów odwrotnych:

$$d_{15 \text{ filtra grt}} < 5 d_{85 \text{ gruntu}}$$

Wiadomo, że

$$O_{\text{filtra grt}} \sim d_{15 \text{ filtra grt}} / 5 \text{ a stąd } O_{\text{filtra grt}} < d_{85 \text{ gruntu}}$$

gdzie:

$O_{\text{filtra grt}}$  – wymiar porów filtra geotekstylnego,

$d_{15 \text{ filtra grt}}$  – średnica zastępcza filtra gruntowego,

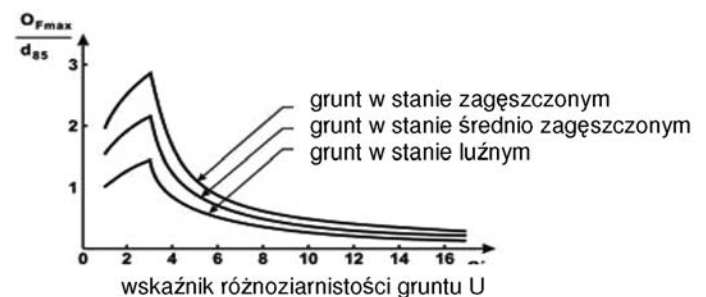
$d_{85 \text{ gruntu}}$  – średnica zastępcza gruntu chronionego lub poprzedniej warstwy filtra gruntowego.

Nierówność ta oznacza, że filtr powinien jedynie zatrzymać „duże” ziarna gruntu, co jest wbrew ogólnej zasadzie, że filtr

powinien zatrzymać wszystkie ziarna gruntu, a nie jedynie duże. W takim przypadku filtr będzie skuteczny jedynie wówczas, gdy duże ziarna gruntu zatrzymają mniejsze ziarna, innymi słowy, jeżeli grunt będzie wewnętrznie stabilny. Z tego względu kryterium retencji gruntu powinno uwzględniać nie tylko wymiar porów filtra, lecz również wewnętrzną stabilność gruntu. Wewnętrzna stabilność uzależniona jest od rozkładu frakcji gruntu, który określa wskaźnik różnoziarnistości  $U = d_{60}/d_{10}$ . Z zależności geometrycznych wynika, że grunt mający wskaźnik różnoziarnistości o wartości równej około 3, charakteryzuje się największą stabilnością wewnętrzną. Na rys.3 przedstawiono kryterium retencji, według J. P. Giroud, w funkcji zagęszczenia gruntu i jego wskaźnika różnoziarnistości, uwzględniające wewnętrzną stabilność gruntu.

Konsekwencje stosowania kryterium retencji, które nie uwzględnia wskaźnika różnoziarnistości omówiono, korzystając z rys. 4. Linia przerywaną naniesiono klasyczne kryterium Terzaghi'ego dostosowane do filtrów geotekstylnych  $O_{\text{filtra grt}} = d_{85 \text{ gruntu}}$ . W przypadku małych wartości wskaźnika różnoziarnistości ( $U < 5$ ) kryterium (linia przerywana) dopuszcza przyjmowanie zbyt małych wymiarów porów filtra geotekstylnego, co stwarza niebezpieczeństwo kolmatacji filtra. Natomiast w przypadku większych wartości wskaźnika różnoziarnistości ( $U > 5$ ) kryterium to dopuszcza zbyt duże rozmiary porów filtra, co z kolei może doprowadzić do sufozji gruntu. Z tego też względu filtr geotekstylny będzie bezpieczniejszy, jeżeli będzie dobrany na podstawie kryterium retencji, uwzględniające wewnętrzną stabilność gruntu.

Innym kryterium retencji stosowanym w projektowaniu filtrów geotekstylnych są zalecenia bazujące na doświadczeniach holenderskich [5] i założeniu filtra geometrycznie szczelnego; w przypadku filtra geometrycznie szczelnego (zamkniętego) za-



Rys. 3 – Kryterium retencji z uwzględnieniem zagęszczenia i wskaźnika różnoziarnistości gruntu [3].



Rys. 4. Kryterium retencji według J. P. Giroud w zestawieniu z kryterium dostosowanym do filtrów odwrotnych [3]

**Tabl. 2. Wymogi projektowe do geosyntetyków pełniących funkcje filtracyjno-separacyjne [5]**

Przewidywane warunki pracy filtra w konstrukcji	Kryterium doboru
Obciążenie ustalone	$O_{90} < 1 \div 2 D_{90}$
Obciążenie okresowo zmienne przy założeniu utworzenia się przesklepienia filtracyjnego	$O_{98} < 1 \div 2 D_{85}$
Obciążenie okresowo zmienne przy braku utworzenia się przesklepienia filtracyjnego:	
– jeżeli skutki wymywania (osiadanie) są akceptowalne	$O_{98} < 1,5 D_{15}$
– jeżeli skutki wymywania (osiadanie) nie są akceptowalne	$O_{98} < D_{15}$

Oznaczenia:

$O_{90}$  – pokrywa się z przeciętną (średnią) średnicą ziaren piasku frakcji, której 90% ciężaru pozostaje na lub w materiale geotekstylnym (lub 10% przechodzi przez materiał geotekstylny) po 5 minutach przesiewania;

$O_{98}$  – pokrywa się z przeciętną (średnią) średnicą ziaren piasku frakcji, której 98% ciężaru pozostaje na lub w materiale geotekstylnym (lub 2% przechodzi przez materiał geotekstylny) po 5 minutach przesiewania;  $O_{98}$  podaje praktyczne przybliżenie maksymalnego otworu filtra, a zatem odgrywa ważną rolę w kryterium szczelności materiału gruntowego w kontakcie z filtrem geotekstylnym w sytuacji obciążenia cyklicznego;  $O_{98}$  określany jest także jako  $O_{max}$ ;

$D_{15, 85, 90}$  – oznacza zastępczą średnicę ziaren gruntu, których wagowy udział wraz z mniejszymi stanowi odpowiednio 15%, 85% i 90% masy całej próbki.

kląda się brak transportu cząstek gruntu z podłoża niezależnie od poziomu obciążenia hydraulicznego. Oznacza to, że otwory w filtrze geotekstylnym są na tyle małe, że cząstki gruntu nie są w stanie fizycznie przejść przez otwór i nie są tracone z wewnętrznej struktury gruntu. Dodatkowym wymogiem jest w tym przypadku, aby grunt był wewnętrznie stateczny, a więc aby wskaźnik niejednorodności uziarnienia spełniał nierówność  $U < 5$ .

Przeprowadzone doświadczenia własne [7] wykazały, że nawet uszkodzony materiał geotekstylny zdolny jest w dalszym ciągu do pełnienia funkcji filtracyjno-separacyjnych, przy czym warunkiem koniecznym jest wytworzenie się naturalnego przesklepienia filtracyjnego w strefie kontaktu gruntu z geosyntetykiem. Aby przesklepienie takie mogło wytworzyć się, grunt stanowiący podłoże geosyntetyku musi charakteryzować się wewnętrzną stabilnością, a więc mieć wskaźnik różnoziarnistości  $U < 5$ . Dla innych gruntów wewnętrzna stabilność może być w przybliżeniu oceniona za pomocą następujących nierówności [6]:

**Tabl. 3. Przybliżone określenie wewnętrznej stabilności dla gruntów o  $U > 5$  [6]**

$D_{10} < 4D_5$	$D_{20} < 4D_{10}$	$D_{30} < 4D_{15}$	$D_{40} < 4D_{20}$
-----------------	--------------------	--------------------	--------------------

gdzie:

$D_{5, 10, 15, 20, 30, 40}$  – oznacza zastępczą średnicę ziaren gruntu, których wagowy udział wraz z mniejszymi stanowi odpowiednio 5%, 10%, 15%, 20%, 30% i 40% masy całej próbki

W przypadku gruntów wewnętrznie niestabilnych powstanie przesklepienia filtracyjnego nie jest możliwe, a zatem nieciągłe materiały geosyntetyczne nie będą w stanie spełniać swoich funkcji, o ile występujące w strefie kontaktu gruntu i materiału geosyntetycznego prędkości filtracji zdolne będą do uniesienia i przemieszczenia drobnych frakcji ośrodka gruntowego.

W gruntach wewnętrznie niestabilnych wzrasta również ryzyko dysfunkcji filtra geosyntetycznego w wyniku jego kolmatacji. Proces ten obserwowany jest w rzeczywistych konstrukcjach filtrów z zastosowaniem geosyntetyków ( przykłady pokazano w pracy [7]).

Za kryterium przydatności geowłóknin jako warstw filtracyjno-drenażowych w kontakcie z gruntami wewnętrznie niestabilnymi proponuje się przyjęcie kryterium współczynnika proporcjonalności spadku  $GR$  (*Gradient Ratio*), określonego przez Korpus Inżynierski Armii Stanów Zjednoczonych [1, 2], Hali-burtona i Wooda [4] wraz z rozszerzeniem zaproponowanym przez Wojtasika [10]. Graniczną wartość gradientu  $GR$ , powyżej której występuje kolmatacja, określono na poziomie  $GR = 3$ .

Proponuje się, za Wojtasikiem, aby przy określaniu możliwości wystąpienia kolmatacji materiału w kontakcie z gruntami wewnętrznie niestabilnymi korzystać z zależności opisującej stosunek gradientów gruntu  $SGR_{17}$  postaci:

$$SGR_{17} = 0,06 \cdot i + 0,13 \cdot F - 1,14$$

gdzie:

$i$  – gradient hydrauliczny [-],

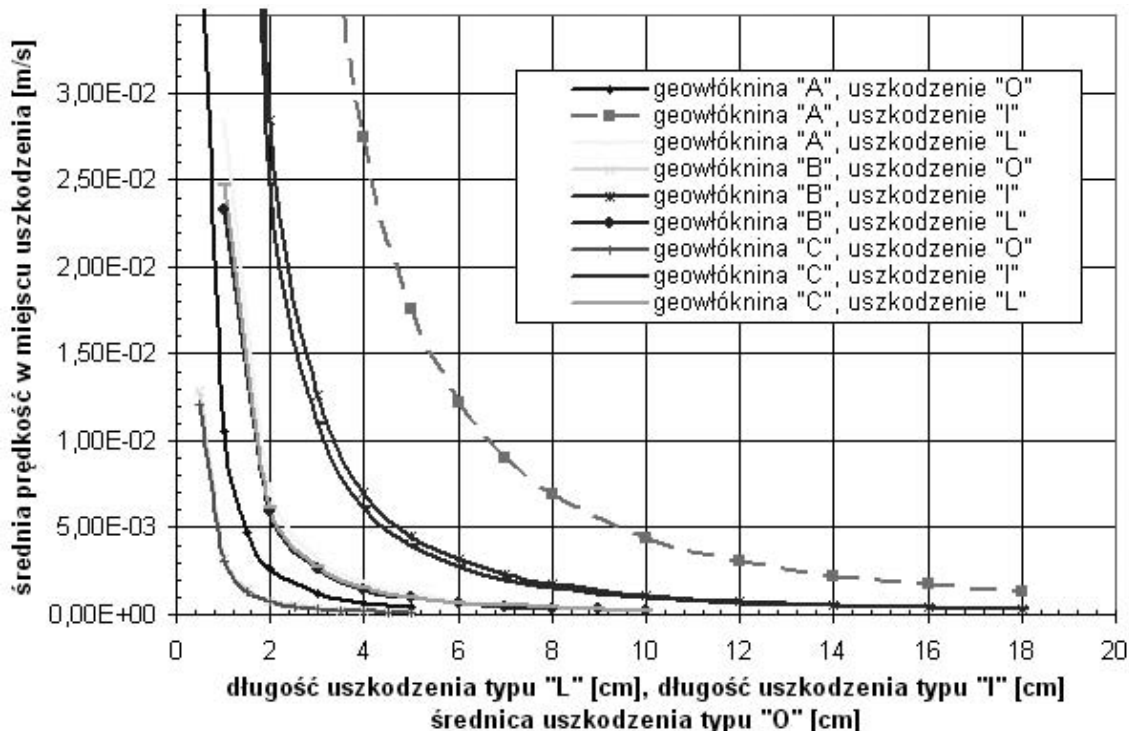
$F$  – zawartość frakcji drobnych w gruncie (o średnicy  $d < 0,05$  mm) [%].

Graniczna wartość stosunku gradientów gruntu ( $SGR_{17}$ ) wynosi 3. W przypadku, gdy stosunek gradientów ( $SGR_{17}$ ) będący funkcją wzajemnych relacji gradientu hydraulicznego  $i$  oraz zawartości frakcji drobnych w gruncie  $F$ , opisany powyższą formułą, osiągnie bądź przekroczy wartość równą 3, należy liczyć się z wystąpieniem kolmatacji filtra geotekstynego. Zwraca się uwagę, że opisana zależność ma zastosowanie w przypadku filtrów wykonanych z geowłóknin igłowanych.

Przeprowadzone doświadczenia [7] wykazały, że nawet uszkodzony materiał geotekstylny zdolny jest w dalszym ciągu do pełnienia funkcji filtracyjno-separacyjnych. Wzajemne przemieszczenie się ziaren gruntu pod wpływem filtrującej wody, będące wynikiem formowania się przesklepienia filtracyjnego, obserwowano w badaniach z rozciągniętą geowłókniną.

Stwierdzono, że kres występowania stabilnego przesklepienia zapobiegającego wzmoczonej sufozji (upłynnieniu ośrodka gruntowego) jest uzależniony od materiału gruntowego, geosyntetycznego oraz przede wszystkim od prędkości wypływu strumienia filtracyjnego w miejscu uszkodzenia geosyntetyku. Z przeprowadzonych doświadczeń największą stabilność na zjawiska sufozyjne wykazywała geowłóknina z rozcięciem podłużnym (w kształcie I), najmniejszą zaś geowłóknina z uszkodzeniem w postaci wyciętego koła (w kształcie O). Jest to istotny wniosek, ze względu na to, że praktycznie wszystkie uszkodzenia materiałów geosyntetycznych będące wynikiem wandalizmu mają charakter podłużnych rozcięć, a więc w przypadku tego rodzaju uszkodzeń filtr może w dalszym ciągu funkcjonować poprawnie, o ile pewien krytyczny rozmiar uszkodzenia nie jest przekroczony. Należy podkreślić, że w badaniach standardowych geowłóknin możemy określić dla danego wyrobu jego odporność na przebicie oraz wymiary uszkodzeń. W przypadku przekroczenia krytycznego rozmiaru uszkodzenia upłynnienie gruntu ma charakter gwałtowny. W uszkodzeniach o mniejszych wymiarach do utraty stabilności w strefie kontaktowej grunt-filtr syntetyczny może dojść w przypadku zwiększenia prędkości filtracji spowodowanej zwiększeniem różnicy wysokości piezometrycznych przed i za filtrem (np. w wyniku kolmatacji





Rys. 5. Zbiorczy wykres prędkości dopuszczalnych

geowłókniny). Przeprowadzone doświadczenia i analizy [7] pozwoliły na sporządzenie krzywych określających krytyczne rozmiary uszkodzeń geowłóknin w funkcji prędkości filtracji w miejscu uszkodzenia materiału (rys. 5) [7, 9].

### PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ MATERIAŁÓW FILTRACYJNYCH W BUDOWNICTWIE WODNYM

Przedstawiono tu przykłady prawidłowego, jak i nieprawidłowego wykorzystania geosyntetyków w konstrukcjach drenaży i zabezpieczeń antyerozyjnych stosowanych w budownictwie wodnym.

#### Remont filtra zapory ziemnej w Smukale (rzeka Brda)

Istniejące obecnie budowle hydrotechniczne stopnia wybudowano w latach czterdziestych XX w.

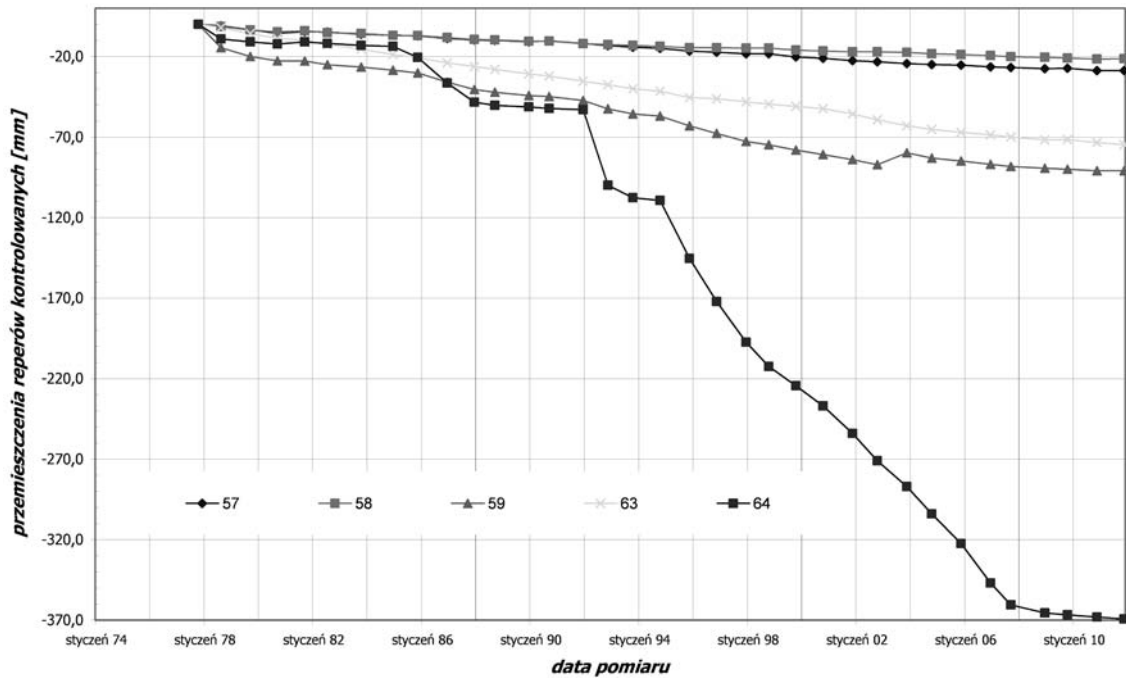
Głównym problemem technicznym eksploatacji stopnia Smukała jest proces nadmiernych osiadań korpusu zapory w części lewobrzeżnej. Osiadania reperów kontrolowanych mierzone są od 1978 r. Występuje tu zjawisko sufozji i wynoszenia gruntu w lewobrzeżnej części kanału odpływowego. Jak wynika z dokumentacji nadmierne osiadania obejmują rejon dawnej elektrowni, którą zlikwidowano w latach czterdziestych XX w. Wykres obserwowanych w tym rejonie przemieszczeń reperów kontrolowanych pokazano na rys. 7. Najstarszy reper nr 64 wykazywał do 1995 r. skokowe przyrosty przemieszczeń, a od ostatnich kilkunastu lat wykazuje stałą i dość wyrównaną tendencję osiadań, wynoszącą około 20 mm/rok. Równoległym procesem do osiadań reperów jest wynoszenie materiału korpusu zapory w odległości około 15 m poniżej lewego przyczółka jazu.

Celem prowadzonych prac była likwidacja przebiecia hydraulicznego i powstrzymanie zjawiska sufozji w dnie koryta odpływowego na lewym brzegu, powiązanego z wynoszeniem gruntu z korpusu zapory ziemnej w Smukale.

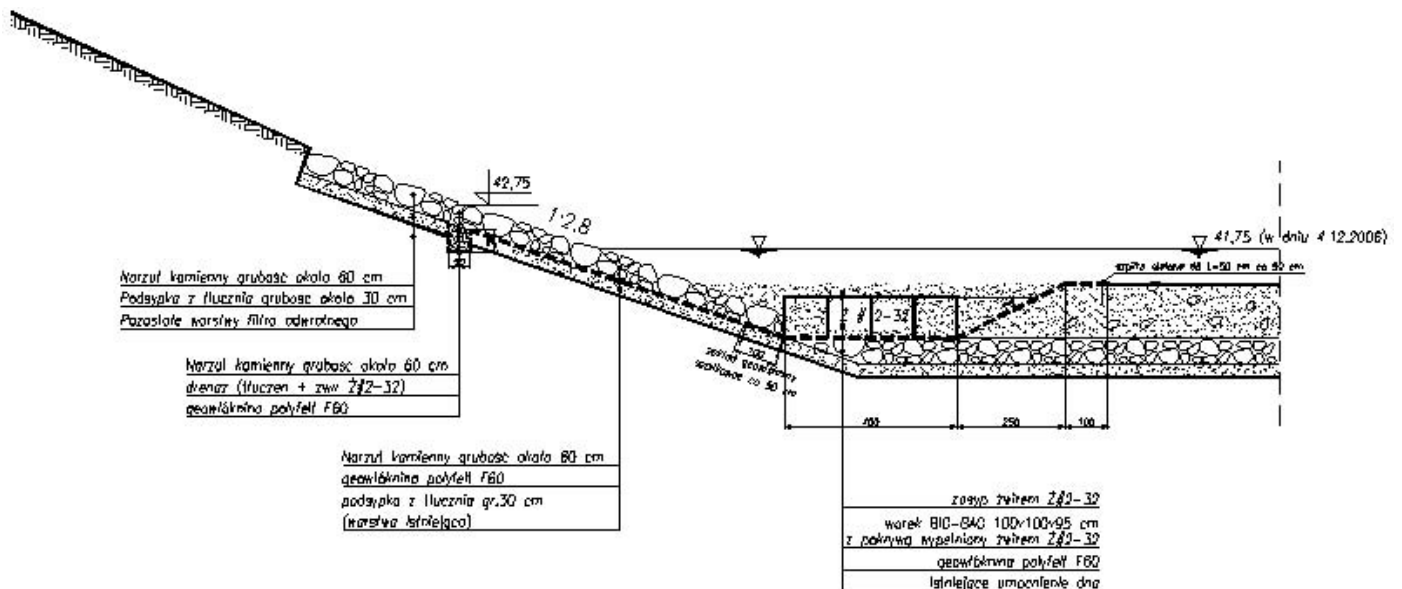
Przyjęte rozwiązanie i zakres robót wynikały z założenia możliwie jak najmniejszej ingerencji w istniejący filtr odwrotny oraz z konieczności prowadzenia robót bez obniżania poziomu zwierciadła wody na dolnym stanowisku stopnia w warunkach ciągłej pracy elektrowni. Pierwotnie chciano wykonać tradycyjny – mineralny filtr odwrotny, jednak ze względu na wątpliwości dotyczące jakości układania warstw filtra pod płynącą wodą zdecydowano, że zabezpieczenie dna i jednocześnie podstawę umocnienia skarpy stanowić będą worki *Big-Bag* wypełnione frakcjonowanym żwirem  $\text{Z}\#2-32$  ustawione na geowłókninie, natomiast skarpa będzie zabezpieczona narzutem kamiennym na geowłókninie. Geowłóknina pełni zatem rolę filtra powstrzy-



Rys. 6. Ogólny widok stopnia wodnego Smukała i remontowanej przyzmy drenażowej



Rys. 7. Osiedzenia reperów na zaporce ziemnej Smukała (w rejonie dawnej elektrowni)



Rys. 8. Przekrój przez remontowany fragment zapory

mującego istniejący proces wynoszenia materiału gruntowego z korpusu zapory w miejscach lokalnych przebić hydraulicznych. Wynikają stąd wysokie wymagania jakościowe zastosowanej geowłókniny oraz wymagania związane z jej układaniem w dnie i na powierzchni skarpy.

Remont filtra zapory wykonano pod koniec 2007 r., a przeprowadzone dotychczas obserwacje wskazują na zatrzymanie procesu wynoszenia gruntu z korpusu zapory, jak również stabilizację procesu osiadań. O ile przyrosty osiadań w okresie przed wykonaniem remontu kształtowały się na poziomie około 20 mm/rok, to po remoncie filtra wynoszą one około 1,5 mm/rok (rys. 7). Jest to radykalna zmiana świadcząca o skuteczności użytej geowłókniny, jako warstwy filtracyjnej zapobiegającej procesowi sufozji.



Rys. 9. Układanie geowłókniny na skarpi



## Kolmatacja geowłókniny pod narzutem kamiennym w EW Kolincz

Skarpy kanału odpływowego z jazu są umocnione narzutem kamiennym położonym na geowłókninie. Problem dotyczy zabagnienia terenu przyległego do umocnionej skarpy. Geowłóknina ułożona na skarpie pełni tu funkcję separacyjną dla narzutu kamiennego oraz rolę filtra między podłożem a warstwą narzutu. Próbkę geowłókniny o wymiarach około  $50 \times 50$  cm pobrano ze strefy położonej około 50 cm ponad średnim stanem wody na dolnym stanowisku stopnia wodnego Kolincz na rzece Wierzyca.

Wykonana na miejscu, i ponownie w laboratorium, ocena makroskopowa pozwoliła stwierdzić, że geowłóknina jest zakolmatowana drobnoziarnistym gruntem (pyłem) o barwie brązowej oraz silnie przerośnięta korzeniami roślin (rys. 11). Uszkodzeń mechanicznych próbki nie stwierdzono.

W celu oceny stopnia kolmatacji geowłókniny przeprowadzono badanie wodoprzepuszczalności w kierunku normalnym do płaszczyzny geosyntetyku. Doświadczenia przeprowadzono na próbkach materiału o średnicy  $\phi 50$  mm w zakresie różnicy ciśnienia po obu stronach próbki  $\Delta h = 10 \div 210$  mm. Na podstawie otrzymanych danych, z uwzględnieniem temperaturowego współczynnika korekcyjnego  $R_T$ , obliczono indeks prędkości

$V_{I_{H50}}$  wyrażony w cm/s oraz wskaźnik przepływu  $QI$  w odniesieniu do jednostkowej powierzchni materiału wyrażony w  $l/sm^2$ . Oba wskaźniki obliczono przy różnicy ciśnienia po obu stronach próbki wynoszącej  $\Delta h = 50$  mm. Prędkość przepływu wody przez próbkę przy poszczególnych spadkach hydraulicznych określano na podstawie wzoru:

$$v_{20} = \frac{V \cdot R_T}{A \cdot t} \quad [cm/s]$$

gdzie:

$v_{20}$  – prędkość wody odniesiona do temperatury  $20^\circ C$  [cm/s],

$V$  – objętość wody [cm<sup>3</sup>],

$R_T$  – temperaturowy współczynnik korekcyjny (odniesienie do  $20^\circ C$ ) [-],

$A$  – powierzchnia próbki (czynna) [cm<sup>2</sup>],

$t$  – czas przepływu mierzonej objętości wody  $V$  [s].

$$R_T = \frac{\eta_T}{\eta_{20}} = \frac{1,762}{1 + 0,0337 \cdot T + 0,00022 \cdot T^2} \quad [-]$$

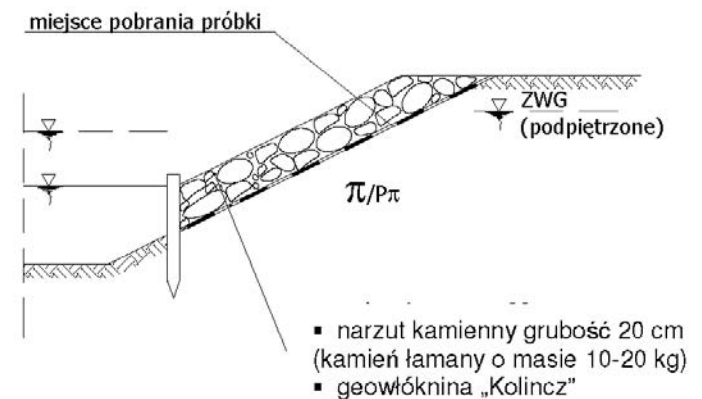
$$\eta_T = \frac{1,78}{1 + 0,0337 \cdot T + 0,00022 \cdot T^2} \quad [mPa \cdot s]$$

gdzie:

$T$  – temperatura wody [ $^\circ C$ ],

$\eta_T$  – lepkość dynamiczna wody w temperaturze  $T$  [ $^\circ C$ ] [mPa·s],

$\eta_{20}$  – lepkość dynamiczna wody w temperaturze  $20^\circ C$  [mPa·s].



Rys. 10. Umocnienie brzegu narzutem kamiennym. Schemat istniejącej konstrukcji

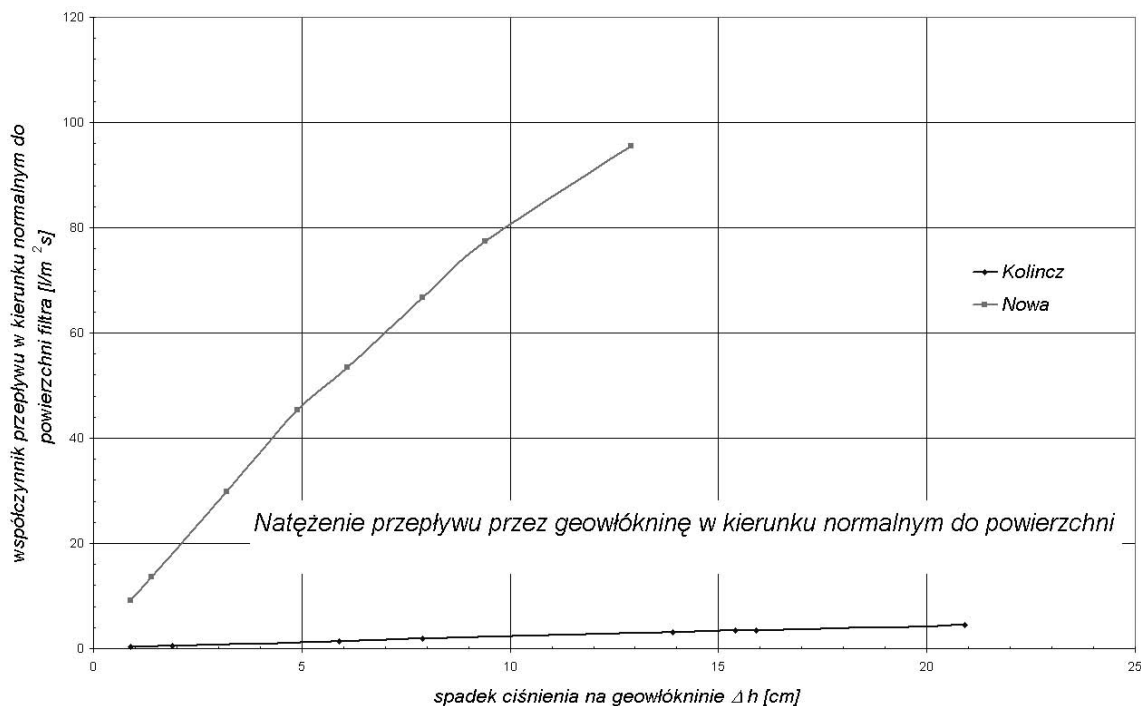


Rys. 11. Kolmatacja geowłókniny pyłem i korzeniami roślin

Tabl. 4. Wyniki badań wodoprzepuszczalności geowłókniny „Kolincz”.

Geowłóknina	Czynna powierzchnia próbki	Indeks prędkości	Przepływ przez próbkę	Przepływ odniesiony do 1 m <sup>2</sup>
–	$A$ [cm <sup>2</sup> ]	$V_{I50}$ [cm/s]	$Q_{I50}$ [cm <sup>3</sup> /s]	$Q_{I50}$ [l/sm <sup>2</sup> ]
„Kolincz”	19,6	0,14	2,7	1,3
„Nowa”	19,6	5,14	100,8	51,4

Uwagi: 1. Indeks  $H_{50}$  oznacza odniesienie danej wartości do różnicy ciśnień po obu stronach geosyntetyku równej 50 mm.  
2. Wszystkie parametry przepływu podane w tabl. wyznaczono z uwzględnieniem korekty temperatur  $R_T$ .



Rys. 12. Wykres natężenia przepływu w kierunku normalnym do płaszczyzny w funkcji spadku ciśnienia  $\Delta h$  w badanych geowłókninach

Wskaźnik przepływu  $QI$  obliczono (dla poszczególnych spadków) z wzoru:

$$QI = \frac{v_{20} \cdot A \cdot 10^{-3}}{A \cdot 10^{-4}} \quad [l/sm^2]$$

gdzie:

$Q$  – natężenie przepływu [cm<sup>3</sup>] przez próbkę,  
 $A$  – powierzchnia czynna próbki [cm<sup>2</sup>].

W celach porównawczych przeprowadzono również badanie, z zastosowaniem identycznej procedury, do „nowej” (czystej) geowłókniny filtracyjnej o zbliżonej grubości i masie powierzchniowej do badanej geowłókniny. Otrzymane wyniki w pełni potwierdzają wcześniejszą tezę o kolmatacji, bowiem geowłóknina „Kolincz” ma blisko 40-krotnie mniejszą przepuszczalność od „nowej” po 5 latach eksploatacji. Charakterystyczne wyniki badań wodoprzepuszczalności w kierunku normalnym do powierzchni materiału zestawiono tabl. 4 oraz na wykresie (rys. 12).

Analogiczne doświadczenia przeprowadzono na materiale pobranym z EW Ptusza na rzece Gwdzie, gdzie geowłóknina pełni funkcję separacyjno-filtracyjną pod umocnieniem brzegu w postaci materaca gabionowego. W tym przypadku badania wodoprzepuszczalności w kierunku normalnym do płaszczyzny

materiału wykazały około 14-krotne zmniejszenie wodoprzepuszczalności w stosunku do materiału nowego. Niekorzystne zjawiska towarzyszące filtracji nie wystąpiły.



Rys. 13. Umocnienie brzegu na dolnym stanowisku EW Ptusza na rzece Gwdzie



## Drenaż na dolnym stanowisku EW Podgaje

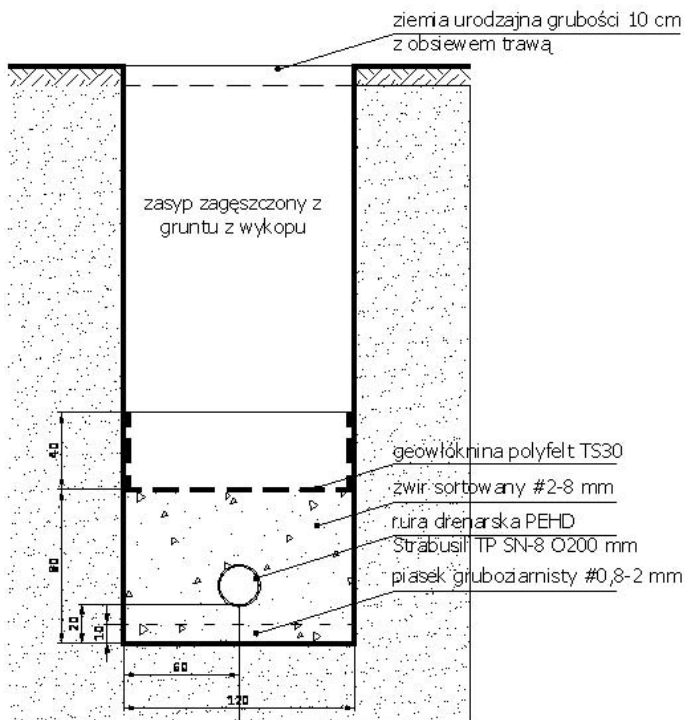
Odwodnienie dolnego stanowiska EW Podgaje stanowi problem, którego historia sięga lat budowy obiektu, tj. 1929 r. W podłożu występują bardzo wysokie ciśnienia wód artestyjskich. Linia ciśnień w żwirach podścielających warstwę piasków drobnych i pylastych, wznosi się lokalnie do 3 m ponad powierzchnię terenu. Praktycznie od wybudowania elektrowni występowały tu problemy związane z zachodzącymi zjawiskami filtracyjnymi i cykliczną niedrożnością systemów drenażowych. Obserwowano również zjawiska sufozyjne. W celu przeciwdziałania występowaniu niekorzystnych zjawisk podejmowano wiele działań zabezpieczających. Dokumentacja tych działań z okresu przedwojennego nie zachowała się, natomiast pierwsze prace w okresie powojennym podjęto w 1956 r., zakładając drenaż składający się ze studzienek zbiorczych i poziomych drenów ceramicznych. Od tego czasu system drenażowy prawego brzegu był wielokrotnie przebudowywany, z czego ostatnia przebudowa miała miejsce około 1995 r. Wykonano wówczas drenaż poziomy z kolektorami z rur kamionkowych w obsypce żwirowej z osłoną z geowłókniny. Podczas przeglądu budowli wykonanego w 2011 r. stwierdzono zapadanie się gruntu wokół studni, zapiaszczenie rur drenarskich, wzajemne przemieszczenie rur względem siebie (klawiszowanie) oraz upłynnienie gruntu w dnie studni. Ponadto drenaż był silnie zakolmatowa-

ny związkami żelaza, wytrąconym z wody gruntowej. Stan taki spowodował degradację podłoża gruntowego, jego rozluźnienie, co było bezpośrednią przyczyną podjęcia kolejnych działań naprawczych. Na przedstawionych fotografiach (rys. 14) pokazano stan drenażu w 2011 r. Według wstępnego rozpoznania są to wody gruntowe pochodzące z wodonośnych warstw żwirów zalegających w podłożu elektrowni. Wysokie ciśnienie wody w tych warstwach powoduje zjawiska sufozyjne, które obserwowane są w pobliżu dolnego stanowiska elektrowni, jak również od strony stanowiska górnego – w dnie kanału derywacyjnego (po jego opróżnieniu). Cykliczna utrata właściwości rozmaitych systemów drenażowych, jakie były stosowane przez ostatnie dziesięciolecie, wskazuje na poważny problem z odwodnieniem w warunkach występowania wód gruntowych z żelazem oraz intensywnej filtracji z wodonośnych żwirów podścielających.

Celem przyjętego rozwiązania drenażu (rys. 15) było zabezpieczenie podłoża przed dalszą degradacją związaną z wynoszeniem gruntu przez uszkodzone rury kamionkowe istniejącego dotychczas drenażu. Zastosowana geowłóknina pełni tu jedynie funkcję separacyjną między właściwą warstwą drenażową (żwir) a zasypem wykopu. W związku z tym przyjęte rozwiązanie polega jedynie na odtworzeniu istniejącego systemu drenażu poziomego, przy czym rezygnacja z geowłókniny wokół obsypki żwirowej powinna zapewnić dłuższe utrzymanie zdolności drenażu do przyjmowania wody.



Rys. 14. Ogólny stan zniszczonego drenażu po prawej stronie budynku elektrowni



Rys. 15 – Typowy przekrój drenażu

## WNIOSKI

Odpowiedni dobór geosyntetycznych materiałów filtracyjnych powinien w każdym przypadku (nawet w przypadku konstrukcji mniej odpowiedzialnych) opierać się na analizie możliwych zagrożeń wynikających z zastosowania danego materiału w danych warunkach gruntowo-wodnych. W szczególności należy zwrócić uwagę na ryzyko wystąpienia kolmatacji wewnętrznej materiału. Podjęcie decyzji dotyczącej doboru geosyntetycznego materiału filtracyjnego bez przeprowadzenia analizy jego pracy w konstrukcji w większości przypadków musi spowodować jego dysfunkcję. Przedstawione kryteria umożliwiają dobór odpowiednich materiałów geotekstylnych w zastosowaniach filtracyjno-drenażowych. Jak wykazały doświadczenia do optymalnej współpracy gruntu z filtrem geosyntetycznym konieczne jest ukształtowanie się przesklepienia filtracyjnego na powierzchni rozdziału faz. Przesklepienie takie powoduje, że nawet uszkodzone materiały geotekstylne mogą w dalszym ciągu pełnić swoje funkcje, o ile nie jest przekroczona krytyczna prędkość filtracji w miejscu uszkodzenia. W przypadku braku współpracy gruntu z materiałem geotekstylnym, w gruntach

wewnętrznie niestabilnych, największym problemem jest możliwość wystąpienia kolmatacji filtra. W tym względzie zebrane doświadczenia wyprzedzają podstawy teoretyczne, a dobór materiału w szczególnie odpowiedzialnych konstrukcjach powinien być przeprowadzony na drodze doświadczeń laboratoryjnych.

Kolmatacja sprawia, że okres właściwego funkcjonowania drenażu skraca się do kilkunastu lub nawet kilku lat. Prowadzi to do wzrostu ciśnień i gradientów filtracyjnych, które z kolei zainicjować mogą zjawiska sufozyjne. Moim zdaniem w przypadkach, gdzie drenáže odprowadzają zażelazione wody gruntowe lub gdy drenáže układane są w gruntach pylastych należy zrezygnować z stosowania geowłóknin na rzecz klasycznych filtrów odrotnych układanych wokół właściwej warstwy drenażowej.

## LITERATURA

1. ASTM Designation: D 5101-90: Standard Test Method for Measuring the Soil-Geotextile System Clogging Potential by the Gradient Ratio.
2. Engineering Use of Geotextiles. Technical Manual, US Army Corps of Engineers, Departments of the Army and the Air Force, 1995.
3. Giroud J. P.: Geosynthetic and Granular Filters. IGS, Warsaw, 2007.
4. Haliburton T. A., Wood P. D.: Evaluation of the U.S. Army Corps of Engineers Gradient Ratio Test for Geotextile Performance. Proceedings of Second International Conference on Geotextiles. Las Vegas, Nevada, 1982, 97-101.
5. Pilarczyk K. W., Breteler M. K.: Geotextiles in revetment structures – A Dutch approach, Filters and Drainage in Geotechnical and Environmental Engineering The Third Int. Conf. Geofilters 2000, W. Wolski, J. Młynarek, editors, Balkema, 2000.
6. Pilarczyk K. W.: Projektowanie umocnień brzegowych (Design of revetments), Materiały Sympozjum „Hydrotechnika V’2003”, Ustroń, 2003.
7. Sterpejkowicz-Wersocki W.: Kryteria oceny stabilności strefy kontaktowej grunt-filtr syntetyczny w warunkach zmiennych stanów wód. Rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Gdańsk 2007.
8. Sterpejkowicz-Wersocki W., Szudek W.: Zabezpieczenie przed sufozją zapory w Smukale. Hydrotechnika X’2008, Sympozjum Ogólnokrajowe, Ustroń, 13-15 maja 2008.
9. Sterpejkowicz-Wersocki W., Bolt A.: Stabilność strefy kontaktowej grunt – filtr syntetyczny, Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 5/2007, 281-291.
10. Wojtasik D.: Ocena przydatności geowłókniny jako warstwy filtracyjnej w kontakcie z gruntami sufozyjnymi. Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej „Geosyntetyki i tworzywa sztuczne w geotechnice i budownictwie inżynierskim”, Częstochowa 11-13.05.2006, PZITB, 2006.