

**ZALECENIA DOTYCZĄCE STOSOWANIA
GEOSYNTETYKÓW W ODWODNIENIACH
DRÓG**

ISBN xxxxxxxx

Warszawa, 2009

Praca została wykonana na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg
Krajowych i Autostrad

© Copyright by Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad
Warszawa 2009

ISBN xxxxxxxx

Koordynator serii Zaleceń

prof. dr hab. inż. Dariusz Sybilski

Autorzy opracowania

dr inż. Bolesław Kłosiński

mgr inż. Beata Gajewska

mgr inż. Piotr Rychlewski

Rysunki

mgr inż. Beata Gajewska

mgr inż. Piotr Rychlewski

techn. Łukasz Górecki

Konsultacja

dr inż. Janusz Sobolewski

mgr inż. Cezary Szarugiewicz

Opiniodawcy

dr inż. Wanda Grzybowska

dr inż. Henryk Dąbrowski

Redakcja

mgr Ewa Misiewicz

mgr Justyna Szczepańska

Wydawca

Instytut Badawczy Dróg i Mostów

ul. Jagiellońska 80

03-301 Warszawa

tel. (0-22) 811 3231, fax (0-22) 811 17 92

e-mail: ibdim.edu.pl.

Druk

WROCŁAWSKA Drukarnia Naukowa PAN
im. Stanisława Kulczyńskiego
53-505 Wrocław, ul. Lelewela 4
tel. (0-71) 349 90 18, fax (0-71) 343 87 78

SPIS TREŚCI

1	Postanowienia ogólne i określenia	4
1.1	Przedmiot i cel Zaleceń	6
1.2	Zakres opracowania	7
2	Ogólna charakterystyka i właściwości geosyntetyków	8
2.1	Funkcje i nazewnictwo geosyntetyków	8
2.2	Właściwości geosyntetyków	10
2.3	Rodzaje wyrobów geosyntetycznych stosowanych w odwodnieniach	15
3	Przegląd zastosowań geosyntetyków w odwodnieniach	19
4	Podstawy projektowania odwodnienia z użyciem geosyntetyków	25
4.1	Dane wejściowe do projektowania	25
4.2	Projektowanie filtrów z geosyntetyków	25
4.2.1	Mechanizm działania filtra geotekstylnego	26
4.2.2	Wymagania hydrauliczne	26
4.2.3	Wymagania dotyczące doboru filtrów	27
4.2.4	Wymagane właściwości mechaniczne geotekstyliów filtrujących	31
4.2.5	Dobór geosyntetyków przeznaczonych do filtrowania	32
4.3	Projektowanie drenaży z geosyntetyków	35
4.3.1	Właściwości hydrauliczne	35
4.3.2	Właściwości hydrauliczne wyrobów drenażowych	37
4.3.3	Wymagane właściwości mechaniczne wyrobów drenażowych	39
4.4	Drenaż francuski	39
4.5	Pozioma warstwa drenażowa	43
4.6	Uszczelnienia – bariery geosyntetyczne	45
5	Transport i składowanie	48
6	Wbudowanie geosyntetyków	49

Zalecenia dotyczące stosowania geosyntetyków w odwodnieniach dróg

7	Wymagania dotyczące trwałości wyrobów	53
8	Badania kontrolne i kryteria odbioru	58
	Literatura	59
	Spis rysunków	64
	Spis tablic	65

1. Postanowienia ogólne i określenia

1.1. Przedmiot i cel Zaleceń

Przedmiotem Zaleceń są wymagania i wytyczne dotyczące wyrobów geosyntetycznych stosowanych w odwodnieniach nawierzchni i korpusów dróg, projektowania i konstruowania odwodnień, ich wykonywania, badań i kontroli. Zalecenia dotyczą także konstrukcji odwodnień i uszczelnień z zastosowaniem geosyntetycznych wyrobów filtrujących, drenażowych i ochronnych oraz barier polimerowych i iłowych.

Celem Zaleceń jest określenie oraz ujednolicenie zasad projektowania i wykonywania odwodnień drogowych z zastosowaniem wyrobów geosyntetycznych.

Zalecenia są przeznaczone do stosowania przez administrację drogową, jednostki projektowe oraz jednostki wykonawcze w planowaniu, projektowaniu, budowie, nadzorze oraz utrzymaniu i kontroli konstrukcji odwodnień drogowych z wykorzystaniem wyrobów geosyntetycznych.

Stosowanie geosyntetyków jako warstw filtracyjnych i drenażowych, a także separacyjnych i wzmacniających podłoże jest zalecane w określonych przypadkach w Rozporządzeniach Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 2 marca 1999 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 43 poz. 430 [41], w Zał. 4, p. 5 i 7) oraz z 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U. nr 63 poz. 735 [42], w rozdziale 4, § 121 – 125 i § 144). Dokumenty te nie zawierają jednak konkretnych wymagań technicznych oraz organizacyjnych i w tym zakresie uzupełniają je niniejsze Zalecenia. Należy je stosować łącznie z innymi przepisami oraz normami.

Niniejsze Zalecenia opracowano m.in. na podstawie wiedzy zawartej w literaturze zestawionej na końcu pracy. Przy opracowywaniu Zaleceń korzystano również z doświadczeń przedstawicieli firm, których wyroby są produkowane i stosowane na terenie Polski. Wszystkim im autorzy składają serdeczne podziękowania za współpracę w tworzeniu tego opracowania.

Niniejsze Zalecenia stanowią jeden z siedmiu tomów pracy naukowo-badawczej dotyczącej analizy metod poprawy stanu odwodnienia dróg i należących do nich drogowych obiektów inżynierskich. Treść i rozwiązania przedstawione w niniejszym zeszycie nie są sprzeczne z treścią i rozwiązaniami zawartymi w pozostałych zeszytach Zaleceń.

1.2. Zakres opracowania

Wyczerpujące zalecenia odnośnie do powierzchniowego i wglębnego odwodnienia dróg zawiera Zeszyt 1 – Zalecenia projektowania, budowy i utrzymania. Zaleceniach omówiono zasady stosowania wyrobów geosyntetycznych odwodnienia dróg oraz przystanków komunikacyjnych.

W niniejszych spełniających w budowlach drogowych funkcje filtrowania, drenowania i uszczelnienia (bariery).

W Zaleceniach przedstawiono:

- charakterystykę wyrobów geosyntetycznych stosowanych w odwodnieniach drogowych, funkcje i właściwości geosyntetyków,
- rozwiązania zastosowań geosyntetyków w odwodnieniach,
- zasady projektowania odwodnień z wykorzystaniem geosyntetyków,
- zasady wykonywania elementów odwadniających podłoże nawierzchni i korpus drogowy,
- metody badań wyrobów i konstrukcji odwodnień, zasady kontroli i kryteria odbioru robót.

Zalecenia nie obejmują zagadnień odwodnień ścian oporowych, przyczółków, tuneli i innych budowli inżynierskich. Zagadnienia te są omówione w oddzielnych zeszytach, dotyczących odwodnień takich konstrukcji.

2. Ogólna charakterystyka i właściwości geosyntetyków

2.1. Funkcje i nazewnictwo geosyntetyków

W geotechnice oraz inżynierii komunikacyjnej powszechnie stosowane są geosyntetyki, do których należą m.in. geotekstylnia, bariery geosyntetyczne i inne wyroby pokrewne.

Zgodnie z normą PN-EN ISO 10318:2007 wyróżnia się następujące podstawowe funkcje geosyntetyków stosowanych w odwodnieniu dróg:

Filtrowanie - zapobieganie przenikaniu gruntu lub innych cząstek, poddanych działaniu sił hydrodynamicznych, przy jednoczesnym umożliwieniu przepływu płynów wewnątrz albo przez wyrób geotekstylny lub pokrewny,

Drenowanie - zbieranie i transportowanie przesiąkającej wody gruntowej i (lub) innych płynów w płaszczyźnie wyrobu geotekstylnego lub pokrewnego,

Bariery (uszczelnienia) - zastosowanie geosyntetyku w celu zapobieżenia lub ograniczenia migracji płynów.

W systemach drenażowych geosyntetyki najczęściej pełnią rolę filtru. Funkcje tę pełnią zwykle geowłókniny.

Funkcje drenażowe mogą pełnić geokompozyty drenażowe lub też wyjątkowo grube geowłókniny o odpowiednich właściwościach.

Zastosowanie barier geosyntetycznych jako uszczelnień ma na celu zabezpieczenie przed przenikaniem wody przez konstrukcję oraz ograniczenie zanieczyszczenia wód gruntowych i zasobów wodnych.

Geosyntetyki można też wykorzystać do powierzchniowego zabezpieczenia przeciwozyjnego - zastosowania wyrobu geotekstylnego lub pokrewnego w celu ograniczenia lub zapobieżenia przemieszczaniu się gruntu lub innych cząstek na powierzchni np. skarpy.

Norma PN-EN ISO 10318:2007 definiuje wyrób geotekstylny (GTX) jako płaski, przepuszczalny, polimerowy (syntetyczny lub naturalny) wyrób tekstylny, który może być nietkany, tkany lub dziany, stosowany w kontakcie z gruntem i/lub innymi materiałami w geotechnice i budownictwie. Należy zwrócić uwagę na spotykane błędne określanie wszystkich geotekstyliów terminem "geowłókniny". Z kolei geotekstylne wyroby pokrewne to płaskie,

przepuszczalne, polimerowe (syntetyczne lub naturalne) wyroby, które nie odpowiadają definicji wyrobu geotekstylnego.

Wyróżnia się następujące rodzaje geosyntetyków stosowanych w odwodnieniach:

Geotekstylia - grupa wyrobów obejmująca m. in. geotkaniny i geowłókniny

- **Geowłókniny (GTX-N)** - wyroby tekstylne, wytworzone z ukierunkowanych lub losowo rozłożonych włókien ciągłych lub ciętych, lub innych elementów, łączonych mechanicznie i/lub termicznie i /lub chemicznie.

Geotkaniny (GTX-W) – wyroby tekstylne, wytworzone z dwóch (lub więcej) układów przędz, włókien ciągłych, taśm lub innych elementów, przeplatanych zwykle pod kątem prostym.

Geotekstylny wyrob pokrewny:

- **Georuszt drenażowy (GNT)** - geosyntetyk składający się z układu równoległych żeber, ułożonego na podobnym układzie żeber, przy czym oba te układy przecinają się pod dowolnym kątem i są ze sobą trwale połączone.
- **Geotaśma (GST)** - polimerowy wyrób w formie taśmy o szerokości nie większej niż 200 mm, stosowany w kontakcie z gruntem i/lub innymi materiałami w geotechnice i budownictwie.

Geosyntetyk dystansujący (GSP) - polimerowy wyrób o przestrzennej strukturze, zaprojektowany w celu wytworzenia w gruncie (lub innym materiale) wolnej przestrzeni, stosowany w geotechnice i budownictwie.

Bariera geosyntetyczna (GBR) - wyrób geosyntetyczny o małej przepuszczalności, stosowany w geotechnice i budownictwie, w celu uniemożliwienia lub ograniczenia swobodnego przepływu płynów przez konstrukcję; wyróżnia się następujące rodzaje barier:

- **Geosyntetyczna bariera polimerowa (GBR-P)** - łączona w zakładzie produkcyjnym konstrukcja z wyrobów geosyntetycznych w formie arkusza, funkcję uszczelnienia zasadniczo pełnią wyroby polimerowe.
- **Geosyntetyczna bariera ilowa (GBR-C)** - łączona w zakładzie produkcyjnym konstrukcja z wyrobów geosyntetycznych w formie arkusza, funkcję uszczelnienia zasadniczo pełni materiał ilowy.
- **Geosyntetyczna bariera bitumiczna (GBR-B)** - łączona w zakładzie produkcyjnym konstrukcja z wyrobów geosyntetycznych w formie arkusza, funkcję uszczelnienia zasadniczo pełni wyrób bitumiczny.

Geokompozyt (GCO) - materiał powstały w wyniku trwałego połączenia geosyntetyku z innym materiałem, którym np. może być inny geosyntetyk, płyty z tworzywa sztucznego, itp. (geosyntetyki).

Geomata (GMA) - wyrób o przestrzennej, przepuszczalnej strukturze, wytworzony z polimerowych jednolitych włókien ciągłych i/lub innych elementów (syntetycznych lub naturalnych), łączonych mechanicznie i /lub termicznie i /lub chemicznie lub w inny sposób.

Geosyntetyk komórkowy (GCE) - polimerowy (syntetyczny lub naturalny) wyrób o przestrzennej, przepuszczalnej strukturze w formie plastra miodu lub podobnej strukturze komórkowej, wytworzony z połączonych ze sobą taśm geosyntetyków.

W normie PN-EN ISO 10318:2007 wyróżniono następujące terminy związane z właściwościami hydraulicznymi geosyntetyków:

Charakterystyczna wielkość porów O_{90} [μm] - wielkość porów odpowiadająca średnicy miarodajnej ziaren gruntu, przesianych przez wyrób geotekstylny, których zawartość wraz z mniejszymi stanowi 90 % masy gruntu.

Współczynnik przepuszczalności prostopadle do płaszczyzny wyrobu k_n [m/s] - stosunek prędkości przepływu v do gradientu hydraulicznego i .

Strumień przepływu q_n [$\text{l}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$] - objętościowa prędkość przepływu na jednostkę powierzchni prostopadle do płaszczyzny wyrobu przy określonym naporze hydraulicznym.

Wskaźnik prędkości przepływu v -index [mm/s] - prędkość odpowiadająca spadkowi naporu hydraulicznego o wartość 50 mm na grubości próbki w badaniu wodoprzepuszczalności.

Zdolność przepływu w płaszczyźnie wyrobu q_p [$\text{l}/(\text{m} \cdot \text{s})$] - objętościowa prędkość przepływu wody i/lub innych płynów na jednostkę szerokości badanej próbki, przy określonych gradientach w płaszczyźnie wyrobu.

Przepuszczalność właściwa Θ (ang. transmissivity) [$\text{l}/(\text{m} \cdot \text{s})$] - zdolność przepływu w płaszczyźnie wyrobu, określona przy gradiencie hydraulicznym równym 1.

Współczynnik przepuszczalności w płaszczyźnie wyrobu k_p [m/s] - stosunek zdolności przepływu w płaszczyźnie q_p do grubości wyrobu d i do gradientu hydraulicznego i .

Gradient hydrauliczny i [-] - stosunek całkowitego spadku naporu hydraulicznego Δh wzdłuż próbki, do jej długości l w kierunku przepływu.

Kolmatacja - zatykanie i/lub blokowanie porów wyrobu prowadzące do redukcji jego wydajności hydraulicznej.

Zatykanie - gromadzenie się cząstek gruntu i/lub innych materiałów wewnątrz wyrobu prowadzące do redukcji jego wydajności hydraulicznej.

Blokowanie - gromadzenie się cząstek gruntu i/lub innych materiałów na powierzchni wyrobu prowadzące do redukcji jego wydajności hydraulicznej.

Szczelność na cieczy - spełnienie przez geosyntetyk wymagań właściwej specyfikacji wyrobu określającej metodę badania i kryteria dopuszczalności, np. końcowy lub maksymalny dopuszczalny strumień przepływu.

2.2. Właściwości geosyntetyków

Głównymi surowcami do wyrobu geosyntetyków są polipropylen PP, poliester PET (PES) i polietylen wysokiej gęstości HDPE, w mniejszym zakresie poliamidy PA i inne, a także specjalne tworzywa o dużej sztywności na rozciąganie, małym pełzaniu i dobrej odporności chemicznej, jak poliwinylalkohol PVA i aramid A. Jako powłoki osłaniające stosuje się polichlorek winylu PVC, polietylen PE, żywice akrylowe i bitumy.

Geosyntetyczne bariery polimerowe mają postać pasm ekstrudowanych folii, wytłaczanych z rozdmuchem lub kalandrowanych. Najczęściej są wykonywane z HDPE, rzadziej z PVC, PELD lub PP.

Geosyntetyczne bariery iłowe składają się z osłony geowłókninowej wypełnionej sproszkowanym lub granulowanym iłem, najlepiej bentonitem sodowym.

Geosyntetyczne bariery bitumiczne są rzadziej stosowane.

Wyroby geotekstylne stosowane w systemach drenażowych charakteryzują m.in. następujące grupy parametrów:

- cechy geometryczne i masa powierzchniowa,
- właściwości fizyczno-mechaniczne,
- odporność na uszkodzenia mechaniczne podczas wbudowania i w czasie eksploatacji (pod obciążeniami cyklicznymi lub dynamicznymi),

Zalecenia dotyczące stosowania geosyntetyków w odwodnieniach dróg

- właściwości hydrauliczne,
- odporność fizyczno-chemiczna i biologiczna.

Ogólne wymagania dotyczące właściwości wyrobów stosowanych w systemach drenażowych oraz metody badań określa norma PN-EN 13252. Podstawowe informacje zawiera tablicy 2.1.

Tablica 2.1. Wymagania dotyczące geotekstyliów i wyrobów pokrewnych stosowanych w systemach drenażowych według PN-EN 13252

Nr	Właściwość	Metoda badań	Funkcja		
			Filtrowanie	Rozdzie-lanie	Drenaż
1	Wytrzymałość na rozciąganie ^b	EN ISO 10319	H	H	H
2	Wydłużenie przy maksymalnym obciążeniu	EN ISO 10319	A	A	A
3	Wytrzymałość na rozciąganie szwów i połączeń	EN ISO 10321	S	S	S
4	Odporność na przebicie statyczne (CBR) ^{a b}	EN ISO 12236	S	H	--
5	Odporność na przebicie dynamiczne ^a	EN 918	H	A	--
6	Właściwości tarcia	prEN ISO 12957-1:1997 i prEN ISO 12957-2:1997	S	S	S
7	Pełzanie przy ściskaniu	EN 1897	--	--	A
8	Uszkodzenia w czasie wbudowania	ENV ISO 10722-1	A	A	A
9	Charakterystyczna wielkość porów	EN ISO 12956	H	A	--
10	Wodoprzepuszczalność w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu	EN ISO 11058	H	A	--
11	Zdolność przepływu wody w płaszczyźnie wyrobu	EN ISO 12958	--	--	H
12	Trwałość	zgodnie z aneksem B	H	H	H
12.1	Odporność na starzenie się w warunkach atmosferycznych	EN 12224	A	A	A
12.2	Odporność na degradację chemiczną	ENV ISO 12960 lub ENV ISO 1343 8, ENV 12447	S	S	S
12.3	Odporność na degradację mikrobiologiczną	EN 12225	S	S	S

Zalecenia dotyczące stosowania geosyntetyków w odwodnieniach dróg

Oznaczenia:

- H: właściwość wymagana do harmonizacji
A: właściwość ważna we wszystkich warunkach stosowania
S: właściwość ważna w specyficznych warunkach stosowania
--: właściwość nieistotna dla danej funkcji
^a zaleca się brać pod uwagę, że badanie to może nie mieć zastosowania w przypadku niektórych wyrobów, np. geosiatek (georusztów).
^b oznaczenie „H” w przypadku właściwości mechanicznych (wytrzymałość na rozciąganie i przebicie statyczne) oznacza, że producent powinien dostarczyć dane z obu badań. W specyfikacji wyrobu wystarczy zamieścić tylko jeden z tych parametrów, albo wytrzymałość na rozciąganie albo na przebicie statyczne.

Geosyntetyki stosowane jako bariery uszczelniające charakteryzują m.in. następujące grupy parametrów:

- cechy geometryczne i masa powierzchniowa,
- właściwości fizyczno-mechaniczne,
- odporność na uszkodzenia mechaniczne podczas wbudowania i w czasie eksploatacji (pod obciążeniami cyklicznymi lub dynamicznymi),
- odporność fizyczno-chemiczna i biologiczna,
- szczelność na ciecz.

Ogólne wymagania dotyczące właściwości barier stosowanych w infrastrukturze transportowej oraz metody badań określa norma EN 15382. Podstawowe informacje zawiera tablica 2.2.

Tablica 2.2. Wymagania dotyczące barier geosyntetycznych stosowanych w infrastrukturze transportowej według prEN 15382

Nr	Badana właściwość	Wymaganie			Metody badań			Uwagi
		GBR-P	GBR-B	GBR-C	GBR-P	GBR-B	GBR-C	
Właściwości fizyczne								
1	Grubość	A	A	A	EN 1849-2	EN 1849-1	EN 9863-1	
2	Masa powierzchniowa	A	A	A	EN 1849-2	EN 1849-1	EN 14196: 2003	
Właściwości hydrauliczne								
3	Wodoprzepuszczalność (szczelność na ciecz)	H	H	H	EN 14150	EN 14150	ASTM D 5887-95	
4	Wskaźnik pęcznienia	-	-	A	-	-	ASTM D 5890-95	
Właściwości mechaniczne								
5	Wytrzymałość na rozciąganie	H	H	H	EN ISO 527	EN 12311-1	EN ISO 10319	W przypadku GBR-P należy stosować normę ISO 527 część 1 i 3, badać próbki numer 5 przy prędkości 100 mm/min.

Zalecenia dotyczące stosowania geosyntetyków w odwodnieniach dróg

6	Wydłużenie	A	A	A	EN ISO 527	EN 12311-1	EN ISO 10319	W przypadku GBR-P należy stosować normę ISO 527 część 1 i 3, badać próbki numer 5 przy prędkości 100 mm/min; obliczyć wydłużenie zgodnie z ISO 527-1:1996, 10.2 stosując pomiar odległości zacisków
7	Przebiecie statyczne	H	H	H	EN ISO 12236	EN ISO 12236	EN ISO 12236	
8	Wytrzymałość na rozdzielanie	S	S	-	ISO 34-1	EN 12310-1	-	W przypadku GBR-P należy stosować metodę B, próbkę kątową bez nacięcia (rysunek 2) przy prędkości 50 mm/min
9	Tarcie – bezpośrednie ścinanie	S	S	S	EN ISO 12957-1	EN ISO 12957-1	EN ISO 12957-1	
10	Tarcie – pochylona płaszczyzna	S	S	S	EN ISO 12957-2	EN ISO 12957-2	EN ISO 12957-2	
Właściwości termiczne								
11	Zachowanie w niskich temperaturach (giętkość)	S	S	-	EN 495-5	EN 1109	-	
12	Rozszerzalność termiczna	A	-	-	ASTM D 696-91	-	-	
Trwałość i odporność chemiczna								
13	Wpływy atmosferyczne	H	H	-	EN 12224	EN 12224	EN 12224	GBR-C: patrz 4.3.5 normy EN 15382
14	Mikroorganizmy	A	A	A	EN 12225	EN 12225	EN 12225	
15	Utlenianie	H	H	H	EN 14575	EN 14575	EN ISO 13438	W przypadku składników geotekstylnych i przedz zbrojących w barierach GBR-C, zastosowanie ma prEN ISO 13438
16	Korozja naprężeniowa wskutek oddziaływań środowiska	H	-	H	EN 14576	-	EN 14576	GBR-C: odpowiednia tylko w przypadku składników polimerowych wchodzących w skład barier GBR-C
17	Wypłukiwanie (rozpuszczalność)	A	A	A	EN 14415	EN 14415	EN 14415	
18	Nawilżanie / suszenie	-	-	A	-	-	CEN/TS 14417	
19	Zamrażanie / rozmrażanie	-	-	A	-	-	CEN/TS 14418	
20	Wnikanie korzeni	A	A	A	CEN/TS 14416	CEN/TS 14416	CEN/TS 14416	
21	Odporność chemiczna	S	S	S	EN 14414:2004, Załącznik B	EN 14414:2004, Załącznik B	EN 14414:2004, Załącznik B	
Odniesienia: H: wymagane do harmonizacji; A: odnoszące się do wszystkich warunków zastosowań; S: związane ze specyficznymi warunkami stosowania; -: nie związane; oznaczenia GBR-P, -B, -C – wg 2.1 s. 9.								

UWAGA W przypadku szczególnych zastosowań mogą być wymagane dodatkowe właściwości i - najlepiej znormalizowane - metody badań, pod warunkiem że są one technicznie uzasadnione i nie są sprzeczne z normami europejskimi. Zaleca się określenie projektowanego okresu użytkowania wyrobu, ponieważ może on pełnić swoją funkcję tymczasowo jako zabezpieczenie konstrukcji, lub na stałe w całym okresie użytkowania konstrukcji.

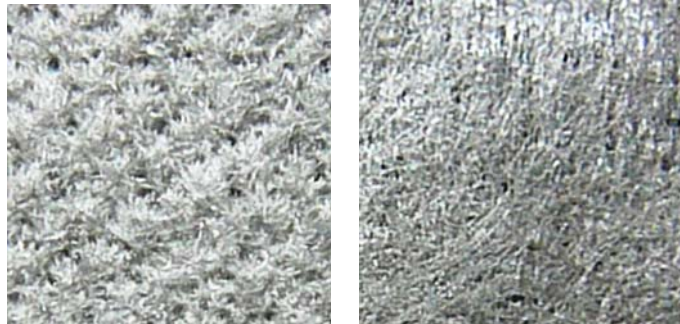
2.3. Rodzaje wyrobów geosyntetycznych stosowanych w odwodnieniach

W systemach drenażowych najczęściej stosowane są następujące rodzaje geosyntetyków:

- Geowłókniny,
- Geotkaniny,
- Geokompozyty,
- Bariery geosyntetyczne (bariery polimerowe są często nazywane geomembranami, a ilowe bentomatami lub matami bentonitowymi).

Geowłókniny (rys. 2.1.)

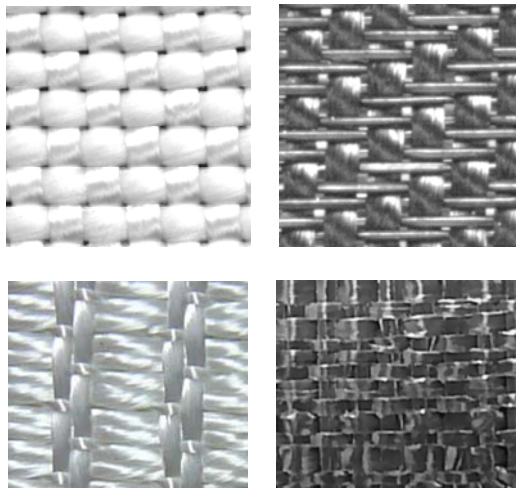
Geowłókniny mogą być igłowane z włókien ciętych lub ciągłych (łączone mechanicznie), termozgrzewane, zgrzewane chemicznie.



Rys. 2.1. Przykłady geowłóknin

Geotkaniny (rys. 2.2.)

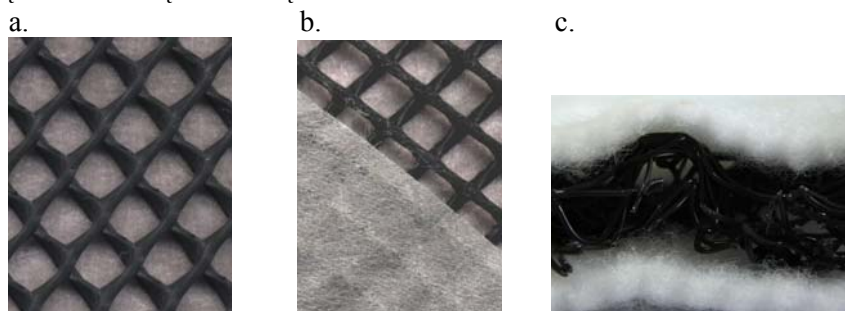
Geotkaniny mogą być tkane z monofilamentów (głównie tkaniny poliestrowe) lub z tasiemek (tkaniny polipropylenowe).



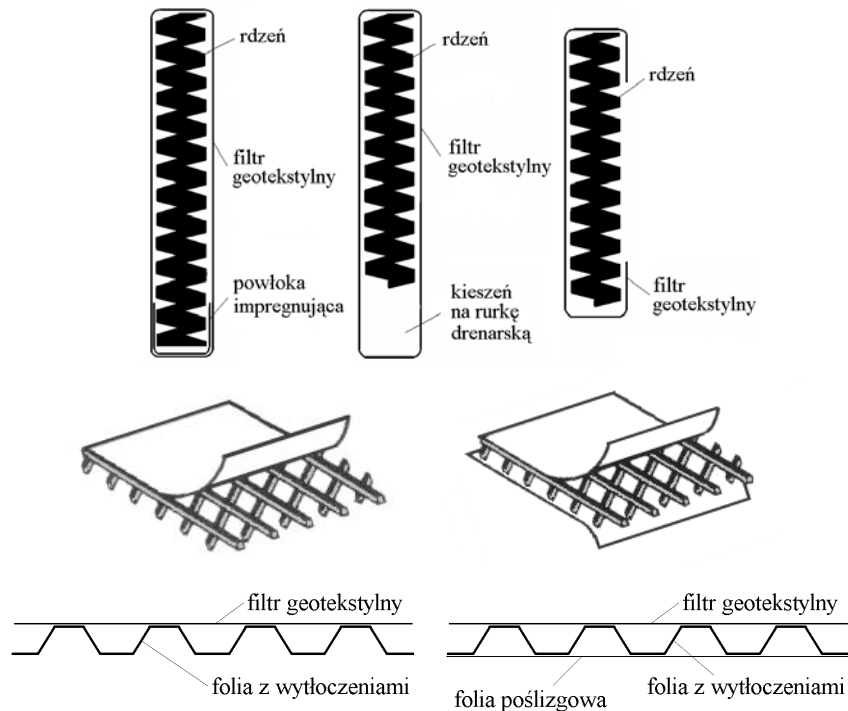
Rys. 2.2. Przykłady geotkanin

Geokompozyty drenażowe

Geokompozyty drenażowe to struktura przestrzenna, jednostronnie lub dwustronnie przepuszczalna. Składa się ona z rdzenia (np. georuszt drenażowy lub geosyntetyk dystansujący) osłoniętego jednostronnie lub dwustronnie przepuszczalnym geosyntetykiem filtracyjnym (geowłóknina, geotkanina). O wydajności (wodoprzepuszczalności w płaszczyźnie drenu) decydują w znacznym stopniu kształt i struktura rdzenia. Przykłady geokompozytów z rdzeniem pokazano na rys. 2.3. i rys. 2.4. Geokompozyty mogą być wytwarzane w postaci pasm, które następnie są łączone (głównie na zakład) - jest to tzw. drenaż powierzchniowy. Mogą być też wytwarzane w postaci wąskich pasów lub taśm jako gotowe dreny. Dreny geokompozytowe mogą być połączone z rurką drenarską.

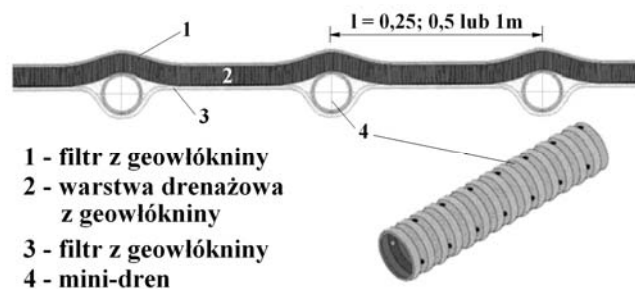


Rys. 2.3. Przykłady geokompozytów (a. georuszt drenażowy + jednostronnie geowłóknina, b. georuszt drenażowy + obustronnie geowłóknina, c. rdzeń: geomata + obustronnie geowłóknina)



Rys. 2.4. Przykładowe rodzaje geokompozytów

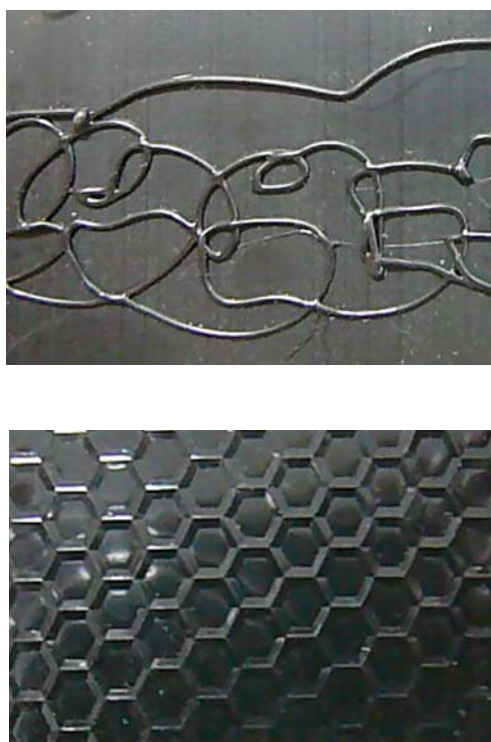
Innym rodzajem stosowanych obecnie wyrobów drenażowych są geokompozyty wytworzone zwykle z trzech warstw geowłókniny połączonych mechanicznie (przez igłowanie). Dodatkowo między jedną z zewnętrznych i wewnętrzną warstwą umieszczone są cienkie rureczki drenarskie w rozstawie zwykle od 0,25 do 1,0 m. Przykład takiego kompozytu pokazano na rys. 2.5.



Rys. 2.5. Przykład geokompozytu warstwowego z mini-drenami

Bariery

Bariera polimerowa ma postać arkusza, o gładkiej lub teksturowanej powierzchni. Bariera ilowa to struktura przestrzenna składająca się z rdzenia bentonitowego osłoniętego dwustronnie geowłókniną. Przykłady barier o teksturowanej powierzchni pokazano na rys. 2.6.



Rys. 2.6. Przykłady polimerowych barier geosyntetycznych o teksturowanej powierzchni

3. Przegląd zastosowań geosyntetyków w odwodnieniach

Podstawowe zastosowania geosyntetyków w odwodnieniach podano w tablicy 3.1.

Tablica 3.1. Przegląd zastosowań geosyntetyków w odwodnieniach

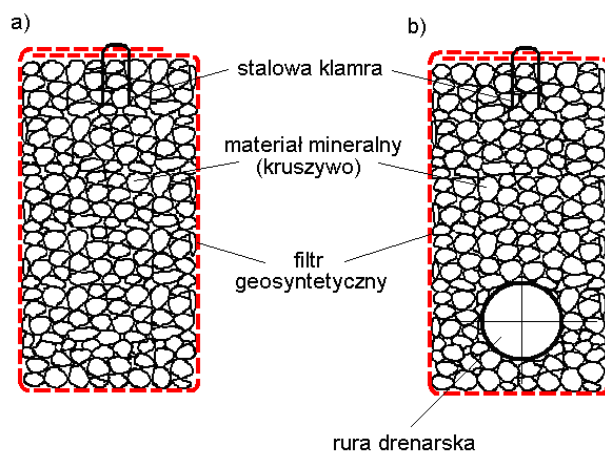
Funkcje geosyntetyków	Zasada działania	Typowe zastosowania	Rodzaje materiałów	Istotne właściwości	Korzyści z zastosowania
ROZDZIELANIE (SEPARACJA)	Zapobieganie mieszanemu się różnych gruntów lub kruszyw	Nasypy na słabym podłożu, podbudowy, nawierzchnie z kruszyw	Geowłókniny, geotkaniny, geowłókniny wzmocnione	Wytrzymałość na przebicie, wydłużenie przy zerwaniu, przepuszczalność, wymiar porów, trwałość	Wzrost nośności i trwałości. Poprawa odwodnienia.
FILTROWANIE	Zatrzymywanie cząstek gruntu	Oslony drenów z rur lub kruszywa; gabionów	Geowłókniny, ew. geotkaniny	Wymiar porów, wodoprzepuszczalność pod obciążeniem, wytrzymałość, trwałość	Zapobieganie sufozji gruntu i kolmatacji drenów
DRENAŻ	Zbieranie wód, ułatwianie odpływu wód i gazów	Odwodnienie pod nawierzchniami, nasypami, składowiskami, za ścianami oporowymi.	Maty drenujące, geowłókniny	Wodoprzepuszczalność pod obciążeniem, wymiar porów, grubość pod obciążeniem, wytrzymałość, trwałość	Skuteczne odwodnienie, wzrost nośności i trwałości
OCHRONA SKARP PRZED EROZJĄ	Zapobieganie rozmyciu powierzchni gruntu; wspomaganie okrywy roślinnej.	Powierzchnie skarp budowli ziemnych	geomaty płaskie, przestrzenne; geosyntetyki komórkowe; geowłókniny perforowane, gęste geosiatki; biowłókniny	Wytrzymałość, wydłużenie przy zerwaniu, możliwość wzrostu roślin, trwałość; w przypadku przestrzennych także grubość;	Zwiększenie stateczności i trwałości; mniejsze koszty utrzymania
OCHRONA PRZED ROZMYCIEM	Zapobieganie rozmyciu dna i brzegów cieków	Dno rzek przy podporach, brzegi cieków, stożki przyczółków	Geowłókniny, geowłókniny wzmocnione; maty płaskie, przestrzenne	Wytrzymałość, wydłużenie przy zerwaniu, wymiar porów, przepuszczalność, trwałość	Zwiększenie stateczności i trwałości; mniejsze koszty utrzymania
OCHRONA PRZED PRZEBICIEM	Zapobieganie przebiciu izolacji z barier geosyntetycznych	Ochrona uszczelnień zbiorników, rowów	Grube geowłókniny, geowłókniny wzmocnione, folie z wytłoczeniami (geosyntetyki dystansujące).	Wytrzymałość na przebicie, grubość, masa powierzchniowa, trwałość	Trwałość i skuteczność uszczelnień
BARIERY (USZCZELNIENIA)	Uniemożliwienie przenikania cieczy i zanieczyszczeń	Uszczelnienia zbiorników, rowów i podłoża przed zanieczyszczonymi spływami z dróg	bariery geosyntetyczne polimerowe, ilowe i bitumiczne	Szczelność, wytrzymałość na przebicie, odporność na starzenie	Ochrona podłoża i wód gruntownych przed zanieczyszczeniem

W odwodnieniach geosyntetyki są najczęściej używane jako „filtr” pomiędzy zalegającym gruntem a materiałem odprowadzającym wodę. Niektóre wyroby (np. geokompozyty drenażowe) pełnią także funkcje drenażowe. Wśród stosowanych rozwiązań można wyróżnić m.in.:

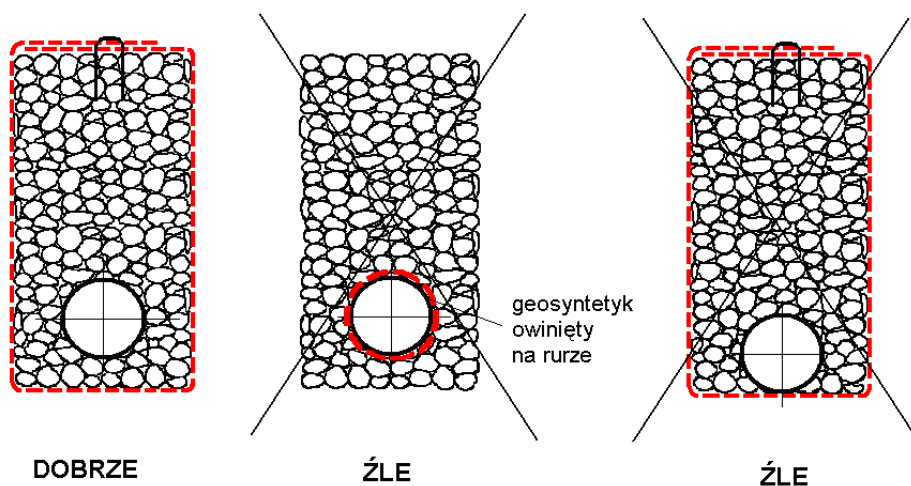
drenaż francuski (w inżynierii komunikacyjnej często nazywany podłużnym lub poziomym – rys. 3.1. i 3.2.), składa się z sączka wykonanego z materiału mineralnego – kruszywa, tłucznia itp. albo z elementów z tworzyw sztucznych, otoczonego materiałem geotekstylnym.

Wodoprzepuszczalność materiału geotekstylnego powinna zapewnić przepływ wody odprowadzanej z otaczającego gruntu do wnętrza filtru. Pole przekroju poprzecznego drenu wyznacza się w zależności od ilości wody, jaką należy odprowadzić oraz uziarnienia materiału mineralnego wypełniającego dren.

Zaletą drenu francuskiego, w stosunku do rowu otwartego, jest możliwość zagospodarowania „powierzchni nad drenem” – np. na wykonanie chodnika.



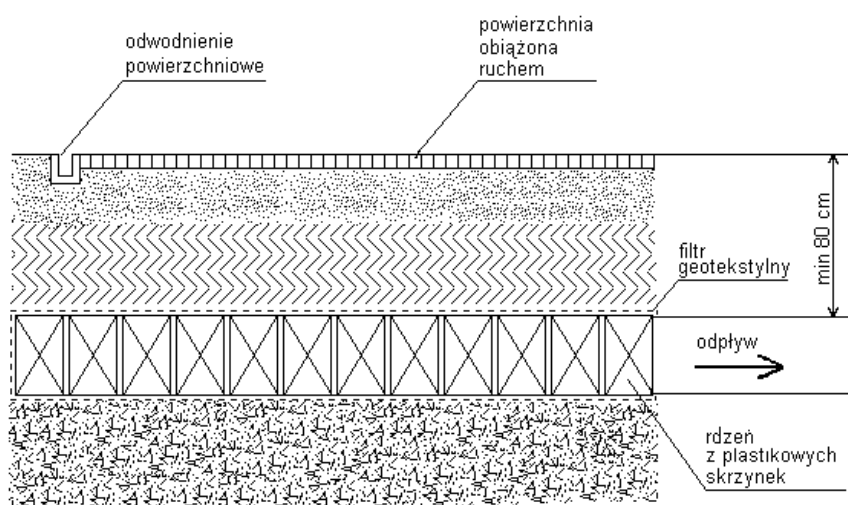
Rys. 3.1. Schemat drenu francuskiego: a) bez rury drenarskiej, b) z rurą drenarską



Rys. 3.2. Rozwiązania drenu francuskiego

Błędem jest owijanie geosyntetykiem samej rury drenarskiej zamiast całego drenu z kruszywem, gdyż wówczas osłona łatwo ulega kolmatacji. Rura nie powinna być ułożona na dnie drenu, lecz co najmniej 50 mm wyżej.

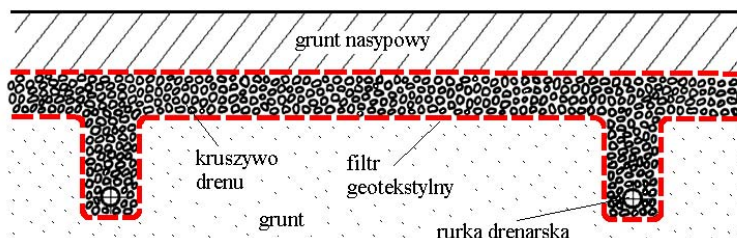
Odmianą drenów francuskich są dreny wypełnione skrzynkami plastikowymi zamiast kruszywa (rys. 3.3.). Można z nich tworzyć dreny lub zbiorniki o dowolnych kształtach i wymiarach. Zaletą ich jest bardzo duża pojemność retencyjna - rzędu 95 % objętości.



Rys. 3.3. Przykład drenu ze skrzynkami plastikowymi

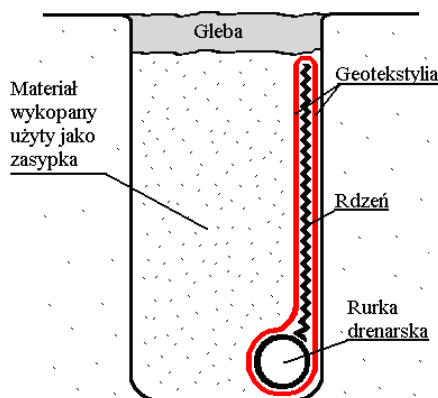
Dopuszczalne obciążenie i zagłębienie skrzynek zależy od parametrów konkretnych wyrobów. Minimalne przykrycie skrzynek, w terenach zielonych wynosi 0,3 m, na powierzchniach obciążonych pojazdami 0,8 m. Jako ich osłona zalecana jest włóknina o wskaźniku GRK4, spełniająca wymagania filtracyjne.

- drenaż powierzchniowy (warstwowy) (rys. 3.4),



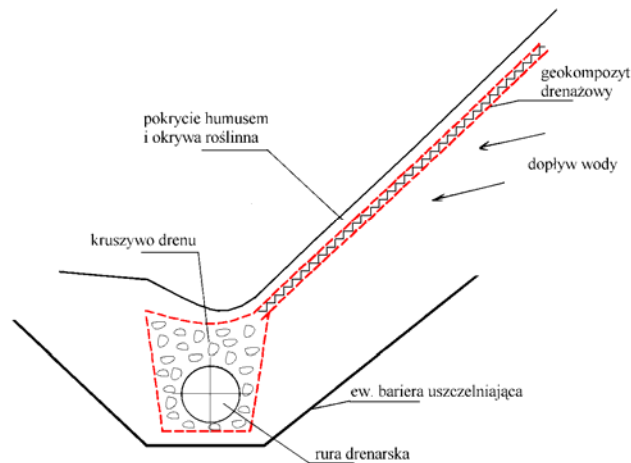
Rys. 3.4. Schemat warstwy drenażowej

dreny z geokompozytów (rys. 3.5.), układ złożony z filtru geotekstynowego i rdzenia (georusztu drenażowego, folii z wytłoczeniami itp.), przewodzącego wodę do rury drenarskiej. Rura może być owinięta geokompozytem dobrze przepuszczającym wodę, natomiast folia powinna sięgać tylko do rury.



Rys. 3.5. Przykład drenu geokompozytowego (dren żebrowy)

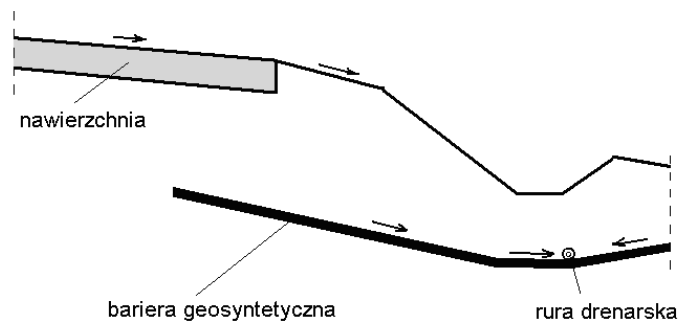
Dreny z geokompozytów mogą być stosowane również jako dreny poziome i ukośne (np. układane na styku korpusu nasypu i zasypki ściany oporowej – rys. 3.6.).



Rys. 3.6. Przykład drenu geokompozytowego odwadniającego powierzchnię skarpy (wg [53])

bariery geosyntetyczne

Bariery polimerowe i bentonitowe służą do uszczelniania podłoża nawierzchni, zbiorników, rowów itp. Przykłady stosowania barier geosyntetycznych w inżynierii komunikacyjnej pokazano na rys. 3.7.



Rys. 3.7. Przykład zastosowania bariery geosyntetycznej

Szczegółowe rozwiązania techniczne z zastosowaniem barier geosyntetycznych zawierają EN 15382 i publikacja [55].

ochrona przeciwoerozyjna

W razie potrzeby geosyntetyki mogą być stosowane do ochrony skarp przed erozją powierzchniową. W tym celu stosowane są geomaty płaskie i przestrzenne, rzadziej geosyntetyki komórkowe. Stosowane są również wyroby biodegradowalne, wykonane z materiałów roślinnych (len, bawełna, juta lub włókno kokosowe itp.). Materiały przeciwoerozyjne wspomagają obudowę roślinną porastającą skarpy.

Materiały do ochrony przeciwoerozyjnej są bardzo różnorodne i specyficzne. Aby w pełni wykorzystać ich właściwości, przy wyborze i wbudowaniu tych materiałów należy kierować się parametrami konkretnych wyrobów oraz szczegółowymi instrukcjami producentów.

Ogólne zalecenia wykonywania zabezpieczeń przeciwoerozyjnych z użyciem geosyntetyków zawiera specyfikacja D-06.01.01, a zadarniania powierzchni biowłókniną również norma PN-B-12074:1998.

4. Podstawy projektowania odwodnienia z użyciem geosyntetyków

4.1. Dane do projektowania

Do zaprojektowania odwodnienia należy określić:

- właściwości odwadnianego gruntu:
 - krzywą uziarnienia i wartość $C_U = U = d_{60}/d_{10}$ gruntu, który ma być filtrowany,
 - wodoprzepuszczalność gruntu - współczynnik filtracji k [m/s],
 - wymagany wydatek drenu Q [m³/s] w najczęściej występujących warunkach, zależny od przewidywanych opadów lub napływu wody gruntowej,
 - planowane zastosowanie spoiw hydraulicznych (wapna, cementu) lub możliwość kontaktu ze świeżym betonem (wpływ działania środowiska alkalicznego o $pH > 9$);
- właściwości zasypki drenaży:
 - rodzaj materiału (kruszywo naturalne czy łamane),
 - największe ziarno i zakres frakcji,
 - nacisk nadkładu na geosyntetyk.

4.2. Projektowanie filtrów z geosyntetyków

Geotekstylia stosowane w systemach drenażowych powinny spełniać odpowiednie kryteria dotyczące właściwości hydraulicznych i mechanicznych. Kryterium dotyczące właściwości hydraulicznych gwarantuje, że geotekstylia są zdolne do pełnienia funkcji drenażowych lub filtracyjnych w ciągu projektowanego okresu eksploatacji. Wśród nich można wyróżnić kryteria: zatrzymywania cząstek gruntu, przepuszczalności i odporności na kolmatację. Kryterium dotyczące właściwości mechanicznych gwarantuje zachowanie trwałości struktury geotekstyliów zarówno podczas wbudowania, jak i w projektowanym okresie eksploatacji. Kryterium to obejmuje długoterminową wytrzymałość mechaniczną na rozciąganie i przebicie.

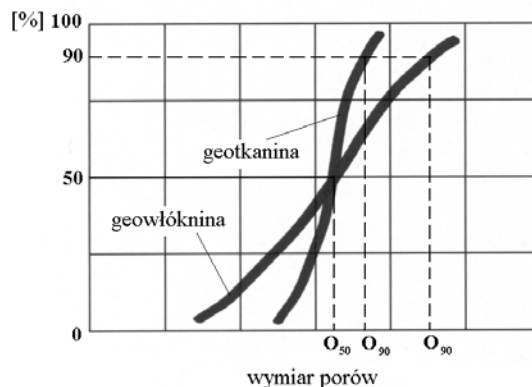
Należy podkreślić, że choć wieloletnie doświadczenia wykazały przydatność filtrów geotekstylnych i obecnie wypierają one rozwiązania tradycyjne, to dotychczas nie wypracowano jednoznacznych zasad projektowania i spotyka się rozbieżne zalecenia. Przy doborze materiałów filtrów celowe jest korzystanie z doradztwa ich dostawców. Poniżej zamieszczono wskazówki dotyczące projektowania, zaczerpnięte z aktualnych,

ogólnie uznanych dokumentów zagranicznych. Projektując filtry celowe jest przyjmowanie raczej za dużych wymiarów porów geotekstyliów O_{90} , co może wywołać pewne ubytki chronionego gruntu, niż za małych, co spowoduje szybką kolmatację filtru i może doprowadzić do znacznych szkód i zniszczeń.

4.2.1. Mechanizm działania filtru z geosyntetyków

Materiał geotekstylny, aby skutecznie spełniał rolę filtru, powinien zapobiegać erozji wewnętrznej gruntu. Jednocześnie rozmiary porów nie powinny być zbyt małe, by nie ulegały kolmatacji i nie malała ich przepuszczalność. Kryteria doboru filtrów geotekstylnych zależą od warunków przepływu. W typowych zastosowaniach do drenażu występuje ustalony jednokierunkowy przepływ laminarny.

Charakterystyczny wymiar porów geotekstyliów O_{90} wyznacza się zgodnie z normą PN-EN ISO 12956. Rozkład rozmiarów porów geotekstyliów określa się metodą przesiewania. Na podstawie wyników badań można skonstruować krzywą rozkładu rozmiarów porów materiału. Wymiary porów geotekstyliów tkanych są relatywnie równomierne, podczas gdy w geowłókninach zmieniają się w szerszym zakresie. Przedstawiono to na rys. 4.1. W praktyce największy rozmiar porów włókniny odpowiada wartości O_{98} . Norma PN-ISO 10318 jako decydujący o zachowaniu uznaje charakterystyczny wymiar porów O_{90} . Niektóre zasady filtrowania przyjmują za podstawę inne rozmiary porów np. O_{50} lub O_{95} .

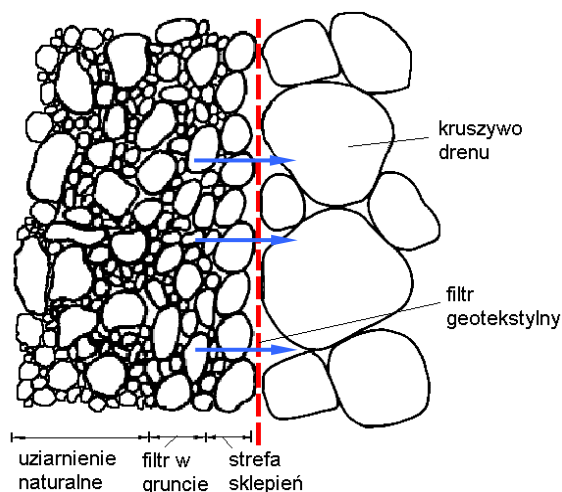


Rys. 4.1. Krzywe rozmiarów porów tkaniny i włókniny o jednakowej średnicy O_{50}

Podczas przepływu wody przez układ grunt-materiał geotekstylny grubsze ziarna gruntu wytwarzają sklepienia ponad otworami materiału geotekstelnego. Pozwala to, by drobniejsze cząstki przylegające do materiału przepłynęły przez pory materiału geotekstelnego i zostały wypłukane przez płynącą wodę. Jeżeli

nie występuje sufozja gruntu, tj. migracja bardzo drobnych cząstek gruntu przez pory szkieletu gruntowego, układ stabilizuje się bardzo szybko i nie ma zmian struktury gruntu oddalonego od filtru. Nad powierzchnią materiału geotekstylnego tworzy się tzw. filtr odwrotny przedstawiony na rys. 4.2.

Zarówno tkaniny, jak i włókniny wykazują początkowo pewien spadek przepuszczalności poprzecznej systemu, aż do wytworzenia się stanu stabilnego. Warunki stanu stabilnego zostaną osiągnięte tylko wtedy, gdy filtr jest prawidłowo zaprojektowany, tzn. dostosowany do układu. Filtr powinien być dobrany tak, aby przepływ hydrauliczny był ustalony, co ułatwi powstanie sieci sklepień oraz, jeśli to możliwe, strefy filtru w gruncie.



Rys. 4.2. Zasada działania filtru geotekstylnego. Od lewej: uziarnienie naturalne; filtr w gruncie; strefa sklepień; materiał geotekstylny; kruszywo drenu (wg [49])

4.2.2. Wymagania hydrauliczne

Materiały geotekstylne stosowane jako osłony filtrujące w układach drenażowych powinny zapewniać dostateczną wodoprzepuszczalność, umożliwiać przepływ wody bez jej podpiętrzania, a także mieć zdolność zatrzymywania zapobiegającą wypłukiwaniu gruntu podłoża. Te dwa kryteria są przeciwstawne, dlatego wybór materiału filtra jest kompromisem. Materiał geotekstylny powinien mieć charakterystyczny wymiar porów wystarczająco mały, aby zatrzymać grunt i wystarczająco duży, aby umożliwić swobodny przepływ wody, a także przejście przez filtr najdrobniejszych cząstek gruntu niesionym przez wodę [50]. Na skutek migracji drobnych cząstek gruntu i zatrzymywania ich filtr ulega kolmatacji. Powoduje to spadek jego przepuszczalności.

Właściwości hydrauliczne badane są według norm ISO lub EN i ich wersji krajowych.

Współczynnik wodoprzepuszczalności prostopadłej do materiału k_n powinien być ogólnie co najmniej 10 do 50-krotnie większy od współczynnika filtracji odwadnianego gruntu i wynosić $k_n \geq 10^{-4}$ m/s przy nacisku prostopadłym 2 kPa. W celu zapewnienia długotrwałej przepuszczalności zalecana jest [SN 640 552a:1997, 52] wartość k_n co najmniej 100 razy większa niż chronionego gruntu, uwzględniając wpływ ściśnięcia geowłókniny przez nacisk gruntu oraz zatykanie porów, zwłaszcza w warunkach działania obciążeń dynamicznych.

Aby geosyntetyki mogły prawidłowo pełnić funkcję drenażu zaleca się współczynnik wodoprzepuszczalności w płaszczyźnie materiału $k_p \geq 10^{-3}$ m/s przy nacisku 2 kPa. Należy mieć na uwadze, że rzeczywiste naciski w konstrukcjach mogą być dużo większe.

Wpływ obciążenia, jakiemu poddawany jest materiał geotekstylny, powinien być uwzględniany w przypadku geowłóknin, gdyż ich ściśnięcie powoduje zmniejszenie wymiarów porów i wodoprzepuszczalności. Wpływ ten powinien być uwzględniony również w przypadku geokompozytów z rdzeniem, którego grubość maleje pod wpływem obciążenia, gdyż pole przekroju przepływu wody zmniejsza się wraz ze wzrostem obciążenia, a także na skutek pełzania tych materiałów pod obciążeniem długotrwałym.

4.2.3. Wymagania dotyczące doboru filtrów

Kryteria doboru materiałów filtrujących obejmują sprawdzenie:

- działania mechanicznego filtra (zatrzymywania cząstek),
- odporności na kolmatację (zatykanie porów materiału),
- działania hydraulicznego filtra (wystarczający przepływ).

Należy rozróżniać warunki proste i trudne.

- **Warunki proste:** występują zwykle w drenażach i odwodnieniach z niedużym przepływem statycznym wody (z małymi, powolnymi zmianami gradientu), w gruntach wytwarzających naturalny filtr na styku z geosyntetykiem, a początkowe wypłukanie drobnych cząstek nie wpływa na działanie filtra.
- **Warunki trudne:** występują w obwałowaniach dróg wodnych i narażonych na działanie falowania oraz w podtorzu kolejowym, poddanych dużym przepływom dynamicznym wody (z dużymi, szybkimi zmianami gradientu lub kierunku przepływu), w gruntach niestabilnych hydraulicznie (skłonnych do sufozji), nie zapewniających wytworzenia naturalnego filtra na styku z geosyntetykiem.

Ogólne wskazówki dotyczące wyboru geosyntetyków filtracyjnych zawiera tablica 4.1.

Tablica 4.1. Wskazówki dotyczące wyboru filtrów z geosyntetyków

	Warunki proste	Warunki trudne
Obciążenie hydrauliczne	Statyczne, przepływy z małym gradientem	Statyczne i dynamiczne, przepływy z dużym gradientem
Właściwości filtracyjne gruntu	Tworzący naturalny filtr na styku z geosyntetykiem	Niestabilny filtracyjnie, powstanie naturalnego filtru wątpliwe
Przykłady	Drenaże z małym przepływem w odwodnieniach dróg	Filtry obciążone dynamicznie
Zalecane geosyntetyki	Z dużymi porami	Z małymi porami
Uwagi	Zbyt duże pory geosyntetyku mogą powodować nadmierne wypłukiwanie gruntu	Zbyt małe pory geosyntetyku mogą nadmierne zmniejszać przepływ i powodować kolmatację filtru

Zalecane parametry hydrauliczne geosyntetyków stosowanych jako filtry

Charakterystyczną wielkość porów geotekstyliów $O_{90\text{ gtx}}$ można bez szczegółowej analizy przyjmować [53] następująco:

- a) W prostych warunkach hydraulicznych (niewielki jednostronny dopływ wody):
- dla geowłóknin $0,06\text{ mm} \leq O_{90\text{ gtx}} \leq 0,20\text{ mm}$,
 - dla geotkanin $0,06\text{ mm} \leq O_{90\text{ gtx}} \leq 0,40\text{ mm}$.
- b) W trudniejszych warunkach hydraulicznych (duży dopływ wody i/lub zmieniający się kierunek przyprływu), w zależności od rodzaju filtrowanego gruntu:
- grunty spoiste $0,06\text{ mm} \leq O_{90\text{ gtx}} \leq 0,20\text{ mm}$,
 - gruby pył do piasku pylistego $0,06\text{ mm} \leq O_{90\text{ gtx}} \leq 0,11\text{ mm}$,
 - piasek drobny $0,06\text{ mm} \leq O_{90\text{ gtx}} \leq 0,13\text{ mm}$,
 - piasek średni $0,08\text{ mm} \leq O_{90\text{ gtx}} \leq 0,30\text{ mm}$,
 - piasek gruby $0,12\text{ mm} \leq O_{90\text{ gtx}} \leq 0,60\text{ mm}$.

Zbyt małe wymiary porów geowłókniny mogą powodować jej kolmatację. Mniej niebezpieczne jest przyjęcie większych średnic $O_{90\text{ gtx}}$, ponieważ wtedy może się utworzyć filtr odwrotny w gruncie. Dlatego zwykle zaleca się, by

wartość $O_{90 \text{ gtx}}$ nie była mniejsza od 0,12 mm, a preferowany jest wymiar 0,15 - 0,16 mm.

W gruntach trudnych do spełnienia wymagań filtrowania należy zapewnić, że nie wystąpi ich erozja ani sufozja. Szczególnie podatne na erozję (wyplukiwanie cząstek gruntu) są grunty niespoiste: grube pyły, piaski pylaste i drobne oraz równoziarniste piaski ($C_U = U = d_{60}/d_{10} < 5$). Sufozja (przemieszczanie drobniejszych cząstek w porach gruntu, powodujące niestateczność struktury jego szkieletu ziarnowego) występuje w gruntach niespoistych o skokowo nieciągłej krzywej uziarnienia ($C_U = U > 14$) albo w przypadku braku części drobniejszych frakcji (poniżej d_{40}).

c) W trudnych warunkach hydraulicznych (rzadko występujących w budowlach drogowych) należy dokonać szczegółowej analizy stateczności filtracyjnej np. wg [44], zwłaszcza w przypadku gruntów trudnych do spełnienia wymagań filtrowania.

W szczegółowej analizie filtrowania zgodnie z przepisami [52, 58] z uwagi na warunki filtrowania należy rozróżniać:

- grunty drobnoziarniste $d_{40} < 0,06 \text{ mm}$,
- grunty grubo i różnoziarniste $d_{40} > 0,06 \text{ mm}$.

Ponadto wyróżnia się grunty trudne do spełnienia wymagań filtrowania:

- drobnoziarniste - wskaźnik plastyczności $I_P < 0,15$ i/lub stosunek zawartości frakcji ilowej do pyłowej $< 0,5$,
- grunty grubo- i różnoziarniste, zawierające frakcję pyłową ($d < 0,06 \text{ mm}$):
 - wskaźnik jednorodności uziarnienia $C_U = U = d_{60}/d_{10} < 15$ i/lub
 - zawartość frakcji od 0,02 do 0,1 mm $> 50\%$.

Zalecane są następujące wartości kryteriów filtrowania:

- zatrzymywania cząstek filtrowanego gruntu
 - grunty drobnoziarniste $O_{90 \text{ gtx}} \leq 10 d_{50}$,
 - grunty trudne $O_{90 \text{ gtx}} \leq d_{90}$,
 - grunty grubo- i różnoziarniste $O_{90 \text{ gtx}} \leq 5 d_{50} \sqrt{U}$ oraz $O_{90 \text{ gtx}} \leq d_{90}$;
- kolmatacji - dla wybranego wyrobu $O_{90 \text{ wybr}} > 0,2 O_{90 \text{ gtx}}$ wynikającego z kryteriów zatrzymywania cząstek,
- działania hydraulicznego - materiał geotekstylny drenu powinien zapewnić wystarczający przepływ wody w danym podłożu.

W zależnościach tych oznaczono:

- $O_{90 \text{ gtx}}$ – potrzebna charakterystyczna wielkość porów geotekstyliów,
- d_{10}, d_{50}, d_{90} – wielkość ziaren gruntu, które wraz z mniejszymi ziarnami stanowią odpowiednio 10, 50 i 90 % masy gruntu.

W trudnych warunkach gruntowo-wodnych zaleca się wykonanie badań filtracji na miejscu.

Jest istotne, by stosunki wymiarów porów były jak najbliższe podanym wartościom granicznym, aby zapewnić jak największą przepuszczalność geotekstyliów, zachowując zarazem ich zdolność do zatrzymywania cząstek gruntu.

W gruntach spoistych stosunek $O_{90\text{ gtx}} / d_{90}$ może być znacznie większy, jednak trudno podać konkretne wartości ze względu na bardzo małe i zróżnicowane wymiary cząstek ilastych gruntu. Grunty spoiste zwykle nie stwarzają zagrożeń, ich spójność nie pozwala na wypłukiwanie cząstek, a mała przepuszczalność powoduje niewielkie przepływy. Trudności mogą występować w strefach dużych gradientów przepływu.

Wodoprzepuszczalność materiału geosyntetycznego stosowanego jako osłony filtrujące w układach drenażowych wyznacza się na podstawie obliczeń przepływu. Orientacyjne wskazówki dotyczące przepuszczalności prostopadłej zamieszczono w tablicy 4.2.

Tablica 4.2. Zalecane cechy geosyntetyków filtrujących [SN 640 552:2002]

Grunt otaczający	Wymiar porów geosyntetyku [mm]		Przepuszczalność prostopadła k_n [m/s]
	minimalny	maksymalny (wartość w nawiasie dotyczy prostych przypadków)	
piaski, żwiry	0,05	$d_{85} (0,5)$	$\min. 10^{-4}$
grunty pylaste	0,05	$d_{85} (0,2)$	$\min. 10^{-5}$
gliny i ropy	0,05	$d_{85} (0,5)$	$\min. 10^{-6}$
grunty o silnie nierównomiernym uziarnieniu i dużej przepuszczalności $k > 10^{-5}$ m/s	0,05 lub $4 \cdot d_{15}$ miarodajna większa wartość	$5 \cdot d_{10} \sqrt{U}$ lub d_{85} miarodajna mniejsza wartość	$\min. 10 \cdot k$
d_{10}, d_{15}, d_{85} - wielkość ziaren gruntu, które wraz z mniejszymi stanowią odpowiednio 10, 15 i 85 % masy gruntu.			

4.2.4. Wymagane właściwości mechaniczne geotekstyliów filtrujących

W celu zapobieżenia uszkodzeniom osłon przez grube frakcje kruszywa filtrów, geotekstylia powinny mieć dostateczną wytrzymałość i wydłużenie przy zerwaniu. Zalecane parametry mechaniczne geosyntetyków filtrujących o dużym wydłużeniu (>30%) podano w tablicy 4.3. W przypadku użycia geosyntetyków

o wydłużeniu mniejszym od 30%, powinny one mieć zwiększoną wytrzymałość, tym bardziej, im wydłużenie jest mniejsze.

Tablica 4.3. Cechy mechaniczne geotekstyliów filtrujących o dużym wydłużeniu (> 30%) [SN 640 552:2002]

Materiał filtracyjny	Wytrzymałość na rozciąganie [kN/m]	Iloczyn wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenia [kN/m × %]	Odporność na przebicie dynamiczne [mm]
Żwir ≤ 150 mm	min. 6,0	min. 180	max. 40
Kruszywo łamane ≤ 150 mm	min. 8,0	min. 240	max. 35

W warunkach dużych obciążeń dynamicznych i użycia zasypki tłuczniowej zalecane są materiały o masie powierzchniowej $\geq 150 \text{ g/m}^2$, odporności na przebicie statyczne $\geq 1500 \text{ N}$, grubości co najmniej 10 O_{90} oraz spełniających wymagania klasy wytrzymałości GRK 3 [44].

W przypadku układania geosyntetyku w nachyleniu należy sprawdzić:

- wartość siły rozciągającej powstającej w geosyntetyku - w stosunku do jego charakterystycznej długotrwałej wytrzymałości na zerwanie (wg [45]).
- tarcie między geosyntetykiem a gruntem (pod i nad geosyntetykiem), w razie potrzeby zalecane jest użycie wyrobów o szorstkiej fakturze powierzchni, zwiększającej współczynnik tarcia.

4.2.5. Dobór geosyntetyków przeznaczonych na warstwy filtrujące

Warstwy filtrujące można wykonywać z różnych wyrobów, spełniających wymagania mechaniczne i hydrauliczne, np. z geowłóknin lub geotkanin.

Właściwości hydrauliczne typowych wyrobów handlowych podano w tablicy 4.4. Przepuszczalność geosyntetyków silnie zależy od ich struktury i sposobu łączenia włókien oraz od działającego obciążenia ściskającego.

Tablica 4.4. Właściwości hydrauliczne typowych wyrobów geosyntetycznych stosowanych na warstwy filtrujące

Rodzaj geosyntetyku		Charakterystyczny wymiar porów O_{90} [mm]	Przepuszczalność pod obciążeniem 20 kPa [10^{-3} m/s]
Geo-włók-niny	łączone tylko mechanicznie	0,06 – 0,18	0,6 – 1,5
	łączone mechanicznie i chemicznie lub termozgrzewane	0,06 – 0,18	0,4 – 1,0
	łączone tylko termicznie lub chemicznie	0,05 – 0,15	0,2 – 0,6
Geotka-niny	z mono- lub multifilamentów	0,15 – 0,40	0,4 – 1,0
		0,30 – 1,50	1,0 – 3,0
	z tasiemek	0,10 – 0,30	0,1 – 0,3
		0,4 – 1,0	1,0 – 2,0
	z kombinacji tasiemek i mono/multifilamentów	0,15 – 0,40 0,30 – 1,00	0,4 – 1,0 1,0 – 2,0
	Tkaniny o dużych oczkach (> 1 mm) mają znacznie większą przepuszczalność (do ponad 10^{-2} m/s)		

Wskazówki dotyczące przydatności różnych wyrobów geosyntetycznych, w zależności od właściwości odwadnianych gruntów, podano w tablicy 4.5.

Tablica 4.5. Przydatność geosyntetyków w zależności od chronionych gruntów

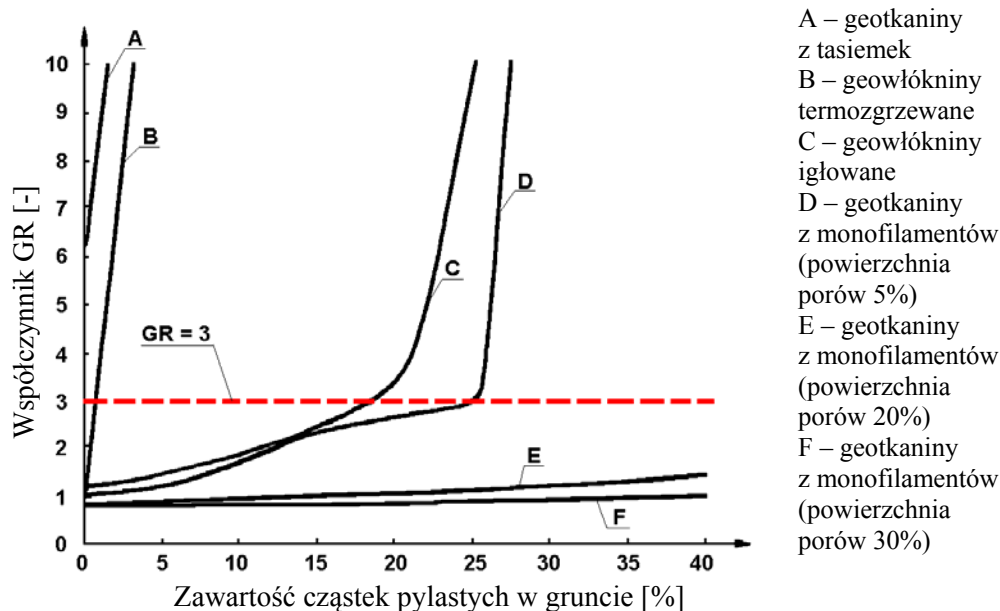
Rodzaj gruntu	Napływ wody	Geosyntetyki przydatne jako filtry
drobnoziarnisty, niespoisty	mały lub średni	geowłókniny geotkaniny o drobnych oczkach z mono- lub multifilamentów z kombinacji tasiemek i mono/multifilamentów w ograniczonym zakresie – tkaniny z tasiemek (przy małym napływie)
o mieszanym uziarnieniu	mały lub średni $k < 10^{-6}$ m/s	geowłókniny geotkaniny o oczkach 0,3 – 1,0 mm z mono- lub multifilamentów z kombinacji tasiemek i mono/multifilamentów
	średni $k > 10^{-6}$ m/s $k < 10^{-5}$ m/s	geowłókniny o dużej przepuszczalności $> 10^{-3}$ m/s geotkaniny o oczkach 0,5 – 1,5 mm z mono- lub multifilamentów z kombinacji tasiemek i mono/multifilamentów
	duży $k > 10^{-5}$ m/s $k < 10^{-3}$ m/s	geotkaniny o oczkach > 1 mm o przepuszczalności $> 5 \cdot 10^{-3}$ m/s z mono- lub multifilamentów

k – współczynnik filtracji gruntu

Podane dane (Tablica 4.5.) stanowią jedynie wskazówkę do wyboru materiału filtru. Jego parametry należy ustalić na podstawie wymagań hydraulicznych, dostosowanych do występującego gruntu. W obiektach liniowych należy liczyć się z niejednorodnym układem gruntów – od drobnoziarnistych do mieszanych.

W takich warunkach zalecane jest użycie geowłóknin łączonych mechanicznie (igłowanych) o wymiarze porów $O_{90 \text{ gtx}} = 0,08 - 0,16$ mm [53]. Grubość geowłókniny filtru powinna wynosić co najmniej $g \geq 10 \cdot O_{90 \text{ gtx}}$.

W celu określenia odporności danego rodzaju geowłókniny lub geotkaniny na kolmatację można posłużyć się nomogramem przedstawionym na rys. 4.3., przedstawiającym zależność wartości współczynnika proporcjonalności spadku GR (Gradient Ratio) od zawartości części pylastych w gruncie. Współczynnik ten według [60] nie powinien przekraczać wartości GR = 3.



Rys. 4.3. Odporność geotekstyliów na kolmatację cząstkami pylastymi gruntu (wg danych z [60])

4.3. Projektowanie geosyntetyków drenażowych

Do drenowania najczęściej stosowane są różne wyroby geokompozytowe, bardzo zróżnicowane, złożone z materiałów geotekstylnych (np. georuszt drenażowy lub geosyntetyk dystansujący zespolony z geowłókniną), a także dodatków mineralnych (iłu, bentonitu itp.). W wyjątkowych przypadkach, kiedy potrzebny jest bardzo mały wydatek, można stosować grube geowłókniny.

4.3.1. Właściwości hydrauliczne

Podstawowe parametry hydrauliczne wyrobów drenażowych to:

- wodoprzepuszczalność prostopadła do płaszczyzny wyrobu k_n osłony,
- wodoprzepuszczalność w płaszczyźnie wyrobu k_p geokompozytu,
- charakterystyczny wymiar porów O_{90} lub O_{95} osłony.

Wodoprzepuszczalność w płaszczyźnie wyrobu k_p bada się zgodnie z np. PN-EN ISO 12958 (pod różnymi obciążeniami).

Przepływ wody w geosyntetyku zgodnie z prawem Darcy wynosi:

$$v = k i \quad (4.1)$$

gdzie:

v – prędkość filtracji [m/s],

k – przepuszczalność [m/s],

i – gradient hydrauliczny [-].

Podstawowe wielkości potrzebne do obliczenia przepływu:

k_n – współczynnik przepuszczalności prostopadle do płaszczyzny wyrobu, m/s

Θ – przepuszczalność właściwa (w płaszczyźnie wyrobu), m²/s

Δl – długość drogi filtracji w geosyntetyku, m

b – szerokość pasma geosyntetyku, m

d – grubość geosyntetyku, m lub mm

Δh – spadek ciśnienia na długości Δl (w m słupa wody), m

i – gradient hydrauliczny

$$i = \frac{\Delta h}{\Delta l} \quad [-] \quad (4.2)$$

σ – napężenie normalne do geosyntetyku, kPa.

Wielkości wyprowadzone:

q_p – przepływ na jednostkę szerokości

$$q_p = \Theta \frac{\Delta h}{\Delta l} = \Theta \cdot i \quad [\text{m}^3/\text{s}/\text{m}] \quad (4.3)$$

Q – przepływ przez szerokość b

$$Q = q_p \cdot b = \Theta \cdot i \cdot b \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (4.4)$$

Przepływ w płaszczyźnie wyrobu

Przepływ w miarodajnym kierunku odpowiada możliwemu przepływowi q_p [m³/s/m] na szerokość pasma geosyntetyku $b = 1$ m.

Producent wyrobu podaje zwykle nominalną zdolność przepływu q_p na 1 m geosyntetyku przy gradiencie hydraulicznym $i = 1$, odpowiadającą przepuszczalności właściwej (transmissivity) Θ .

Uwaga.

Wartości przepuszczalności k_n i Θ oraz pochodne wartości przepływu q_p i Q zależą od działającego nacisku prostopadłego, tj. od ściśnięcia geosyntetyku pod napężeniem normalnym σ .

W przypadku geokompozytów z rdzeniem wykonanym np. z georusztu drenażowego lub geosyntetyku dystansującego należy uwzględnić spadek wodoprzepuszczalności geokompozytu w czasie na skutek pełzania pod obciążeniem. Należy uwzględnić współczynniki redukcyjne

wodoprzepuszczalności w płaszczyźnie wyrobu wyznaczone na podstawie badania pełzania pod obciążeniem zgodnie z PN-EN 1897.

Właściwości miarodajne geosyntetyków drenażowych podano w tablicy 4.6.

Tablica 4.6. Właściwości miarodajne geosyntetyków drenażowych

<u>Funkcja drenowania</u> – zapewnienie przepływu wody w płaszczyźnie wyrobu – zapewnienie przepuszczalności prostopadłej przy bocznym napływie wody – ograniczenie wypłukiwania gruntu	przepuszczalność w płaszczyźnie wyrobu przepuszczalność prostopadła do wyrobu charakterystyczny wymiar porów O_{90}
<u>Funkcja dodatkowa – ochrona</u> Odporność na uszkodzenia (rozdarcie, przebicie)	wytrzymałość wzdłuż/w poprzek pasma wydłużenie przy zerwaniu iloczyn (wytrzymałość $\times$ wydłużenie przy zerwaniu) odporność na przebicie dynamiczne klasa wytrzymałości GRK wg [44, 52]

4.3.2. Właściwości hydrauliczne wyrobów drenażowych

a) Przepuszczalność właściwa Θ w płaszczyźnie wyrobu

Przepuszczalność Θ powinna spełniać warunek:

$$\Theta \geq \frac{f Q_{\max}}{b l} \quad [\text{m}^2/\text{s}] \quad (4.5)$$

gdzie:

f – współczynnik bezpieczeństwa [-]

$f = 2,0$ dla geokompozytów z filtrem zewnętrznym,

$f = 5,0$ dla jednowarstwowych geosyntetyków drenażowych (głównie geowłóknin),

Wymagany maksymalny wydatek (zdolność przepływu) na 1 m długości rdzenia drenu (o wymiarze l prostopadłym do jego długości) wynosi:

- dla geokompozytu drenażowego, do którego jest dopływ z dwóch stron:

$$Q_{\max} = 2 l k \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (\text{na 1 m długości drenu}) \quad (4.6)$$

- dla drenu odcinającego, do którego jest dopływ tylko z jednej strony:

$$Q_{\max} = l k \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (\text{na 1 m długości drenu}) \quad (4.7)$$

gdzie:

l – czynna wysokość drenu [m]

W przypadku, gdy woda będzie odprowadzana wyłącznie przez geokompozyt drenażowy (bez zastosowania rurki drenarskiej) należy uwzględnić, że rdzeń drenu powinien być zdolny do przejścia wody napływającej na całej długości drenu między odpływami.

Należy sprawdzić osiągalny wydatek drenu przy przewidywanym obciążeniu lub parciu otaczającego gruntu.

b) Przepuszczalność prostopadła do wyrobu k_n

Ogólnie stosuje się wymagania podobne jak dla filtrów z geosyntetyków, lecz powinien być spełniony warunek

$$k_n(\text{geosyntetyku}) \geq 10 k(\text{gruntu}) \quad [\text{m/s}] \quad (4.8)$$

c) Charakterystyczny wymiar porów O_{90}

W celu zapewnienia długotrwałej przepuszczalności w płaszczyźnie wyrobu rdzeń geosyntetyku drenażowego powinien być zabezpieczony przed zanieczyszczeniem drobnymi cząstkami gruntu. W geokompozytach rolę tę spełnia zewnętrzna warstwa filtrująca, w jednowarstwowych wyrobach drenażowych ich powierzchnie zewnętrzne. Decydująca jest stateczność filtracyjna.

Analogicznie jak w wyrobach filtracyjnych powinny być spełnione warunki filtrowania [52]:

- grunty drobnoziarniste o wymiarze $d_{50} \leq 0,06 \text{ mm}$
 - $O_{90 \text{ gtx}} \leq d_{85} \text{ [mm]}$
 - $O_{90 \text{ gtx}} \geq 0,05 \text{ mm}$
- grunty gruboziarniste o wymiarze $d_{50} > 0,06 \text{ mm}$
 - warunek 1: $O_{90 \text{ gtx}} \leq d_{85} \text{ [mm]}$
 - warunek 2: $O_{90 \text{ gtx}} \leq 5 d_{10} C_u^{0,5} \text{ [mm]}$
 - gdzie $C_u = d_{60} / d_{10}$
 - (miarodajna mniejsza wartość z warunków 1 i 2) oraz
 - $O_{90 \text{ gtx}} \geq 0,05 \text{ mm}$
- w żwirach pylastych dodatkowy warunek
 - $O_{90 \text{ gtx}} \geq 4 d_{15} \text{ mm}$.

Średnicę rury drenarskiej i głębokość drenu dobiera się tak, jak w przypadku drenów francuskich.

4.3.3. Wymagane właściwości mechaniczne wyrobów drenażowych

Geosyntetyki drenażowe powinny spełniać wymagania podane w tablicy 4.7. Dotyczą one właściwości wyrobów w słabszym kierunku (poprzecznym lub podłużnym). Wartości wydłużenia przy zerwaniu oraz iloczynu (wytrzymałość $\times$ wydłużenie) są wartościami zalecanymi.

Tablica 4.7. Cechy mechaniczne geosyntetyków drenażowych [SN 640 552:2002]

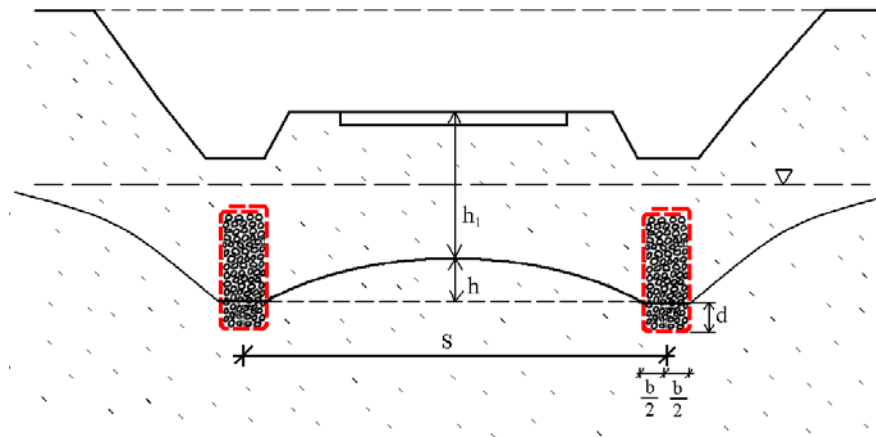
Właściwości mechaniczne	Drenaż na ścianach	Drenaż w gruncie
Wytrzymałość na rozciąganie [kN/m]	$\geq 8,0$	$\geq 8,0$
Wydłużenie przy zerwaniu (zalecane) [%]	≥ 10	≥ 20
Iloczyn (wytrzymałość $\times$ wydłużenie przy zerwaniu) – zalecany [kN/m %]	≥ 80	≥ 160
Odporność na przebicie dynamiczne O_{Dmax}	35 mm	35 mm

Wymagana odporność na przebicie dynamiczne dotyczy zarówno samych zewnętrznych osłon filtrujących, jak również całego wyrobu jednowarstwowego lub kompozytu. Zapobiega to użyciu w kompozytach zbyt słabych zewnętrznych geosyntetyków filtrujących, które mogłyby być łatwo uszkodzone przy wbudowaniu.

Drenaż z wykorzystaniem geokompozytów specjalnych (np. warstwowych z geowłókniny z mini-drenami) należy projektować zgodnie z zaleceniami producenta wyrobu.

4.4. Drenaż francuski

Dreny francuskie stosowane są do obniżenia wysokiego zwierciadła wody gruntowej i redukcji napływu pionowego w warunkach występowania wód o zwierciadle napiętym. Obniżenie poziomu wód gruntowych można uzyskać pomiędzy dwoma równoległymi drenami o rozstawie S , pokazanymi na rys. 4.4.

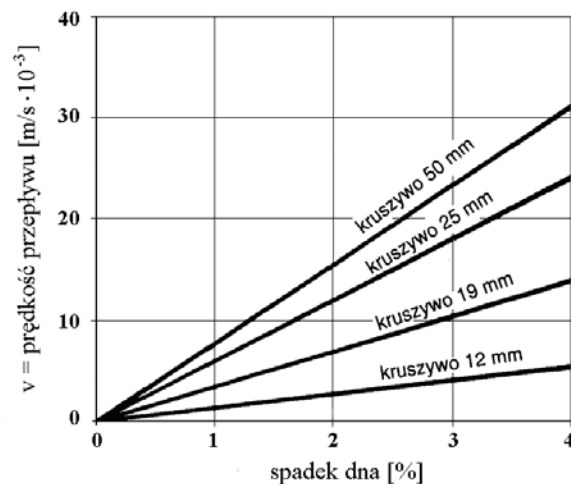


Rys. 4.4. Równoległe dreny francuskie

Część zagłębienia drenu d potrzebną do przejścia napływu można wyznaczyć, korzystając z krzywych zależności prędkości v od spadku drenu (rys. 4.5.) lub tabeli 4.8.

Wydatek drenu

Prędkość przepływu v [m/s] dla drenu wykonanego z kruszywa jednofrakcyjowego można wyznaczyć z rys. 4.5. Zależy ona od uziarnienia kruszywa i spadku hydraulicznego.



Rys. 4.5. Zależność prędkości przepływu wody od spadku hydraulicznego dla kruszyw o różnym uziarnieniu (wg [49])

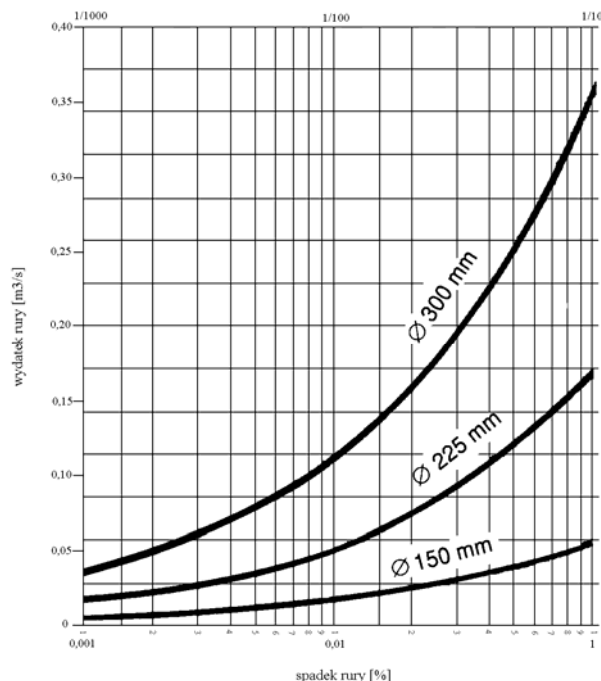
Potrzebny wydatek drenu Q [m³/s] podzielony przez prędkość v [m/s] daje potrzebną powierzchnię przekroju drenu.

Przykładowe wydatki drenów francuskich podano w tablicy 4.8.

Tablica 4.8. Wydatek drenów francuskich [56]

Rozmiar kruszywa [mm]	Spadek drenu [%]	Wydatek Q [l/s] drenu o wymiarach przekroju [m]				
		0,3x0,3	0,3x0,6	0,6x0,6	0,6x0,9	0,6x1,2
50	1,0	0,7	1,4	2,8	4,2	5,6
	2,0	1,4	2,8	5,6	8,4	11,2
19-25	1,0	0,4	0,8	1,6	2,4	3,2
	2,0	0,8	1,6	3,2	4,8	6,4
9-12	1,0	1,0	0,2	0,4	0,6	0,8
	2,0	2,0	0,4	0,8	1,2	1,6
6-9	1,0	0,02	0,04	0,08	0,12	0,16
	2,0	0,04	0,08	0,16	0,24	0,32

Średnicę rury drenarskiej (w przypadku jej użycia) dla znanego spadku hydraulicznego i potrzebnego wydatku drenu można wyznaczyć z rys. 4.6.



Rys. 4.6. Nomogram do wyznaczania średnicy rury drenarskiej dla znanego spadku hydraulicznego i potrzebnego wydatku drenu (wg [49])

Do drenów należy stosować kruszywo mineralne: naturalne lub łamane. Kruszywo wypełniające dren francuski powinno [59]:

- charakteryzować się wystarczająco dużą wodoprzepuszczalnością do odprowadzenia wody napływającej z gruntu,
- zawierać ziarna naturalne lub łamane zbliżonej średnicy, nie mniejszej od 8 mm, najlepiej płukane średnicy 16, 32 lub 40 mm, oraz nie więcej niż 3% części drobnych,
- nie ulegać rozpadowi chemicznemu (łusować się) pod wpływem wody dopływającej do drenu.

Ponadto kruszywo drenów położonych w strefie przemarzania gruntu powinno odpowiadać klasie mrozoodporności F_1 , a kruszywo bazaltowe powinno być odporne na „zgorzel słoneczną” wg PN-EN 13242:2004.

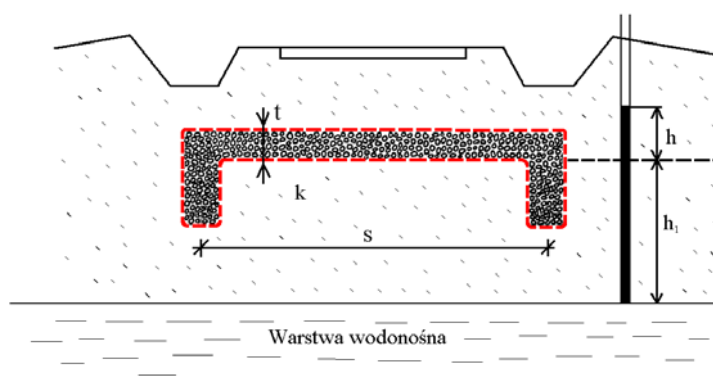
Nie zaleca się stosować kruszywa z przemiału żużli, spieków i innych odpadów przemysłowych, jeżeli nie zostanie wykazana ich trwałość odpowiadająca okresowi użytkowania konstrukcji.

Głębokość i rozstaw drenów

Przy projektowaniu rozstawy i zagłębienia drenów należy stosować zalecenia podane w zeszycie 1.

Poziom posadowienia dna drenu i dren do około 1/3 projektowanego przekroju powinien znajdować się poniżej strefy przemarzania [48].

4.5. Pozioma warstwa drenażowa



Rys. 4.7. Schemat do obliczenia grubości poziomej warstwy drenującej

Poziome warstwy drenażowe są często stosowane do przejścia napływu pionowego. Może to być przepływ skierowany do góry z warstwy o zwierciadle napiętym lub skierowany w dół przepływ wód opadowych. Przepływ pionowy jest przejmowany przez warstwę poziomą i odprowadzany przez dren francuski.

Mięgkość warstwy poziomej t (rys. 4.7.) powinna być wystarczająca do przejścia całego przepływu pionowego o natężeniu q [$\text{m}^3/\text{s}/\text{m}^2$]:

$$t = \frac{S}{2} \sqrt{\frac{q}{k_d}} \quad [\text{m}] \quad (4.9)$$

gdzie:

k_d – współczynnik wodoprzepuszczalności kruszywa wypełniającego warstwę drenażową [m/s]

dla przepływu w górę z warstwy wodonośnej pod napięciem grubość poziomej warstwy drenującej wynosi:

$$t = \frac{S}{2} \sqrt{\frac{k h}{k_d h_1}} \quad [\text{m}] \quad (4.10)$$

gdzie:

h – różnica ciśnień wyrażona wysokością słupa wody [m],

h_1 – głębokość do warstwy o zwierciadle napiętym [m];

dla przepływu w dół wód opadowych minimalna grubość warstwy poziomej wynosi:

$$t = \frac{S}{2} \sqrt{\frac{J}{k_d}} \quad [\text{m}] \quad (4.11)$$

J – natężenie opadu atmosferycznego [m/s].

Do przyjmowanej wartości natężenia opadu należy stosować współczynnik redukcyjny uwzględniający rodzaj i przepuszczalność nawierzchni.

Maksymalny możliwy dopływ z warstwy drenującej do drenu na 1 m jego długości wynosi:

$$Q = \frac{2 t^2 k_d}{S} \quad [\text{m}^3/\text{s}] \quad (\text{na 1 m długości drenu}) \quad (4.12)$$

Każdy z drenów powinien być zdolny do przejścia tego przepływu.

4.6. Uszczelnienia – bariery geosyntetyczne

Bariery geosyntetyczne (GBR) stosowane są jako zabezpieczenia przed przenikaniem wód w podłoże gruntowe w celu: zapobieżenia nawilgoceniu i osłabieniu (zwykle tymczasowemu) podłoża, trwałej ochrony przed infiltracją wody spływającej z nawierzchni dróg, zwłaszcza na terenach ochrony wód gruntowych.

W takich przypadkach stosowane są bariery geosyntetyczne: polimerowe GBR-P lub ilowe GBR-C, rzadziej bitumiczne GBR-B. Rodzaj bariery oraz jej odmiana powinny być dostosowane do wymagań szczelności oraz rodzaju i ilości przewidywanych zanieczyszczeń. Właściwości bariery powinny zapewnić jej odporność na występujący rodzaj zanieczyszczeń.

Bariery powinny pełnić wyłącznie funkcję uszczelniającą. Dlatego powinny być wolne od naprężeń rozciągających. Obciążenia nie powinny powodować lokalnych uszkodzeń bariery.

Bariery polimerowe

Bariery polimerowe stosowane w drogownictwie, zależnie od przeznaczenia i projektowanego okresu użytkowania, powinny mieć grubość co najmniej 1 mm. Stosowane geomembrany mają zwykle grubość 1,5 mm lub większą. W barierach do uszczelnień na terenach ochrony wód w wytycznych RiStWag [55] wymagana jest grubość co najmniej 2 mm, ze szczelnymi połączeniami (spawanymi, zgrzewanymi).

Wydłużenie, spowodowane odkształceniami gruntu oraz oddziaływaniem pojazdów, w barierach z PEHD nie powinno przekraczać 3%, większe wydłużenia mogą być dopuszczone w przypadku innych bardziej podatnych tworzyw.

Bariery powinny być układane z takim pochyleniem, aby zapewnić ich stateczność na poślizg, jak również stateczność zasypki przykrywającej barierę. W celu zwiększenia tarcia pomiędzy barierą a przyległymi warstwami, powierzchnia jej może być teksturowana (z wystęgami, żeberkami, kratką czworo- lub sześciokątną itp.). Górny koniec bariery powinien być odpowiednio zakotwiony.

Przy większych pochyleniach stateczność barier można zapewnić przez zastosowanie dodatkowego zbrojenia np. geosiatki. Należy ją u góry zakotwić w rowku zasypanym gruntem lub w inny sposób.

Bariery iłowe

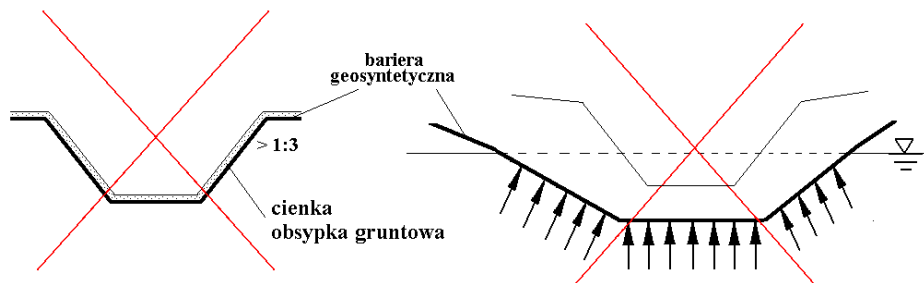
Bariery iłowe wykonywane są w postaci kompozytów: mat w osłonie z geosyntetyków, wypełnionych sproszkowanym lub granulowanym iłem, najlepiej bentonitem sodowym. Warstwa bentonitu zamknięta jest z obu stron geowłókniną lub geotkaniną. Bentonit powinien wykazywać wysoką wodochłonność (400 – 900%), duże pęcznienie pod wpływem działania wody oraz mały współczynnik oddawania fazy ciekłej (zalecany mniejszy od 18). Współczynnik przepuszczalności bariery osiąga $k_n = 10^{-11}$ m/s w przypadku dostatecznie dużego obciążenia bariery nadkładem. Zamykające bentonit powłoki geosyntetyczne są łączone ze sobą (przez igłowanie lub przeszycie), aby mogły przenosić naprężenia ścinające. Zaleca się, aby iłowe bariery geosyntetyczne były zakryte gruntem podczas całego okresu użytkowania.

Przy stosowaniu barier iłowych należy uwzględnić następujące wymagania.

- Małą przepuszczalność warstwy ilowej uzyskuje się tylko przy dostatecznym ograniczeniu możliwości jej pęcznienia. Można to uzyskać albo dzięki odpowiedniej konstrukcji bariery (np. maty silnie igłowane poprzecznie), albo przez obciążenie nadkładem gruntu, który w przypadku mat silnie igłowanych nie powinien być mniejszy od 25 – 30 cm, a innych od 60 cm. Nie należy dopuszczać do nawilżenia maty bez obciążenia.
- W przypadku łatwego pęcznienia maty (przy słabym igłowaniu i małym nadkładzie) właściwości mat ulegają pogorszeniu. Przy całkowitym wysuszeniu maty ilowej powstają w niej rysy, które po ponownym nawodnieniu mogą zwiększyć przepuszczalność k_v do 10^{-9} m/s. Przy przemarzaniu mogą powstawać w macie kryształy lodu, po których rozmrożeniu pustki zanikają tylko w przypadku odpowiedniego obciążenia nadkładem.
- Grubość warstwy okrywającej oraz sposób jej wykonania i zagęszczenia powinien określić projektant, biorąc pod uwagę warunki lokalne, geometrię obiektu itp. Przy określaniu grubości należy uwzględnić wytyczne producenta lub dostawcy oraz parametry geometryczne obiektu (nachylenie skarpy, długość), parametry techniczne gruntu wykorzystywanego jako obsypka, sposób zagęszczenia, ewentualne obciążenia. Dane te są potrzebne projektantowi m.in. do określenia stateczności warstwy okrywającej.

Na pochyłościach należy zapewnić stateczność barier ilowych: zewnętrzną (przeciw jej poślizgowi po podłożu oraz zasypki przykrywającej barierę) i wewnętrzną (przeciw ścięciu wewnątrz spęczniałej warstwy ilowej maty). Przy sprawdzaniu stateczności nie należy uwzględniać sił rozciągających przenoszonych przez materiał maty.

W każdym przypadku bariery uszczelniające powinny być tak obciążone gruntem, by nie zostały uniesione przez działające od spodu ciśnienie wody lub gazu. Bariery geosyntetyczne nie powinny być wbudowywane (np. wg prEN 15382:2005) bezpośrednio pod powierzchnią pobocza lub skarpy. Na rys. 4.8. pokazano podstawowe błędy przy stosowaniu barier geosyntetycznych: układanie ich na skarpach np. rowów o pochyleniu nie zapewniającym stateczności zasypki oraz brak dostatecznego obciążenia równoważącego wypór wody, co grozi uniesieniem bariery.



Rys. 4.8. Podstawowe błędy przy stosowaniu barier geosyntetycznych: układanie na skarpach oraz niezrównoważony wypór wody.

Dodatkowe informacje dotyczące stosowania barier geosyntetycznych zawiera Zeszyt 7 „Ekologiczne zagadnienia odwodnienia pasa drogowego”.

5. Transport i składowanie

Geosyntetyki powinny być dostarczane w rolkach nawiniętych na tuleje (lub w panelach). Wymiary (szerokość, długość) mogą być standardowe lub dostosowane do indywidualnych zamówień. Rolki powinny być opakowane w wodoszczelną folię, stabilizowaną przeciw działaniu promieniowania UV i zabezpieczone przed rozwinięciem. Opakowania powinny być oznaczone zgodnie z obowiązującymi przepisami. Etykieta powinna zawierać co najmniej następujące dane: nazwę i adres producenta, oznaczenie rodzaju i odmiany wyrobu, datę produkcji, numer rolki, wymiary w rolce (szerokość i długość), masę rolki, masę powierzchniową wyrobu, numer dokumentu odniesienia.

Warunki składowania nie powinny wpływać na właściwości geosyntetyków. Podczas transportu i przechowywania należy chronić materiały geosyntetyczne, zwłaszcza geowłókniny i geokompozyty zawierające geowłókniny przed zawilgoceniem, zabrudzeniem, jak również przed długotrwałym (np. ponadtygodniowym) działaniem promieni słonecznych. Szczególnej ochrony przez zawilgoceniem wymagają bariery ilowe (maty bentonitowe).

Materiały geosyntetyczne należy przechowywać i transportować zgodnie z instrukcją producenta. W szczególności materiały należy przechowywać i transportować wyłącznie w rolkach opakowanych fabrycznie, ułożonych poziomo na wyrównanym podłożu. Rolki mogą być układane jedna na drugiej, maksymalnie w 5 lub nawet 2 warstwach. Niektóre rodzaje geokompozytów należy transportować i przechowywać w pozycji pionowej na paletach. Na rolkach geosyntetyków nie należy układać żadnych obciążeń. Opakowania rolek nie należy zdejmować aż do momentu wbudowania.

Podczas ładowania, rozładowywania i składowania należy zabezpieczyć rolki przed uszkodzeniami mechanicznymi lub chemicznymi oraz przed działaniem wysokich temperatur.

6. Wbudowanie geosyntetyków

Powierzchnia gruntu do ułożenia geosyntetyków powinna być starannie przygotowana przez:

- usunięcie drzew, krzewów, korzeni, większych kamieni, które mogłyby uszkodzić materiał, a także ziemi roślinnej,
- wyrównanie, aby układany materiał przylegał na całej powierzchni do gruntu,
- tam, gdzie jest to potrzebne, powierzchnia powinna być zagęszczona zgodnie z wymaganiami PN-S-02205:1998.

Geosyntetyki należy układać na podstawie planu określającego wymiary pasm, kierunek postępu robót, kolejność układania pasm, szerokość zakładów, sposób łączenia, mocowania tymczasowego itp. Wskazany jest kierunek układania “pod górę”. Należy gromadzić i przechowywać etykiety z rolek.

Układanie ręczne jest regułą. Rolki materiału są zwykle dowożone na miejsce wbudowania, niekiedy możliwe jest ich bezpośrednie rozwijanie. Szerokość pasm powinna zapewniać pełne owinięcie konstrukcji drenu i uzyskanie odpowiednich zakładów. W przypadku małych powierzchni, krótkich odcinków wykopów drenów lub trudnego dostępu może być celowe wcześniejsze przycinanie materiałów na właściwy wymiar.

Układanie mechaniczne specjalnymi maszynami jest stosowane praktycznie tylko przy wbudowywaniu filtrów powierzchniowych na dużych powierzchniach, np. parkingach.

Warstwy rozdzielające, filtrujące i osłonowe należy tak układać, by pasma leżały poprzecznie do kierunku zasypywania. W warstwach filtracyjnych i drenażach układane geosyntetyki są najczęściej łączone na zakład. W przypadku układania na wyrównanej powierzchni gruntu o przeciętnej nośności (np. w budowlach drogowych), łatwej kontroli ułożenia, płaskich powierzchniach wykopów rowów – zakład powinien wynosić co najmniej 0,3 m. W przypadku nierównej powierzchni, gruntu o bardzo małej nośności ($\text{CBR} \leq 2\%$), trudnej kontroli ułożenia, obawy dużych odkształceń, nieregularnych powierzchni ścian rowów (np. w odwodnieniach) – zakład powinien wynosić co najmniej 0,5 m, a w bieżącej wodzie – co najmniej 1 m.

Aby zapobiec przemieszczaniu np. przez wiatr, pasma należy przymocować lub chwilowo obciążyć (np. wbitymi w grunt prętami w kształcie litery U, pryzmami gruntu).

Zakład wielowarstwowych geokompozytów drenażowych należy wykonać w sposób zapewniający ciągłość przepływu przez rdzeń: zewnętrzne warstwy włókniny należy odsłonić, aby uzyskać bezpośredni styk czołowy lub zakład rdzenia.

W uzasadnionych przypadkach wymagane jest łączenie pasm, najczęściej na budowie, zależnie od rodzaju wyrobu i wymaganej szczelności: za pomocą zszywania, zgrzewania, klejenia, taśmami samoprzylepnymi itp. W takim przypadku wielkość zakładu określa się na podstawie indywidualnych wymagań i prób.

Jeżeli szerokość wyrobu nie jest dostosowana do wymiarów konstrukcji, to rolki materiału można ciąć na potrzebny wymiar za pomocą odpowiednich urządzeń, np. piły mechanicznej. Nie należy przy tym dopuszczać do miejscowego topienia materiału, aby nie spowodować sklejenia warstw rolki.

Zasypywanie powinno następować od czoła pasma na ułożony materiał, po czym zasypka jest rozkładana na całej powierzchni odpowiednim urządzeniem, najczęściej spycharką, a tylko wyjątkowo ręcznie. Duże kamienie nie powinny być zrzucane z większej wysokości, by nie niszczyć geosyntetyków. W takim przypadku może być celowe układanie najpierw bezpośrednio na materiale warstwy gruntu bez kamieni. Pasma należy układać „dachówkowo”, aby przesuwanie zasypki nie powodowało podrywania materiału.

Niedopuszczalny jest ruch pojazdów, walców okółkowanych i innych ciężkich maszyn bezpośrednio po ułożonych geosyntetykach. Wjazd na nie pojazdów lub maszyn może być dopuszczony dopiero po ułożeniu na nich warstwy zasypki co najmniej 25 – 30 cm.

Szczegółowe informacje dotyczące wykonywania drenów francuskich zawierają np. publikacje [46, 48, 59].

Geosyntetyczne bariery polimerowe należy tak układać, by były wyrównane, bez uszkodzeń i załamań oraz dobrze przylegały do podłoża. Powinny być wolne od naprężeń rozciągających. Bariery należy układać z zakładem o szerokości zależnej od rodzaju stosowanego materiału i sposobu łączenia. Pasma łączy się przez stosowanie odpowiednich taśm, klejów, przez zgrzewanie lub spawanie. Wybór technologii połączeń zależy od funkcji, jaką ma do spełnienia bariera oraz wytycznych dostawcy materiałów i projektanta. W przypadku wykorzystywania barier polimerowych do wykonywania izolacji obiektów położonych na obszarach ochrony wód oraz przy wykonywaniu szczelnych zbiorników na wodę lub odcieki, zalecane jest stosowanie wyłącznie połączeń zgrzewanych. Szczelność takich połączeń powinna być dokładnie

sprawdzona po zakończeniu robót. Połączenia barier polimerowych powinny spełniać wymagania normy PN-B-10290:1997.

Jeżeli bariera polimerowa jest układana na gruncie żwirowym lub kamienistym, albo zasypywana takim gruntem, to należy ją zabezpieczyć warstwą ochronną. Może to być warstwa piasku grubości co najmniej 10 cm albo gruba włóknina ochronna. Warstwa podłoża, na którym jest układana bariera, powinna być zagęszczona zgodnie z wymaganiami PN-S-02205:1998. Izolacja z barier polimerowych powinna być okryta warstwą zasypkową przez cały okres użytkowania.

Aby zapobiec przemieszczaniu np. przez wiatr, pasma barier należy chwilowo obciążyć (np. pryzmami gruntu, workami z gruntem itp.).

Bariery ilowe (maty) powinny być układane zgodnie z zaleceniami producenta, w stanie suchym i nie spęczniałym, podczas suchej pogody. Należy je chronić przed namoknięciem. Maty powinny być układane na odpowiednio przygotowanym i zagęszczonym podłożu, na zakład. Zalecane są zakłady podłużne 15 – 25 cm, poprzeczne 30 cm. Maty zwykle są rozwijane zgodnie ze spadkiem podłoża. W przypadku układania mat na skarpach ich górna krawędź powinna być odpowiednio zakotwiona, np. w rowku zasypanym gruntem. Ze względu na znaczny ciężar zaleca się układanie mat za pomocą sprzętu mechanicznego.

Styki podłużne pasm powinny być równoległe do kierunku spływu wody. Zakłady są dodatkowo uszczelniane za pomocą granulatu lub szpachli bentonitowej, albo innymi sposobami wskazanymi przez producenta. Poprzeczne styki pasm powinny być z zakładem „dachówkowym”. Należy unikać sytuowania styków w punktach najwyższych i najniższych oraz krzyżowania się styków. Po wbudowaniu maty należy niezwłocznie zakryć gruntem. W celu zapewnienia szczelności ułożone materiały powinny być chronione przed wysychaniem i przemarzaniem warstwą nadkładu gruntu. Grunt zasypki nie powinien zawierać dużej ilości wapnia.

Bariery polimerowe i ilowe są narażone na uszkodzenie podczas wbudowania. Dlatego w każdym przypadku należy sprawdzić ich stan przed przykryciem warstwą ochronną lub zasypką. Wykryte uszkodzenia należy naprawić odpowiednio do rodzaju bariery. W trakcie użytkowania bariery mogą być uszkodzone przez korzenie drzew, które zanikając pozostawiają otwory mogące powodować przecieki. Mogą być też uszkodzone przez zwierzęta.

Niedopuszczalny jest ruch pojazdów bezpośrednio po ułożonych barierach. Wjazd na nie pojazdów lub maszyn może być dopuszczony dopiero po ułożeniu na nich warstwy zasypki, grubości po zagęszczeniu co najmniej 25 - 30 cm. Pierwsza warstwa powinna być sypana „od czoła” na suchą matę ilową.

Zalecenia dotyczące stosowania geosyntetyków w odwodnieniach dróg

Do zasypek powinien być stosowany materiał o możliwie ciągłym uziarnieniu, bez kamieni, z ziarnami obtoczonymi, nie łamany. Materiał powinien być przemieszczany zgodnie z kierunkiem zakładów bariery. Należy unikać gwałtownych ruchów i skrętów maszyn na zasypce.

Szczególnej uwagi wymaga zapewnienie stateczności (zewnętrznej i wewnętrznej) bariery na spadkach, zarówno w czasie robót, jak i podczas użytkowania obiektu. W każdym przypadku bariery uszczelniające powinny być tak obciążone gruntem, by nie zostały uniesione przez ciśnienie wody lub gazu, działające od spodu bariery.

Folie z wytłoczeniami (geosyntetyki dystansowe) należy układać wytłoczeniami po stronie chronionej konstrukcji, a w przypadku folii z wytłoczeniami połączonych z materiałem geotekstylnym – zawsze filtrem po stronie gruntu. Powinny być one przymocowane do podłoża lub konstrukcji, aby nie uległy przemieszczeniu podczas zasypywania gruntem.

7. Wymagania dotyczące trwałości wyrobów

Trwałość geotekstyliów i wyrobów pokrewnych

Każdy wyrób geotekstylny dopuszczony do obrotu i oznakowany znakiem CE powinien zawierać na etykiecie lub dołączonej dokumentacji informację o przewidywanej trwałości i czasie między wbudowaniem a zakryciem wyrobu gruntem lub kruszywem. Przykładowo informacja taka może wyglądać następująco:

„Zakryć w dniu wbudowania. Przewidywana trwałość przez minimum 25 lat w gruntach naturalnych o $4 < \text{pH} < 9$ i temperaturze gruntu $< 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.”

Ułożony wyrób powinien być jak najszybciej zakryty zasypką gruntową. Jeżeli geotekstylia nie są przykrywane gruntem w dniu wbudowania, to powinny być poddane badaniu na przyspieszone starzenie w warunkach atmosferycznych wg PN-EN 12224. Odporność na czynniki klimatyczne określa się, badając wytrzymałość materiału przed i po poddaniu go w specjalnym urządzeniu działaniu promieni UV o znormalizowanym natężeniu i energii naświetlania, z okresowym zraszaniem. Maksymalny czas pomiędzy wbudowaniem a zakryciem gruntem geotekstyliów zależy od wytrzymałości pozostałej po badaniu w stosunku do wytrzymałości początkowej. Czas ten podano w tablicy 7.1.

Tablica 7.1. Maksymalny czas pomiędzy wbudowaniem geotekstyliów a zakryciem ich gruntem

Zastosowanie wytrzymałość pozostała pod koniec badania w stosunku do wytrzymałości początkowej	Zbrojenie lub inne funkcje, w których wytrzymałość długoterminowa jest istotnym parametrem	Inne zastosowania
> 80 %	1 miesiąc	
od 60 % do 80 %	2 tygodnie	
od 20 % do 60 %		2 tygodnie
< 20 %	1 dzień	

Odporność na wpływy chemiczne badana jest za pomocą kąpeli w znormalizowanych roztworach. W przypadku geotekstyliów narażonych na oddziaływanie gruntów o $\text{pH} < 4$ lub $\text{pH} > 9$ zaleca się przeprowadzenie badań wg PN-EN 14030. Metoda A powinna być zastosowana do gruntów o $\text{pH} < 4$, a metoda B do gruntów o $\text{pH} > 9$. W obu przypadkach procentowa wytrzymałość określona pod koniec badania powinna być większa niż 50 % wytrzymałości na początku badania. W przypadku zastosowań, w których wytrzymałość długoterminowa jest istotnym parametrem, mogą być konieczne dodatkowe badania służące określeniu współczynników redukcyjnych przyjmowanych do obliczeń wytrzymałości długotrwałej. Wyniki badań powinny być interpretowane w odniesieniu do rzeczywistych warunków pracy geotekstyliów (oddziaływanie chemiczne i temperatura).

Wymagania dotyczące właściwości wyrobów stosowanych w drenażach zawiera norma PN-EN 13252. Geotekstylia zastosowane w gruntach naturalnych o pH pomiędzy 4 i 9, temperaturze $< 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, nie pełniące funkcji zbrojenia oraz wykonane z poliestru, polietylenu, polipropylenu, poliamidu 6 lub poliamidu 6.6 i nie zawierające surowców wtórnych, mogą być uważane za zachowujące dostateczną trwałość co najmniej przez pięć lat.

Geotekstylia zastosowane w gruntach naturalnych o pH między 4 i 9, temperaturze $< 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, wykonane z poliestru, polietylenu, polipropylenu, poliamidu 6 lub poliamidu 6.6 i nie zawierające surowców wtórnych, mogą być uważane za zachowujące dostateczną trwałość co najmniej przez dwadzieścia pięć lat, pod warunkiem, że pomyślnie przeszły badania: odporności na hydrolizę (poliester, poliamid 6, poliamid 6.6) albo odporności na utlenianie (polipropylen, polietylen, poliamid 6, poliamid 6.6).

Badania odporności na hydrolizę wykonuje się wg PN-EN 12447. Minimalna wytrzymałość określona pod koniec badania odporności na hydrolizę powinna wynosić 50 % wytrzymałości na początku badania.

Badania odporności na utlenianie wykonuje się wg PN-EN ISO 13438. Minimalna wytrzymałość określona pod koniec badania odporności na utlenianie powinna wynosić co najmniej 50 % wytrzymałości na początku badania.

W przypadku okresu eksploatacji powyżej 25 lat, gruntu o temperaturze powyżej $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, zastosowania w gruntach zanieczyszczonych, szczególnie w obecności soli amonowych, geotekstyliów wytworzonych z różnych polimerów oraz kompozytów, które nie mogą być badane na odporność na hydrolizę i utlenianie, gdy w skład geotekstyliów wchodzi surowce wtórne, zastosowania geotekstyliów i wyrobów pokrewnych w środowiskach o wysokiej kwasowości lub silnie zasadowych trwałość geotekstyliów należy oceniać w odniesieniu do rzeczywistych warunków użytkowania. W takich przypadkach

Zalecenia dotyczące stosowania geosyntetyków w odwodnieniach dróg

należy wykonać również badania odporności na wpływy mikrobiologiczne wg EN 12225.

Świeży beton i grunty stabilizowane spoiwami hydraulicznymi (wapnem, cementem) wykazują wartość pH > 9, najczęściej 10 do 12. Jeżeli geotekstylia są stosowane w kontakcie z takim materiałem, to nie należy używać wyrobów z poliestru (PET), o ile trwałość tych wyrobów nie zostanie specjalnie wykazana.

Na powierzchniach betonu bez specjalnej powłoki ochronnej powinny być stosowane geosyntetyki o podwyższonej odporności na alkalia.

Trwałość barier geosyntetycznych

Główną metodą oceny właściwości użytkowych barier geosyntetycznych w badaniach trwałości jest porównanie właściwości mechanicznych badanej próbki na rozciąganie (wytrzymałości na rozciąganie oraz wydłużenia przy zerwaniu) z właściwościami próbki kontrolnej. Sposób oceny powinien być zgodny z EN 12226. Należy stosować metodę badania na rozciąganie właściwą dla każdego z trzech rodzajów barier geosyntetycznych: polimerowej, ilowej i bitumicznej.

Poziom dopuszczalnej odchyłki nie może przekraczać 25 % początkowej wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenia przy zerwaniu bariery geosyntetycznej. Muszą być spełnione oba kryteria. W przypadku niektórych badań stosowane są również dodatkowe metody oceny.

Odporność na przyspieszone starzenie w warunkach atmosferycznych bada się wg PN-EN 12224. Czas naświetlania w zależności od przewidywanego czasu naświetlania w trakcie użytkowania zestawiono w tablicy 7.2. Czas naświetlania jeden dzień oznacza, że bariera będzie przykryta gruntem w ciągu jednego dnia od wbudowania.

Tablica 7.2. Wymagane naświetlanie promieniowaniem atmosferycznym

Czas naświetlania w terenie	Napromieniowanie (MJ/m ²)	Szacowany czas naświetlania w badaniu* (godz.)
Jeden dzień	-	Badanie nie wymagane
Jeden rok	350	3000
*Natężenie promieniowania 40 W/m ² , zraszanie wodą przez godzinę co 6 godzin		

W przypadku, gdy czas naświetlania w terenie jest dłuższy niż 1 rok, producent powinien dostarczyć oświadczenie o odporności na warunki atmosferyczne wraz z technicznym uzasadnieniem.

Badania odporności na mikroorganizmy wykonuje się wg PN-EN 12225.

W przypadku instalowania barier geosyntetycznych w gruntach, w których występują warunki beztlenowe lub w gruntach wzbogaconych biologicznie należy stosować alternatywne metody badania.

Geosyntetyczne bariery polimerowe powinny być poddawane badaniom odporności na korozję naprężeniową powodowaną działaniem czynników środowiskowych, zgodnie z EN 14576. Kryterium odbioru jest wynik badania trwającego ≥ 200 godzin. Próbkę do badania należy pobierać w słabszym kierunku na podstawie badań wytrzymałości na rozciąganie przy płynięciu. Zazwyczaj jest to kierunek w poprzek kierunku produkcji, to znaczy, że nacięcie należy zorientować zgodnie z kierunkiem produkcji. W przypadku, gdy bariery mają powierzchnię teksturowaną, badanie należy przeprowadzić na próbkach z tego samego materiału o powierzchni gładkiej.

Wszystkie bariery geosyntetyczne nie powinny nosić widocznych śladów penetracji korzeniami po badaniach zgodnych z CEN/TS 14416.

Odporność na wypłukiwanie przez określone ciecze należy badać zgodnie z normą EN 14415. W przypadku tego badania należy stosować dodatkowe poniższe kryteria oceny:

- nie może być zauważalnych znaków degradacji;
- utrata masy próbki nie może przekroczyć 5% w przypadku metod A i B i 25% w przypadku metody C. Metoda C jest wymagana, gdy w przypadku barier stosowanych do budowy składowisk odpadów ciekłych, stacji pośrednich lub wtórnej obudowy zabezpieczającej oraz do budowy magazynów i składowisk odpadów stałych.

Bariery geosyntetyczne stosowane w miejscach, w których oddziaływanie czynników atmosferycznych będzie trwało ponad 1 rok, powinny być badane zgodnie z normą EN 14415 według procedury opisanej w normie EN 14575. Minimalna wytrzymałość na rozciąganie, określona pod koniec badania odporności, powinna spełniać kryteria podane wyżej.

Odporność na utlenianie powinna być badana zgodnie z normą EN 14575. Badania należy prowadzić przez 90 dni w temperaturze 85 °C.

Odporność chemiczna dla zastosowań na składowiskach odpadów i w innych budowlach powinna być badana zgodnie z normą EN 14414, procedury A i B (rozcieńczony kwas i zasady). Oprócz wymagań dotyczących zmian parametrów mechanicznych, materiał bariery nie może wykazywać zauważalnych znaków degradacji.

Geosyntetyczne bariery włókowe powinny być badane, w celu ustalenia ich trwałości, zgodnie z powyższymi zaleceniami, ale z pewnymi wyjątkami:

Zalecenia dotyczące stosowania geosyntetyków w odwodnieniach dróg

- nie jest wymagane badanie odporności na starzenie się w warunkach atmosferycznych;
- nie jest wymagane badanie odporności na korozję naprężeniową, mikroorganizmy, wypłukiwanie i utlenianie.

Dodatkowo wymagane są poniższe badania:

- wpływ cykli zamrażania i rozmrażania wg CEN/TS 14418;
- wpływ cykli nawilżania i suszenia wg CEN/TS 14417.

We wszystkich przypadkach kryterium odbioru będzie wzrost przepuszczalności nie więcej niż o 25%.

8. Badania kontrolne i kryteria odbioru

Materiały geosyntetyczne powinny być dopuszczane do stosowania i obrotu zgodnie z obowiązującymi przepisami.

Materiały geosyntetyczne powinny zostać sprawdzone przed wbudowaniem (zgodność ze specyfikacjami, parametry techniczne). Dostawca wyrobów geotekstylnych powinien przedstawić pełne wyniki badań przydatności wyrobu (badania typu). Zakres ich powinien obejmować wszystkie testy wymagane w normie lub Aprobacie Technicznej. Niezależnie od tego producent powinien, na żądanie inwestora, przedstawić bieżące wyniki badań własnych w ramach zakładowej kontroli jakości produkcji.

Inwestor lub zamawiający wyrób geosyntetyczny może zlecić badania kontrolne zgodności wyrobu z wymaganiami (dokumentem certyfikacyjnym lub specyfikacją). Rodzaje i zakres badań powinny być dostosowane do konkretnego zastosowania. Liczba próbek zależy od powierzchni wbudowywanego wyrobu: orientacyjnie przy powierzchni ponad 10 000 m² zaleca się zbadać jeden komplet próbek na każde 10 000 m² [43].

Podczas wbudowywania należy sprawdzać:

- oczyszczenie i wyrównanie terenu,
- zgodność z projektem i stan materiału,
- prawidłowość ułożenia, przyleganie do gruntu, wymiary, wielkość zakładu itp.,
- zabezpieczenie przed przemieszczeniem, prawidłowość połączeń, zakotwienia i balastu,
- przestrzeganie ograniczeń ruchu roboczego pojazdów.

Literatura

a. Normy polskie

- [1] PN-B-10290:1997 Geomembrany – Ogólne wymagania dotyczące wykonawstwa geomembran na budowie składowisk odpadów stałych
- [2] PN-B-12074:1998 Urządzenia wodno-melioracyjne. Umacnianie i zadarnianie powierzchni biowłókniną
- [3] PN-EN 918:1999 Geotekstylia i wyroby pokrewne – Wyznaczanie wytrzymałości na dynamiczne przebicie (metoda spadającego stożka)
- [4] PN-EN 963:1999 Geotekstylia i wyroby pokrewne – Pobieranie próbek laboratoryjnych i przygotowanie próbek do badań
- [5] PN-EN 964-1:1999 Geotekstylia i wyroby pokrewne – Wyznaczanie grubości przy określonych naciskach – Warstwy pojedyncze
- [6] PN-EN 965:1999 Geotekstylia i wyroby pokrewne – Wyznaczanie masy powierzchniowej
- [7] PN-EN 1897:2004 Geotekstylia i wyroby pokrewne – Wyznaczanie właściwości pełzania przy ściskaniu
- [8] PN-EN 12224:2002 Geotekstylia i wyroby pokrewne – Wyznaczanie odporności na warunki klimatyczne
- [9] PN-EN 12225:2002 Geotekstylia i wyroby pokrewne – Metoda wyznaczania odporności mikrobiologicznej przez umieszczenie w gruncie
- [10] PN-EN 12226:2002 Geotekstylia i wyroby pokrewne – Badania ogólne do oceny trwałości
- [11] PN-EN 13242:2004 Kruszywa do niezwiązanych i związanych hydraulicznie materiałów stosowanych w obiektach budowlanych i budownictwie drogowym
- [12] PN-EN 12447:2003 Geotekstylia i wyroby pokrewne – Selekcyjna metoda badania odporności na hydrolizę w wodzie

- [13] PN-EN 13249:2002 Geotekstylia i wyroby pokrewne – Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych do budowy dróg i innych powierzchni obciążonych ruchem (z wyłączeniem dróg kolejowych i nawierzchni asfaltowych)
- [14] PN-EN 13251:2002 Geotekstylia i wyroby pokrewne – Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych w robotach ziemnych, fundamentowaniu i konstrukcjach oporowych
- [15] PN-EN 13252:2002 Geotekstylia i wyroby pokrewne – Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych w systemach drenażowych
- [16] PN-EN 13255:2002 Geotekstylia i wyroby pokrewne - Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych do budowy kanałów
- [17] PN-EN 13256:2002 Geotekstylia i wyroby pokrewne – Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych do budowy tuneli i konstrukcji podziemnych
- [18] PN-EN 13362:2007 Bariery geosyntetyczne – Właściwości wymagane przy zastosowaniu do budowy kanałów
- [19] PN-EN 13491:2006 Bariery geosyntetyczne – Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych jako bariery nieprzepuszczalne dla płynów do budowy tunelów i budowli podziemnych
- [20] PN-EN 13562:2002 Geotekstylia i wyroby pokrewne – Wyznaczanie oporu na przenikanie wody – Metoda ciśnienia hydrostatycznego
- [21] PN-EN 14030:2004 Geotekstylia i wyroby pokrewne – Selekcyjna metoda wyznaczania odporności na roztwory kwasów i zasad
- [22] PN-EN ISO 9863-2:1999 Geotekstylia i wyroby pokrewne – Wyznaczanie grubości przy określonych naciskach – Określenie grubości warstwy pojedynczej wyrobów wielowarstwowych
- [23] PN-EN ISO 10320:2002 Geotekstylia i wyroby pokrewne – Identyfikacja w miejscu zastosowania

- [24] PN-EN ISO 11058:2002 Geotekstylii i wyroby pokrewne – Wyznaczanie wodoprzepuszczalności w kierunku prostopadłym do powierzchni wyrobu, bez obciążenia
- [25] PN-EN ISO 12236:1998 Geotekstylii i wyroby pokrewne – Badanie na przebicie statyczne (metoda CBR)
- [26] PN-EN ISO 12956:2002 Geotekstylii i wyroby pokrewne – Wyznaczanie charakterystycznej wielkości porów
- [27] PN-EN ISO 12958:2002 Geotekstylii i wyroby pokrewne – Wyznaczanie zdolności przepływu wody w płaszczyźnie wyrobu
- [28] PN-EN ISO 13437:2000 Geotekstylii i wyroby pokrewne – Metoda instalowania i pobierania próbek z gruntu oraz badania próbek w laboratorium
- [29] PN-EN ISO 13438:2006 Geotekstylii i wyroby pokrewne – Selekcyjna metoda wyznaczania odporności na utlenianie
- [30] PN-ISO 9863:1994 Geotekstylii – Wyznaczanie grubości przy określonych naciskach
- [31] PN-ISO 9864:1994 Geotekstylii – Wyznaczanie masy powierzchniowej
- [32] PN-EN ISO 10318:2007 Geosyntetyki – Terminy i definicje
- [33] PN-ISO 10319:1996 Geotekstylii - Badanie wytrzymałości na rozciąganie metodą szerokich próbek
- [34] PN-ISO 10319:1996/Ap1:1998 Geotekstylii - Badanie wytrzymałości na rozciąganie metodą szerokich próbek

b. Normy zagraniczne

- [35] prEN 15382:2005 - Geosynthetic barriers – Characteristics required for use in transportation infrastructure
- [36] prEN 15382:2008 - Geosynthetic barriers – Characteristics required for use in transportation infrastructure
- [37] ENV 12447 Geotextiles and geotextile-related products – Screening test method for determining the resistance to hydrolysis

- [38] prEN ISO 12957-1:1997 Geotextiles and geotextile-related products – Determination of friction characteristics – Part 1: Direct shear method (ISO/DIS 12957-1:1997)
- [39] prEN ISO 12957-2:1997 Geotextiles and geotextile-related products – Determination of friction characteristics – Part 2: Inclined plane method (ISO/DIS 12957-2:1997)
- [40] SN 640 552a:1997 Geotextilien - Anforderungen für die Funktionen Trennen, Filtern, Drainieren (Geotekstylija - Wymagania dotyczące funkcji rozdzielania, filtrowania i drenażu)

- c. Przepisy prawne**
- [41] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 2.03.1999 w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie. Dziennik Ustaw Nr 43 poz. 430.
- [42] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z 30.05.2000 w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. Dziennik Ustaw Nr 63 poz. 735.

- d. Instrukcje i wytyczne Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych:**
- [43] Ogólna specyfikacja techniczna D-06.01.01 Umacnianie powierzchni skarp, rowów i ścieków. Generalna Dyrekcja Dróg Publicznych. Warszawa, 2001.
- [44] Wytyczne wzmacniania podłoża gruntowego w budownictwie drogowym, Warszawa 2002.
- [45] Projektowanie konstrukcji oporowych, stromych skarp i nasypów z gruntu zbrojonego geosyntetykami, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2007.

- e. Publikacje**
- [46] Ajdukiewicz J. (2004): Drenaże francuskie. Materiały Budowlane, cz. 1 nr 10, s. 87-92, cz. 2 nr 11, s. 63-69.
- [47] Bolt A., Duszyńska A. (1998): Kryteria doboru geosyntetyków jako warstw separacyjnych i filtracyjnych. "Inżynieria Morska i Geotechnika" nr 1, s. 25-31.
- [48] Edel R. (2002): Odwodnienia dróg. Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa.
- [49] Geotekstylija LOTRAK (1996). Poradnik projektanta. DON & LOW Ltd, Forfar, Scotland.
- [50] Giroud J.P. (1997): Geotextile Filters: Reliable Design and Installation. Recontres 97, France
- [51] Kossakowski M.: Umacnianie skarp biowłókniną, geosyntetykami i hydroobsiewem. Drogownictwo nr 8/2001, str. 244-248

- [52] Merkblatt (1994) für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln.
- [53] Müller-Rochholz J. (2005): Geokunststoffe im Erd- und Strassenbau. Werner Verlag, 403 s.
- [54] Rolla St. (1988). Geotekstylia w budownictwie drogowym. WKiŁ, Warszawa, 128s.
- [55] Richtlinien (2002) für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasserschutzgebieten RiStWag. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln.
- [56] Rüegger R., Hufenus R. (2003): Bauen mit Geokunststoffen – Ein Handbuch für den Geokunststoff-Anwender. Schweizerische Verband für Geokunststoffe. 191 s.
- [57] Technical Handbook (2001) : Typar® SF Geotextile, DuPont de Nemours, Luxembourg.
- [58] Technische Lieferbedingungen (1995) für Geotextilien und Geogitter für den Erdbau des Straßenbau. TL Geotex E-Stb 95. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, 26 s.
- [59] Uzdalewicz Z. (2001): Geosyntetyki w drogownictwie. Drenaż francuski. Bezpieczne Drogi nr 7
- [60] Wesołowski A., Krzywosz Z., Brandyk T. (2000): Geosyntetyki w konstrukcjach inżynierskich. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 231 s.

Spis rysunków

Rys. 2.1.	Przykłady geowłóknin
Rys. 2.2.	Przykłady geotkanin
Rys. 2.3.	Przykłady geokompozytów (a. georuszt drenażowy + jednostronnie geowłóknina, b. georuszt drenażowy + obustronnie geowłóknina, c. rdzeń - geomata + obustronnie geowłóknina)
Rys. 2.4.	Przykładowe rodzaje geokompozytów
Rys. 2.5.	Przykład geokompozytu warstwowego z mini-drenami
Rys. 2.6.	Przykłady polimerowych barier geosyntetycznych o teksturowanej powierzchni
Rys. 3.1.	Schemat drenu francuskiego: a) bez rury drenarskiej, b) z rurą drenarską
Rys. 3.2.	Rozwiązania drenu francuskiego
Rys. 3.3.	Przykład drenu ze skrzynkami plastikowymi
Rys. 3.4.	Schemat warstwy drenującej
Rys. 3.5.	Przykład drenu geokompozytowego (dren żebrowy)
Rys. 3.6.	Przykład drenu geokompozytowego odwadniającego powierzchnię skarpy (wg [53])
Rys. 3.7.	Przykład zastosowania bariery geosyntetycznej
Rys. 4.1.	Krzywe rozmiarów porów tkaniny i włókniny
Rys. 4.2.	Zasada działania filtru geotekstylnego. Od lewej: uziarnienie naturalne; filtr w gruncie; strefa sklepień; materiał geotekstylny; kruszywo drenu
Rys. 4.3.	Odporność geotekstyliów na kolmatację cząstkami pylastymi gruntu (wg danych z [60])
Rys. 4.4.	Równoległe dreny francuskie
Rys. 4.5.	Zależność prędkości przepływu wody od spadku hydraulicznego dla kruszyw o różnym uziarnieniu (wg [49])
Rys. 4.6.	Nomogram do wyznaczania średnicy rury drenarskiej dla znanego spadku hydraulicznego i potrzebnego wydatku drenu (wg [49])
Rys. 4.7.	Schemat do obliczenia grubości poziomej warstwy drenującej
Rys. 4.8.	Podstawowe błędy przy stosowaniu barier geosyntetycznych: układanie na skarpach oraz niezrównoważony wypór wody

Spis tablic

Tablica 2.1	Wymagania dotyczące geotekstyliów i wyrobów pokrewnych stosowanych w systemach drenażowych według PN-EN 13252
Tablica 2.2.	Wymagania dotyczące barier geosyntetycznych stosowanych w infrastrukturze transportowej według prEN 15382
Tablica 3.1.	Przegląd zastosowań geosyntetyków w odwodnieniach
Tablica 4.1.	Wskazówki dotyczące wyboru filtrów z geosyntetyków
Tablica 4.2.	Zalecane cechy geosyntetyków filtrujących [SN 640 552:2002]
Tablica 4.3.	Cechy mechaniczne geotekstyliów filtrujących o dużym wydłużeniu (> 30%) [SN 640 552:2002]
Tablica 4.4.	Właściwości hydrauliczne typowych wyrobów geosyntetycznych stosowanych na warstwy filtrujące
Tablica 4.5.	Przydatność geosyntetyków w zależności od chronionych gruntów
Tablica 4.6.	Właściwości miarodajne geosyntetyków drenażowych
Tablica 4.7.	Cechy mechaniczne geosyntetyków drenażowych [SN 640 552:2002]
Tablica 4.8.	Wydatek drenów francuskich [56]
Tablica 7.1.	Maksymalny czas pomiędzy wbudowaniem geotekstyliów a zakryciem ich gruntem
Tablica 7.2.	Wymagane naświetlanie promieniowaniem atmosferycznym