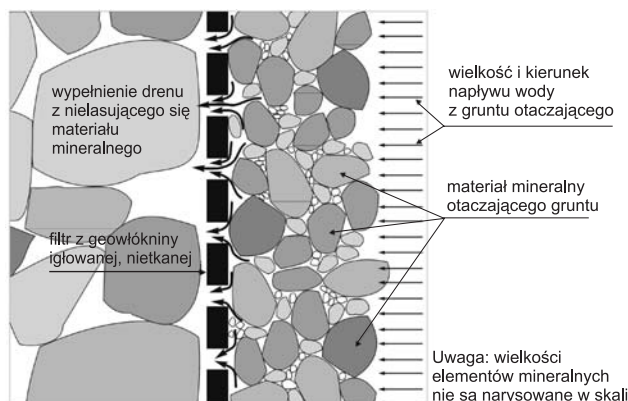


mgr inż. Jacek Ajdukiewicz\*

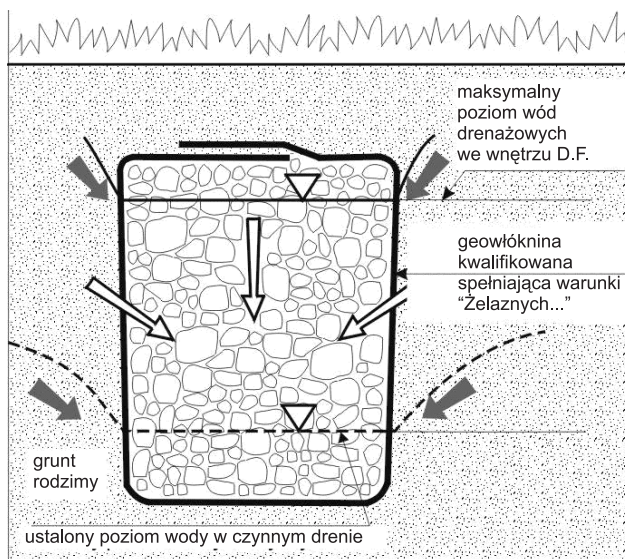
## Drenaże francuskie – cz. 1

**D**ren francuski (D.F.) to znany od stuleci dren kamienny, uzupełniony na całym obwodzie przekroju o przegrodę filtracyjną, pełniącą jednocześnie funkcję separacyjną (rozdzielającą), która uniemożliwia wnikanie cząstek otaczającego gruntu do wnętrza przekroju drenu. Jest to zatem rozwiązanie, w którym funkcję warstwy filtracyjnej spełniają odpowiednio dobrane geowłókniny (o odpowiedniej konstrukcji i parametrach technicznych), a funkcję wewnętrznego wypełnienia, odtransportowującego przefiltrowaną wodę, materiał mineralny; najlepiej pochodzenia naturalnego (rysunek 1).

Teoretycznie do tych celów nadaje się bardzo wiele materiałów z obydwu grup materiałowych, lecz najistotniejsze jest wykonanie drenu sprawnego pod względem technicznym przez wiele dziesiątków lat – do 100 lat włącznie!!! W związku z tym do podstawowych zadań projektanta należy uświadomienie (w okresie projektowania – inwestorowi, zaś w okresie wykonawstwa – wykonawcy i nadzorowi inwestorskiemu reprezentującemu inwestora) konieczności przestrzegania, w całym cyklu prac budowlanych, wszystkich zasad prawidłowego wykonania długowiecznych i sprawnych (aż do końca żywotności danego obiektu) drenów francuskich. W sposób szczególny należy eliminować wszelkie próby zamiany materiałów (podejmowane w celu uproszczenia lub obniżenia kosztów



**Rys. 1. Zasady drenowania gruntu przy zastosowaniu drenu francuskiego: maksymalna liczba porów na 1 cm; minimalna prędkość przepływu wody przez poszczególne pory (powinno być jedynie sączenie się wody przez nieskończenie dużą liczbę porów)**



**Rys. 2. Zasada funkcjonowania drenu francuskiego**

wykonania drenu), szczególnie geowłóknin. W celu uzyskania sprawnych, skutecznych, długowiecznie pracujących D.F. (rysunek 2) do ich konstruowania należy stosować:

- **geowłókniny nietkane – igłowane (non-woven)**, zwłaszcza te, które spełniają przedstawione w dalszej treści „Żelazne, niepodważalne warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać geowłókniny nietkane, igłowane stosowane do odwodnień obiektów inżynierskich”;

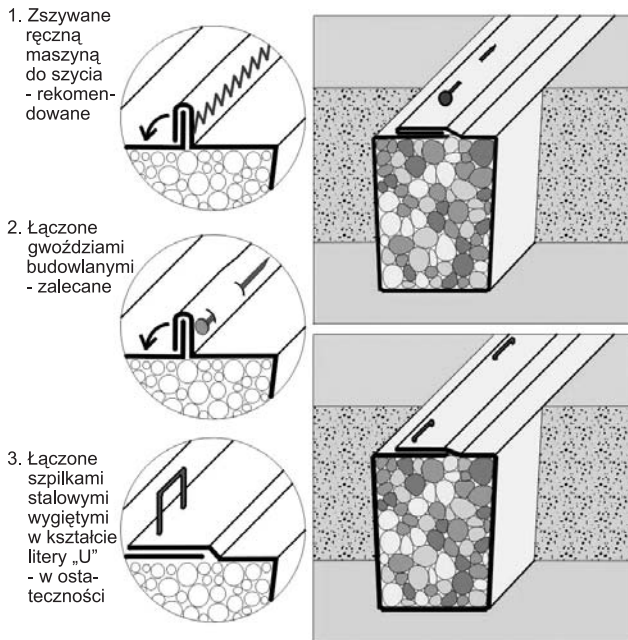
- **materiały mineralne pochodzenia naturalnego, nielasujące się**, o możliwie jednakowej wielkości ziaren (części, kawałków) w granicach od  $\varnothing$  8 mm przez 12, 16, 32, 40 – aż do 63 i więcej milimetrów;

- **materiały pomocnicze**, służące zarówno do uzyskiwania prawidłowych połączeń geowłóknin (procesy szycia, szepiania i szpilkowania – rysunek 3), jak i do uzyskiwania maksymalnych możliwych oszczędności w zużyciu materiałów mineralnych (różnego typu systemy szalunków i ograniczników, używane w procesie budowy tego typu drenów).

Nie zaleca się natomiast stosowania:

- geotkanin, geodzianin, geowłóknin przesywanych oraz geokompozytów z powodu: zbyt dużych (na ogół) porów pomiędzy wątkiem a osnową, niemożności uzyskania prawidłowych połączeń pomiędzy pasmami tych materiałów oraz braku (na ogół) zdolności do przepływu wody wewnątrz struktury tych wyrobów (w płaszczyźnie geosyntetyku). Z tego

\* Członek International Geosynthetics Society



**Rys. 3. Zalecane sposoby zamykania drenów francuskich**

też powodu w krajach położonych w zbliżonej do Polski strefie klimatycznej (Kanada, USA, Skandynawia) w bardzo ograniczonym zakresie dopuszcza się stosowanie włóknin zgrzewanych termicznie wykonanych z poliestru, tym bardziej, że surowiec ten wykazuje stosunkowo dobrą odporność chemiczną jedynie w przypadku kontaktu z cieczami o  $4,0 < \text{pH} < 9,0$ . Tymczasem w budownictwie indywidualnym, kolejniactwie czy drogownictwie mamy do czynienia nie tylko z solą, ale i z kwasami humusowymi i zasadami, stosowanymi np. do stabilizacji gruntów (wapno, cement), w kontakcie z którymi poliestry ulegają bardzo szybko rozkładowi;

- różnego typu zamienników materiałów mineralnych pochodzenia naturalnego, takich jak np. odpadowe żużle i spieki z hut i kopalń oraz zakładów chemicznych, kruszywa z betonów i odpadów szklarskich, syntetyczne piaski uzyskiwane z przemiatu żużli z przemysłu metali nieżelaznych;

- materiałów mineralnych pochodzenia naturalnego o niskiej i średniej odporności na destrukcję wodną (minerały wapienno-magnezowe);

- jw., lecz zawierających więcej niż 3% części drobnych. Zasadą jest, że najmniejsza średnica zastępcza wypełnienia mineralnego **D.F.** wynosi 8 mm.

Charakterystykę wodoprzepuszczalności różnych naturalnych materiałów mineralnych zawarto w tabeli 1; materiały i parametry zalecane do stosowania w konstrukcji **D.F.** wytluszczone.

## Zasady projektowania i wykonywania

Dreny francuskie stosuje się do odwodnień liniowych budowli komunikacyjnych (np. drogi kołowe, kolejowe, prowizoryczne, leśne), liniowych budowli wodnych (np. odpowietrzne drenaże zapór i wałów przeciwpodziowych) oraz dużych połaci terenu (np. place składowe, parkingi). We wszystkich przypadkach należy starać się, aby **D.F.**:

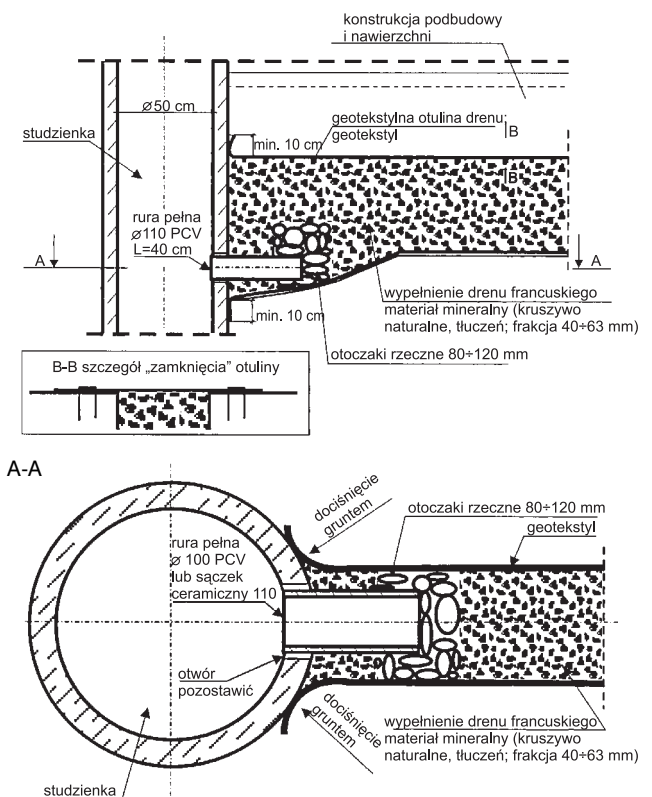
**Tabela 1. Teoretyczna zdolność przepływu wody przez 1 m<sup>2</sup> przekroju pionowego D.F. (bez uwzględnienia oporów przepływu wzdłuż długości drenu)**

Rodzaj wypełnienia:	Przepływ [dm <sup>3</sup> /hxm <sup>2</sup> ]	Przepływ [dm <sup>3</sup> /sxm <sup>2</sup> ]	Szybkość filtracji względnie przepływu liniowego	
			[m/s]	[m/dobę]
(Gлина)	(0,000001)	$2,77 \times 10^{-10}$	$2,77 \times 10^{-13}$	$2,40 \times 10^{-7}$
(Pył kwarcowy)	(0,001)	$2,77 \times 10^{-7}$	$2,77 \times 10^{-10}$	$2,40 \times 10^{-5}$
Piasek drobnoziarnisty	1,1	$3,05 \times 10^{-4}$	$3,05 \times 10^{-7}$	$2,60 \times 10^{-2}$
Piasek gruboziarnisty	110	0,031	$3,10 \times 10^{-5}$	2,64
Żwir o średnicy od 8 do 12 mm	880	0,244	$2,44 \times 10^{-4}$	21,1
Żwir o średnicy od 12 do 25 mm	5600	1,556	$1,56 \times 10^{-2}$	134,4
Tłuczeń o ziarnach od 25 do 40 mm	16 650	4,625	$4,63 \times 10^{-2}$	400,0
Tłuczeń o ziarnach od 31,5 do 63 mm	58 275	16,187	$1,62 \times 10^{-1}$	1400,0

- miały dno zlokalizowane poniżej charakterystycznej dla danego obszaru głębokości przemarzania co najmniej o 0,1 m;

- charakteryzowały się naturalnym spadkiem na całej długości; brak spadku nie jest przeszkodą, natomiast **D.F.** nie jest w stanie dobrze pracować przy spadku odwrotnym do kierunku odprowadzania wody, gdyż wówczas część jego objętości będzie ciągle zalana wodą;

- były zakończone prostym, gładkim przewodem rurowym (nie zaleca się rur karbowanych i perforowanych) albo betonowym elementem w formie kratki, krzyżaka lub perforowanej owalnymi otworami płyty; dodatkowo można wykonać wewnątrzgruntową przymkę z kruszywa



**Rys. 4. Zalecany sposób podłączenia rurowego D.F. do studzienki zbiorczej**

łamanego względnie otoczków o powiększonej szerokości w stosunku do szerokości samego D.F. (rysunek 4);

- odprowadzały wodę do studzienek kanalizacyjnych w sposób pokazany na rysunku 4. Następnie czysta, pozbawiona zawiesiny ciał stałych i dokładnie przefiltrowana woda powinna być kierowana do istniejących systemów odbioru i/lub oczyszczania wód opadowych. W przypadku braku takich systemów wodę można odprowadzać do otoczenia (do istniejących cieków powierzchniowych); ze względu na zamarzanie wód drenażowych w obszarze styku z otoczeniem – poziom ich wprowadzania do cieków wodnych należy sytuować możliwie jak najgłębiej w stosunku do powierzchni wody w cieku.

Najdłuższy pracujący D.F., z jakim miałem do czynienia, ma długość ponad 3000 m (pomiędzy początkiem a punktem podłączenia do odbiornika zewnętrznego) i prowadzi wody z drenażu obszaru 20 ha. W przekroju poprzecznym jego wymiary wynoszą: wysokość  $1,5 \div 1,9$  m; szerokość u podstawy 1,0 m, u góry 1,4 m. Jest więc drenem o bardzo dużym przekroju. Przyjmuje się, że D.F. długości do 1000 m nie powinny narażać problemów z nadmiernym spiętrzeniem wody we wnętrzu drenu; oczywiście przy wypełnieniu ich materiałem mineralnym średnicy  $32,5 \div 63$  mm.

W przypadku spodziewanych dużych wylewów wód z drenowanych obszarów, względnie konieczności odwodnienia dużych zlewni, można we wnętrzu drenu umieszczać drenokolektory  $\varnothing 150 \div 300$  mm; nie zalecam umieszczenia wewnątrz D.F. typowych przewodów drenarskich, takich jak sączki ceramiczne czy karbowane i perforowane rury z tworzyw sztucznych, gdyż wprowadzenie do ich wnętrza już przefiltrowanej na geowłókninie wody wymaga jej odpowiedniego spiętrzenia wewnątrz D.F., niezbędnego do pokonania oporów wpływu przez pory sączków czy też perforacje rur tworzywowych.

Omawiane w artykule systemy drenarskie można podzielić na dwie grupy konstrukcyjne:

- **dreny pionowe**, w których filtracyjnie pracują zasadniczo płaszczyzny pionowe. Powierzchnia górna, tj. obszar zamknięcia drenów, pracuje tylko w pewnych, określonych sytuacjach, np. gdy dren zastępuje rów, gdy zbieramy wody z odwadnianych płaszczyzn (tj. dreny zbiorcze), czy też wówczas, kiedy dren ma za zadanie zbierać głównie wody powierzchniowe i wgłębne (infiltracyjne). Na ogół od dna drenu pionowego nie oczekuje się pełnienia funkcji odwodnieniowych – z wyjątkiem sytuacji, kiedy napięte zwierciadło wód gruntowych ma takie ciśnienie, że jest ono w stanie wprowadzić wodę przez dno do wnętrza drenu;

- **dreny powierzchniowe**, których przeznaczeniem jest odwadnianie poziomych powierzchni i zbieranie w swej grubości zarówno wód wysiękowych (pochodzących z dołu drenu), jak i przenikających przez górną powierzchnię (geowłókninę) tej konstrukcji.

W związku z tym, że na wysokości drenu wpływająca doń woda ma różnicowane ciśnienie, do obliczeń hydraulicznych chłonności drenu przyjęto założenie, że słup wody jest wyniesiony na 0,1 m powyżej górnej płaszczyzny drenu. Przykłady wyników takich

obliczeń dla wielu konkretnych geowłóknin posiadających pełne wyniki badań parametrów (czyli kwalifikowanych) zawarte są w stosownych opracowaniach (R. Edel, 2002; J. Ajdukiewicz, 2003). Bardzo często bowiem zdarza się, że producenci w udostępnianych projektantom charakterystykach technicznych geowłóknin nie podają wszystkich parametrów technicznych i wyników badań przeprowadzonych przez niezależne, uprawnione do badań atestacyjno-certyfikacyjnych jednostki badawcze (np. EMPA Szwajcaria, tBU – Niemcy, BBA – Wielka Brytania), a w szczególności nie podają charakterystycznych wielkości przepuszczalności wody w płaszczyźnie geowłókniny pod znormalizowanymi obciążeniami 2, 20 i 200 kPa. W zasadzie takie niekwalifikowane materiały powinny być przez projektanta eliminowane z dalszych rozważań. Niezbędne jest również przeanalizowanie zachowania się rozpatrywanej geowłókniny w czasie długotrwałej eksploatacji drenu, tj. przez okres kilkadziesiąt lat, ponieważ **żywność drenu powinna być co najmniej taka sama, jak zakładany czas eksploatacji obiektu drogowego**. Cóż z tego, że jakaś włóknina jest tańsza w zakupie od kwalifikowanej, jeżeli już po 2, 5 czy nawet 10 latach jej funkcja filtracyjna zaniknie, grubość pod stałym obciążeniem zmniejszy się do ułamka grubości w chwili zabudowy, a sama geowłóknina przekształci się w wodoszczelną membranę.

Obserwując niefrasobliwość wykonawców w zakupach geosyntetyków i bardzo rzadką reakcję nadzoru inwestorskiego na stosowanie najtańszych, niekwalifikowanych geosyntetyków (zwłaszcza o strukturze gąbczastej) mogę tylko głośno o tych sprawach mówić i ubolewać nad ogromnymi kosztami przyszłych renowacji drenów wykonywanych obecnie z tego typu materiałów.

Projektant, chcąc rzetelnie zaprojektować dren, powinien wykonać bilans przepływowy dla obszaru, który ma być zdrenowany. W tym celu trzeba (identycznie jak w przypadku drenów rurowych) określić wydatek wody drenowanego gruntu oraz wielkość napływu do drenu ewentualnych wód powierzchniowych (w tym opadowych) z przewidzianego obszaru zlewni danego obiektu (odcinka drenu) – odniesionych do jednostki czasu (doba, godzina, minuta, sekunda). Następnie powinien (z grubsza) oszacować wielkość przekroju drenu, aby móc określić wstępne parametry hydrauliczne geowłókniny oraz mineralnego materiału wypełniającego dren geowłókniny. Wykonując taką analizę należy pamiętać, że zastosowana geowłóknina musi:

- odprowadzić napływającą do drenu wodę przy możliwie najmniejszym spadku ciśnienia;
- uniemożliwić wnikanie drobnych cząsteczek przyległego gruntu do rdzenia drenu;
- charakteryzować się wystarczającą wytrzymałością mechaniczną, zapewniającą uniknięcie powstawania uszkodzeń (pęknięć, rys, fałd, dziur) w czasie zabudowy;
- zapewnić stabilną wodoprzepuszczalność – prostopadłą i w płaszczyźnie geowłókniny – przez cały okres użytkowania obiektu.

Po wykonaniu powyższych szacunków przystępuje się do uściślenia parametrów i doboru konkretnego materiału. W tym celu niezbędne jest:

- ustalenie minimalnego i maksymalnego stanu wód gruntowych na obszarze, na którym planuje się budowę **D.F.**, oraz kierunku spadków (spływów) tych wód;

- określenie ziarnistości gruntu rodzimego;

- zbadanie podatności tegoż gruntu na sufozję;

- zdefiniowanie agresywności gruntu i wód gruntowych;

- ustalenie współczynnika (-ów) filtracji podłoża gruntowego, zaś w przypadku gruntów, w których występują laminy, należy określić współczynniki filtracji: pionowy „ $k_v$ ” i poziomy „ $k_h$ ”;

- wyznaczenie (z dużą dokładnością) łącznej wielkości średniego liniowego dopływu wody do drenu, określonej jako „ $q_{dopl}$ ” i zdefiniowanej na ogół w [ $m^3/s \times m$ ]. W celu ustalenia tej wielkości muszą być już znane wymiary geometryczne planowanego przekroju drenu oraz jego długości (liczone pomiędzy wypływami z poszczególnych odcinków danego drenu), a także średni liniowy dopływ wód infiltracyjnych oraz średni liniowy dopływ wód od wierzchu, tj. z obszaru, z którego ewentualnie, po przefiltrowaniu przez górną powierzchnię geowłókniny okalającej **D.F.**, wody opadowe, roztopowe i inne powinny być zbierane przez dany odcinek **D.F.**

Po ustaleniu wymienionych parametrów należy dobrać odpowiedni geosyntetyk oraz zapewnić zgodność właściwości materiału konstrukcyjnego geosyntetyku z agresywnością gruntu i drenowanych wód. Na podstawie danych o przepływach obydwu rodzajów zbieranych przez dren wód można określić wymiary **D.F.**

Należy pamiętać, że w praktyce chłonna jest jedynie ta część wysokości drenu, która jest wypełniona powietrzem. Utworzony w dolnej części drenu słup przepływających ku odbiornikowi wód drenarskich swym ciśnieniem zmniejsza dopływ wody od strony gruntu, a przy niewielkim ciśnieniu po stronie napływu może go wręcz zahamować. Dlatego do projektowania wygodnie jest przyjąć założenie, iż szybkości przepływu przez grunt, geowłókninę i wypełnienie drenu powinny pozostawać w zależności:

$$1 : (5 + 50) : (10 \times 5 + 100 \times 50),$$

co zapewnia zarówno sączenie się wody przez geowłókninę, jak i niski poziom wody wewnątrz **D.F.**, a zatem bardzo dobre warunki przyjmowania wód z otoczenia **D.F.**

Należy podkreślić, że występujące w kraju grunty oraz dostępne dla wykonawców geowłókniny i narzędzia zapewniają bardzo dobre warunki wykonywania długowiecznych i wysokosprawnych **D.F.**

Projektując wymiary drenu należy również brać pod uwagę sprzętowe możliwości przyszłego wykonawcy; w praktyce one głównie decydują o wymiarach transej wykonywanego drenu. Istnieje np. możliwość posługiwania się technologią „frezu bez końca”, importowanego w minionym okresie z ZSRR (frezy 120 i 150 mm na podwoziu traktorów „Białoruś”), lecz nie występują już one zbyt często. Obecnie największe

transeje można uzyskać jedynie za pomocą miniparek produkcji japońskiej, które z kolei mają zazwyczaj zbyt mały wysięg, aby móc wykonać transeje np. głębokości 1,6 m. Zagadnienie to jest jednym z wielu, nad którymi projektant musi się zastanowić, zanim zaprojektuje **D.F.**

Znając geometrię drenu i sumaryczną wielkość napływu wody należy oszacować wielkość przepływu przez przekrój **D.F.**, biorąc pod uwagę podstawową zasadę dobrej i długiej (20 ÷ 100 lat) jego pracy, w myśl której wodoprzepuszczalność geowłókniny w kierunku prostopadłym do jej powierzchni powinna być 10 ÷ 100 razy większa od wartości współczynnika filtracji gruntu i co najmniej 10 razy mniejsza od jednostkowego dopływu do drenu wód powierzchniowych (współczynnik opóźnienia  $\mu < 10$ ), tak aby 15-minutowy deszcz nawalny został przejęty przez **D.F.** w czasie nie dłuższym niż 150 min przy spiętrzeniu wód nad górną powierzchnią drenu o  $\Delta h = 100$  mm. W swoich pracach korzystam ze współczynnika  $\mu = 5$ , co daje jeszcze lepsze wyniki jeżeli chodzi o prędkość osuszania terenu drenowanego; charakterystyki stosowanych przeze mnie geowłóknin pozwalają na uzyskiwanie w początkowym okresie pracy drenu współczynnika  $\mu = 0,2 \div 0,25$ . Chcąc zapewnić układowi drenarskiemu maksymalnie długą żywotność, należy projektować i w praktyce uzyskiwać takie prędkości przenikania wód przez włókninę w kierunku do niej prostopadłym, aby zjawisko było sączeniem się wody, a nie przepływem z pomierzalną szybkością.

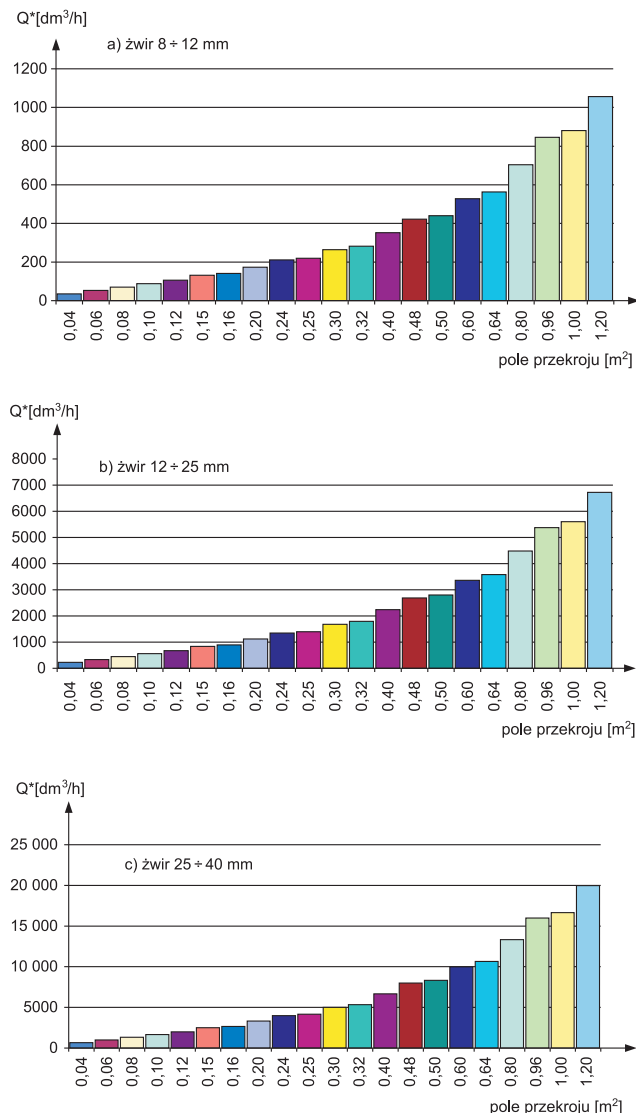
Dobór wypełnienia drenu wykonać można w dwojaki sposób:

- przez założenie czasu przebywania wód drenarskich wewnątrz drenu o znanej długości (wynikającej z możliwości wyprowadzenia określonej długości drenu do odbiornika zewnętrznego lub urządzenia kanalizacyjnego). Przyjmując, że zadaniem **D.F.** jest jak najszybsze i najefektywniejsze odwodnienie obszaru jego działania, należy założyć, iż minimalna teoretyczna (nieuwzględniająca wpływów oporów przepływów wody pomiędzy elementami wypełniającymi **D.F.**) prędkość przepływu będzie wynosiła 100 ÷ 1500 m/dobę. Realnie wartości te będą mniejsze, gdyż w zależności od gradientu hydraulicznego, stopnia wypełnienia **D.F.** przez materiał mineralny, parametrów i kształtów samego wypełnienia, a także bezwzględnej wartości rzeczywistej prędkości przepływu wody przez dren (opory przepływu rosną proporcjonalnie do kwadratu prędkości) – swobodny przepływ wody będzie nieco zdławiony, a rzeczywista prędkość liniowa przepływu wody pomiędzy wypełnieniem **D.F.** nie powinna być mniejsza od prędkości gwarantującej spływ wody wzdłuż całej długości drenu w ciągu 1 ÷ 6 h. W drenach długich (500, 1000 czy 3000 m) czas ten może być odpowiednio dłuższy; nie powinien jednak przekraczać 4 dób;

- przez sprawdzenie wodoprzepuszczalności dobieranego przez projektanta mineralnego naturalnego wypełnienia wnętrza **D.F.** Bardzo często w określonych rejonach kraju decydującym dla inwestora (a zatem i dla projektanta) kryterium jest dostępność i związana z nią cena wypełnienia. Wówczas projektant powinien sprawdzić w co najmniej jednym cha-

rakterystycznym przekroju drenu (najkorzystniej w 1/3 długości, od strony odbiornika), czy i w jakim czasie w narzuconym względami ekonomicznymi wypełnieniu możliwy jest przepływ (dostarczonej do wcześniejszego odcinka D.F.) łącznej ilości wód drenarskich. Bilansując ilości wód dopływających do systemu drenarskiego powinien też sprawdzić, czy będą one w stanie przeniknąć przez warstwę geowłókniny oddzielającej wewnątrz drenu od otaczającego gruntu. W odniesieniu do materiałów, którymi się posługują, projektant może skorzystać z tabel zawartych w książce „Odwodnienie dróg”, R. Edel, 2002, względnie – w przypadku stosowania włókniny F-4M firmy Fibertex – z rysunku 5.

Reasumując: projektowanie D.F. związane jest również z analizą projektową zagadnienia długowieczności sprawnego działania projektowanego obiektu. Stąd specyfikacje typu: „Geowłóknina 300 g/m<sup>2</sup>; k > 5 m/dobę” są kpiną z pracy i wiedzy inżyniera oraz prowadzą do poważnych, negatywnych konsekwencji, od powstawania tzw. kartoffelfeldów (nawierzchni o cha-



Rys. 5. Objętość odprowadzanej przez D.F. wody w zależności od pola poprzecznego przekroju drenu i średnicy mineralnego wypełnienia; dla drenów wykonanych z zastosowaniem geowłókniny F-4M firmy Fibertex

rakterze pola ziemniaczanego) do niekończących się remontów, przy ciągłej niesprawności konstrukcji drogowych.

### Żelazne, niepodważalne warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać geowłókniny stosowane do długowiecznych odwodnień obiektów inżynierskich

Bardzo bogata literatura dotycząca zastosowania geosyntetyków w konstrukcjach drenaży dotyczy na ogół rozpatrywania zagadnień wynikających z analizy sitowej gruntu i jego wodoprzepuszczalności, oraz realnych dopływów wody z tranzei drenarskiej do wnętrza drenu wskroś geowłókniny. Rozpatruje się też zagadnienia kolmatacji i sufozji części gruntu wewnątrz geowłókniny (w jej porach). Tylko niektóre pozycje literaturowe (w tym opracowania autorów kanadyjskich, amerykańskich i szwajcarskich) zwracają uwagę na fundamentalne zasady projektowania i wykonywania drenażu sprawnego przez wiele dziesiątków lat. Na bazie tych właśnie opracowań i przemysłań oraz po przeniesieniu danych liczbowych z układu anglosaskiego do obowiązującego w Polsce układu metrycznego, sporządzono przedstawione w artykule zasady doboru geowłókniny do D.F. Jest to z praktycznego punktu widzenia o tyle istotne, że ze względu na:

- różnicowanie rodzajów występujących w Polsce gruntów;
- brak rozwiniętego systemu badań gruntów przed rozpoczęciem projektowania;
- brak laboratoriów polowych i możliwości wykonywania badań kontrolnych w trakcie realizacji robót;
- zasady rządzące przetargami w ramach zamówień publicznych;
- znikome różnice cen pomiędzy poszczególnymi geowłókninami kwalifikującymi się do stosowania w konstrukcji D.F., w stosunku do ponoszonych kosztów robót ziemnych, naukowe recepty oparte na sitowej analizie gruntu (przez badanie zależności pomiędzy np. charakterystyczną wielkością porów geowłókniny a wielkościami charakterystycznymi dla danego gruntu, takimi jak  $d_{85}$ ;  $d_{60}$ ;  $d_{15}$ ;  $d_{10}$ , a także ich wzajemnymi relacjami, np.  $d_{60}/d_{10}$ ) w zasadzie uniemożliwiają proste i – co ważniejsze – niezawodny dobór geowłókniny do konkretnych warunków gruntowych. W związku z tym inżynierowie praktycy, razem z naukowcami posiadającymi praktyczne wdrożenia wyników swoich prac badawczych i naukowych, doprowadzili (po długich dyskusjach i sporach) do opracowania w miarę prostego, a jednocześnie w pełni sprawdzającego się w praktyce, systemu doboru włókien nietkanych, igłowanych do instalacji odwodnieniowych i drenażowych: „**Żelaznych, niepodważalnych warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać geowłókniny nietkane, igłowane, stosowane do odwodnień obiektów inżynierskich**”.

Punktem wyjścia do doboru właściwych włókien jest sprawdzenie, czy dana włóknina pod obciążeniem 20 kPa ma wodoprzepuszczalność poziomą co

najmniej  $k_h > 15 \times 10^{-4}$  [m/s] przy gradiencie hydraulicznym  $i = 1$ . Jeżeli nie, to taki materiał odrzuca się. Jeżeli tak, to bada się dalsze współzależności parametrów zaczynając od rozstrzygnięcia, czy grubość analizowanego wyrobu pod obciążeniem 20 kPa mieści się w granicach 1,4 ÷ 3,2 mm. Jeżeli nie, wyrób odrzuca się, jeżeli tak, bada się z kolei zależności proporcji wodoprzepuszczalności poziomej (wewnątrz przekroju danej włókniny) dla 200; 20 i 2 kPa. Analogicznie bada się zmienność grubości materiału pod obciążeniem. Geowłóknina kwalifikuje się do pracy w długowiecznym **D.F.**, jeżeli poszczególne proporcje parametrów mieszczą się w granicach ujętych w „Żelaznych, niepodważalnych warunkach technicznych, jakim powinny odpowiadać geowłókniny nietkane, igłowane, stosowane do odwodnień obiektów inżynierskich”. Tak dokonany dobór geowłókniny gwarantuje, że w normalnym środowisku gruntowym ( $4,0 < pH < 9,0$ ) będzie ona pracować długowiecznie: do 100 lat w gruntach piaszczystych, piaszczysto-żwirowych i podobnych; do 40 lat w gruntach gliniastych, ilastych oraz piaszczysto-gliniastych z przewagą cząstek gliniastych i gliniasto-ilastych. W przypadku gruntów organicznych, gytii itp. opisane zasady nie w pełni znajdują zastosowanie, aczkolwiek dobrane zgodnie z nimi włókniny pracują również i w tego typu gruntach dłużej aniżeli jakiegokolwiek inne geosyntetyki.

Przedstawiając zasady projektowania długowiecznych układów drenarskich o charakterze **D.F.**, nie deprecjonuję ani nie dyskwalifikuję wyrobów geosyntetycznych, które są:

- geowłókninami tkanymi ze splotu różnej długości włókien, względnie z pasemek lub innych form ukształtowania materiału włókienniczego;

- tkaninami;

- wyrobami geosyntetycznymi ze zgrzewanych ze sobą włókien, przez co współczynnik wodoprzepuszczalności wewnątrz i wzdłuż grubości takich wyrobów jest bliski zera;

## Żelazne, niepodważalne warunki techniczne, jakim powinny odpowiadać geowłókniny nietkane, igłowane, stosowane do odwodnień obiektów inżynierskich

1. Wynikiem wykorzystania inżynierii materiałowej w technologii produkcji odpowiadających poniżej podanym kryteriom geowłóknin jest ich idealne sprawowanie się w aplikacjach:
  - drenaże, a w szczególności drenaże francuskie;
  - warstwy separacyjne, filtracyjne, drenażowe oraz rozpraszające naprężenia w obiektach budownictwa ziemnego;
  - drenaże i zabezpieczenia pod- i nadmembranowe.
2. Woda w geowłókninie powinna przemieszczać się poprzez ogromną ilość porów, lecz ze znikomą prędkością w każdym z nich.
3. Stosunek wartości wodoprzepuszczalności w kierunku poziomym w płaszczyźnie geowłókniny do wodoprzepuszczalności w kierunku do niej prostopadłym nie powinien (odpowiednio, przy identycznym obciążeniu: 2, 20 czy 200 kPa) być nigdy mniejszy niż:

$$\frac{k_h}{k_v} \min \geq 1,2;$$

korzystnie, jeżeli  $k_h/k_v = 1,5$ ; bardzo dobrze, jeżeli  $k_h/k_v \geq 2,0$ .

4. Przyjmując wodoprzepuszczalność poziomą w płaszczyźnie geowłókniny przy obciążeniu 20 kPa za 1,0, po wstępnym doborze należy sprawdzić, czy dla danego wyrobu wartości tej wodoprzepuszczalności przy różnym obciążeniu spełniają niżej podane zależności (dla gradientu hydraulicznego  $i = 1$ ):

Obciążenie [kPa]	2	20	200
Wodoprzepuszczalność w kierunku poziomym w płaszczyźnie geowłókniny [m/s x 10 <sup>-4</sup> ]	(1,80 ÷ 1,33) do 1,00 do (0,40 ÷ 0,25)		

a jednocześnie:

Grubość geowłókniny igłowanej, nietkanej [mm]	(1,40 ÷ 1,08) do 1,00 do (0,80 ÷ 0,55)
---	--

Powyższe jest zasadą dla wyrobów KWALIFIKOWANYCH przy ich:

- wodoprzepuszczalności poziomej  $k_h \geq 15 \times 10^{-4}$  m/s przy  $i = 1$  oraz
  - grubości co najmniej 1,4 ÷ 3,2 mm
- mierzonych pod obciążeniem 20 kPa;

Uwaga: cyfry na drugim miejscu po przecinku wynikają z przeliczeń z anglosaskiego systemu miar na system metryczny

- wyrobami typu non-woven, ale uzyskiwanymi technologiami kształtującymi wewnątrz przekroju wyrobu w formie gąbki, a więc nieposiadającymi w technologii produkcji procesów kolejnego, następującego bezpośrednio po sobie igłowania i zdwania względnie zwielokrotniania pasm produkowanych w głowicach filierowych włókien z tworzyw poliolefinowych (PE i PP).

Wyroby te mają niewątpliwie w pierwszym okresie po wbudowaniu wystarczające parametry. Problem w tym, że okresy te są stosunkowo krótkie – od kilku dni (czasem godzin) do kilkudziesięciu miesięcy; na ogół okres sprawności technicznej tych wyrobów nie przekracza dwóch lat.

W czasie swych dziesięcioletnich doświadczeń i aplikacji stosowałem również – oprócz preferowanych przeze mnie geowłóknin – wiele innych wyrobów geosyntetycznych, zróżnicowanych ze względu na budowę i technologię produkcji. W wyniku analizy tych doświadczeń nie neguję możliwości stosowania różnych innych wyrobów, wysuwam jednak finalną tezę o pełnej przydatności geowłóknin nietkanych, igłowanych, wykonanych z włókien polipropylenowych w procesie produkcji,

w którym igłowanie i zdwanie (względnie zwielokrotnianie) są podstawą uzyskiwania labiryntowej struktury porów, wytrzymałej na siły ściskające (po zabudowie w gruncie), dzięki czemu wyroby te nie tracą więcej niż 20% swych właściwości filtracyjnych przez 100 lat w gruntach piaszczystych i żwirowych i przez 40 lat w gruntach gliniastych i ilastych.

Każdy z projektantów może z tej wiedzy skorzystać lub nie. Artykuł ten kieruję do tych, którzy chcą, aby po Polsce podróżowano dobrymi i trwałymi drogami, a nie takimi, na których kiepską jakość skazuje nas przysłowiowa bylejakość, brak wiedzy, żle pojęta oszczędność, czy wreszcie indolencja i głupota. Dedykuję go zaś decydom, nadzorcom, autorom „Specyfikacji”, a wreszcie – projektantom, od których woli i wiedzy przede wszystkim zależy, jakie będą przyszłe polskie drogi.

Druka część artykułu w numerze 11/2004