

# DuPont™ Typar SF

Geowłóknina

## PODRĘCZNIK TECHNICZNY

### WPROWADZENIE DO TYPAR®

---

1.1. Wprowadzenie	3
1.2. Jakość DuPont	3
1.3. Co to jest Typar® SF?	3
1.4. Produkcja włókna Typar®	4
1.5. Typowe charakterystyki	5



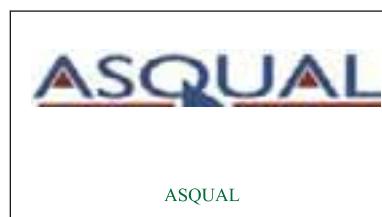
**Konsultacje wydania polskiego:  
dr inż. Mieczysław M. Kania**

## 1.1. Wprowadzenie

Celem tego podręcznika jest przekazanie podstawowych wiadomości na temat geowłóknin, ich zastosowań oraz właściwości wymaganych dla różnych aplikacji. Zawiera on informacje dotyczące projektowania, wyboru i wykorzystania geowłóknin w budownictwie lądowym i wodnym, takim jak np. tworzenie warstw podbudowy z kruszywa, czy systemów odwodnieniowych i zabezpieczenia przed erozją. Podano również opis metod badań właściwości geowłóknin i ich dane techniczne. Szczegóły dotyczące pełnej gamy geosyntetycznych produktów Typar® firmy DuPont można znaleźć w naszej broszurze Typar® SF i Typar® HR oraz na stronie internetowej [www.typargeo.com](http://www.typargeo.com). Dodatkowe porady i pomoc techniczną można uzyskać w centrum technicznym działu geosyntetyków DuPont.

## 1.2. Jakość DuPont

Od prawie dwóch wieków DuPont przewodzi przemysłowi dzięki takim materiałom jak Nylon, Kevlar®, Tyvek® i Teflon®. Doskonałość techniczna i standard jakości, które nie mają sobie równych: to tylko dwa z powodów, dzięki którym DuPont Typar® Geosyntetyki zapewnia długoterminową niezawodność zastosowań w budownictwie lądowym. Wynaleziona 30 lat temu i produkowana w zakładach DuPont w Luksemburgu, geowłóknina Typar® SF dowiodła swej wysokiej jakości i sprawdziła się w wieloletnim działaniu. Ze sprzedażą ponad 1 miliarda m<sup>2</sup> na całym świecie, geowłókniny Typar® były używane przy budowie dróg, torowisk kolejowych i innych powierzchniowych obiektów budowlanych, równoważnych sześciopasmowej autostradzie o szerokości 23 m, poprowadzonej wokół globu. Geowłóknina Typar® jest produkowana zgodnie ze standardami ISO 9001. Surowe wymagania jakościowe DuPont zapewniają, że tylko wysokiej jakości produkty są dopuszczane do sprzedaży. Systemowe zintegrowanie produkcji i badań laboratoryjnych gwarantują, że warunki procesu wytwórczego i wyniki badań laboratoryjnych każdej rolki geowłókniny są możliwe do prześledzenia. System ochrony środowiska firmy DuPont jest zgodny z wymogami standardów EMAS (Eko-Management and Audit Scheme) jak również z konwencją ISO 14001. Ponadto geowłóknina Typar podlega wielu różnym systemom certyfikatów, takim jak: francuski ASQUAL i niemiecki audit zewnętrzny „Fremdüberwachung DIN 18200”.



## 1.3. Co to jest Typar® SF?

Typar® SF jest to cienka, nietkana, łączona termicznie i wodoprzepuszczalna geowłóknina wykonana w 100% z ciągłych włókien polipropylenowych. W celu osiągnięcia najwyższej jakości jest tak zaprojektowana, że łączy w sobie następujące cechy: duży moduł początkowy (sztywność), dużą rozciągliwość (zwykle >50%) i znakomitą jednorodność. Dzięki temu jest odporna na uszkodzenia i posiada rewelacyjne właściwości filtrujące. Typar® SF jest materiałem izotropowym, co oznacza, że jego właściwości fizyczne są jednakowe we wszystkich kierunkach. Jest to celowe dostosowanie do stanów naprężeń i odkształceń występujących w typowych aplikacjach. Również fakt, że geowłóknina Typar SF jest wykonana w 100% z polipropylenu, sprawia, że jest ona odporna na butwienie, zawilgocenie i działanie związków chemicznych, a w szczególności zasad.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> DQS Deutsche Gesellschaft zur Zertifizierung von Managementsystemen mbH

<sup>2</sup> BVQI Bureau Veritas Quality International

<sup>3</sup> szczegółowe dane dotyczące odporności na związki chemiczne znajdują się w rozdziale 7.7

## 1.4. Produkcja włókna Du Pont Typar®

W procesie ekstruzji powstają tysiące bardzo cienkich, ciągłych włókien, które przechodzą opatentowany przez DuPont etap „wstępnego wyprężania”. Te cienkie, ale wytrzymałe włókna są następnie układane (Rys. 1) tworząc jednorodną powierzchnię włóknistej pajęczyny, która następnie jest termicznie i mechanicznie zespajana



Rys. 1: Układanie włókien

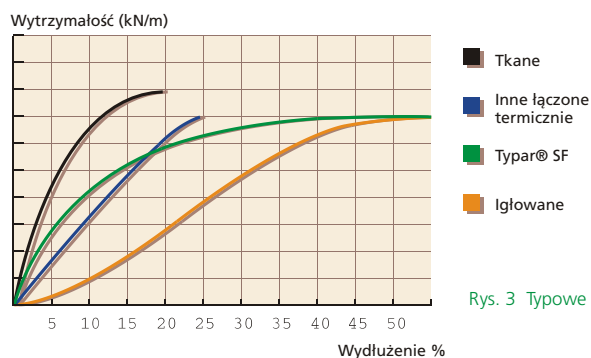


Rys. 2: Typar® - obraz pod mikroskopem

Odpowiednie zmiany warunków procesu technologicznego pozwalają na wytwarzanie szerokiej gamy nietkanych, wysoko wytrzymałych struktur Typar® o zróżnicowanych właściwościach. Ta opatentowana przez DuPont technologia jest jedną z głównych przyczyn, dzięki którym Typar® SF posiada wyjątkowe właściwości w porównaniu z innymi geowłókninami.

## 1.5. Typowe charakterystyki

Poniższy Rys. 3 przedstawia typowe zależności „naprężenie-odkształcenie” kilku geowłóknin o podobnej gęstości. Typar® SF posiada wysoką wytrzymałość na rozciąganie, dużą zdolność wydłużania, jak również wysoki moduł początkowy, co stanowi idealne połączenie właściwości koniecznych podczas stosowania geosyntetyków.



Rys. 3 Typowe krzywe „naprężenie-odkształcenie”

	Typar® SF	Tkane	Iglowane włókna cięte	Iglowane ciągłe	Inne łączone termicznie
Energia	wysoka	niska	średnia	średnia	bardzo niska
Wytrzymałość na rozciąganie	wysoka	bardzo wysoka	średnia	wysoka	wysoka
Moduł początkowy	wysoki	wysoki	bardzo niski	niski	wysoki
Zdolność do wydłużenia	wysoka	niska	wysoka	wysoka	niska

Tab. 1 Własności krzywych „naprężenie-odkształcenie” dla kilku typów geowłóknin.

# FUNKCJE I WYMAGANIA

---

2.1. Wprowadzenie	6
2.2. Separacja	6
2.3. Stabilizacja i wzmocnienie	7
2.3.1. Ograniczenie swobody ruchu	7
2.3.2. Mechanizm membranowy	7
2.3.3. Wzmocnienie miejscowe	7
2.4. Filtracja	8
2.5. Drenaż	9
2.6. Ochrona	9
2.7. Odporność na uszkodzenia podczas wbudowywania	9
Absorpcja energii	10

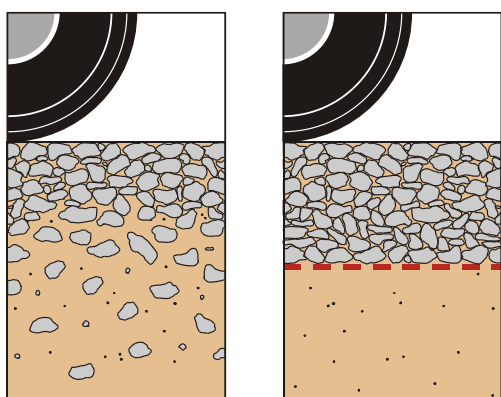
## 2. FUNKCJE I WYMAGANIA

### 2.1. Wprowadzenie

W zależności od zastosowania, główne zadanie geowłókniny zmienia się od separacji poprzez filtrowanie, wzmocnienie, ochronę aż do stabilizacji. Wielokrotnie wymagane jest połączenie kilku z tych funkcji. Zwykle dodatkowym wymogiem jest odporność na uszkodzenia podczas wbudowywania. Celem tego rozdziału jest wyjaśnienie podstawowych aspektów technicznych tych funkcji i wymagań w odniesieniu do geowłókniny, oraz mechanizmów towarzyszących każdej funkcji. Powinno to pomóc w prawidłowym doborze geowłókniny odpowiednio do realizowanego zadania. Nie jest to łatwe, gdyż oddziaływania między wieloma powiązаныmi czynnikami, takimi jak właściwości mechaniczne i hydrauliczne, zamulanie (kolmatacja), struktura, czas i degradacja itd., są dość skomplikowane.

### 2.2. Separacja

Separacja jest definiowana jako: „ Zapobieganie wzajemnemu mieszanemu się sąsiednich, różnych od siebie gruntów i/lub materiałów wypełniających, dzięki użyciu geowłóknin lub produktów pokrewnych”<sup>4</sup>. Głównym obszarem zastosowań geowłókniny jako separatora jest budowa dróg i torowisk dróg szynowych. Użycie geowłókniny zachowuje i polepsza integralność oraz funkcje różnych materiałów. Po ułożeniu podbudowy z kruszywa na miękkim gruncie, w wyniku pionowego obciążenia zachodzą dwa zjawiska:



Rys. 4: Lewy: Bez geowłókniny utrata kruszywa poprzez wnikanie w miękkie podłoże. Prawy: Z geowłókniną brak utraty kruszywa, lepsze zagęszczenie.

1. Przede wszystkim geowłóknina zapobiega wnikaniu ziaren kruszywa w miękką warstwę podłoża (Rys. 4). W bardzo dobry sposób ilustruje to pewne inżynierskie powiedzenie: „10 kg kamieni położone na 10 kg błota daje 20 kg błota”. Geowłóknina rozgranicza podbudowę z kruszywa i słaby grunt, a tym samym umożliwia osiągnięcie wyższego stopnia zagęszczenia oraz większej nośności podbudowy.

2. Ponadto geowłóknina zapobiega zanieczyszczeniu podbudowy z kruszywa cząsteczkami gruntu podłoża, co eliminuje redukcję nośności. Migrowanie drobnych cząsteczek gruntu w głąb czystej warstwy kruszywa zachodzi w szczególności przy obciążeniach dynamicznych i jest znane jako „efekt pompujący”. Te cząsteczki działają jak smar pomiędzy większymi ziarnami kruszywa i w ten sposób znacznie redukują wytrzymałość całej warstwy.

Nie zanieczyszczone kruszywo efektywniej spełnia także swoją rolę drenującą, jak również zachowuje większą odporność na przemarzanie.

Geowłóknina w ramach swojej funkcji separacyjnej zapewnia:

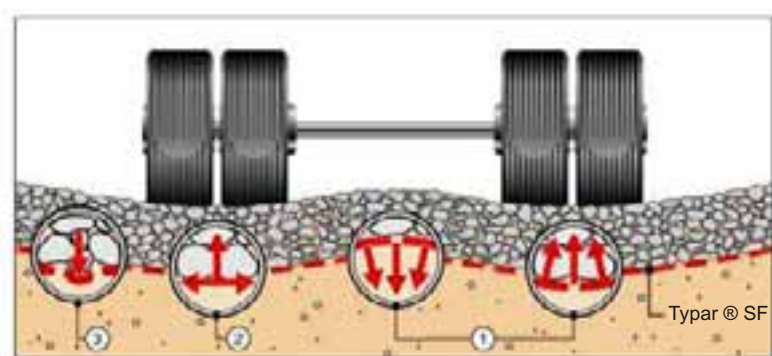
- Zapobieganie redukcji nośności, spowodowanej mieszanym się warstwy drobnoziarnistego podłoża z warstwą gruboziarnistego kruszywa.
- Zwiększenie nośności dzięki uniemożliwieniu przenikania ziaren kruszywa w głąb słabego gruntu i podniesieniu stopnia zagęszczenia.
- Redukowanie niszczenia drogi w wyniku jej przemarzania (ograniczenie zjawisk wysadzinowych).
- Uniknięcie konieczności usuwania słabej warstwy gruntu.
- Utrzymanie pełnych zdolności drenujących warstwy podbudowy z kruszywa.
- Zapobieganie migracji drobnych cząstek gruntu, szczególnie przy obciążeniach dynamicznych.

<sup>4</sup> EN ISO 10318

## 2.3. Stabilizacja i wzmocnienie

W wielu przypadkach geowłóknina spełnia funkcję stabilizującą i wzmacniającą.<sup>5</sup> Funkcja stabilizująca geowłókniny polega na zapewnieniu gruntem wytrzymałości na rozciąganie, której grunty praktycznie nie mają. Istnieją trzy odrębne mechanizmy działania geowłókniny, które stabilizują podbudowę z kruszywa i zwiększają jej odporność na długotrwałe deformacje pod wpływem powtarzających się obciążeń (jak pokazano na Rys. 5 poniżej):

- ① Ograniczenie swobody ruchu
- ② Mechanizm membranowy
- ③ Wzmocnienie miejscowe



Rys. 5: Trzy mechanizmy stabilizacji

Im większy moduł początkowy geowłókniny, tym mechanizmy te są efektywniejsze. Geowłókniny o niskim module początkowym będą ulegać większym deformacjom i w niewielkim stopniu będą mobilizować wystąpienie pozostałych mechanizmów: ograniczenia swobody ruchu, membranowego oraz miejscowego wzmocnienia. Wysoki moduł początkowy oraz zdolność do wydłużania są istotne, gdyż pozwalają wytrzymać duże miejscowe deformacje i przeciwdziałają przebiciu.

### 2.3.1. Ograniczenie swobody ruchu

Jak przedstawiono na rys. 5 powyżej, istnieją dwa rodzaje ograniczenia swobody ruchu. Jeden związany z odwróconą krzywizną geowłókniny na zewnątrz śladu kół pojazdów, gdzie występuje nacisk skierowany w dół. Tworzy to efekt dodatkowego obciążenia, który wyrównuje deformacje i wymusza ścisnienie podłoża gruntowego. Drugi rodzaj ograniczenia swobody ruchu, dzięki geowłókninie występuje tam, gdzie zachodzi wypieranie ziaren kruszywa pod naciskiem kół. Geowłóknina zapewnia warstwie podbudowy z kruszywa przyrost wytrzymałości na rozciąganie. To ograniczenie swobody ruchu ziaren kruszywa zwiększa wytrzymałość i moduł warstwy podbudowy, co z kolei zmniejsza naprężenia ściskające przekazywane na podłoże, poprzez lepsze rozłożenie nacisków od kół pojazdu.

### 2.3.2. Mechanizm membranowy

Mechanizm membranowy występuje, gdy geowłóknina jest ułożona na odkształcalnym gruncie i przyłożone są obciążenia pionowe. W geowłókninie powstają naprężenia rozciągające, odciążając grunt, który sam nie jest w stanie ich przenieść. Te siły występujące w płaszczyźnie geowłókniny, wywołują powstanie składowej naprężenia prostopadłej do płaszczyzny geowłókniny. Ma to wielkie znaczenie podczas budowy dróg tymczasowych, gdzie w ogromnym stopniu redukuje tworzenie się kolein. Im większy moduł początkowy geowłókniny, tym bardziej możliwe jest ograniczenie powstawania kolein.

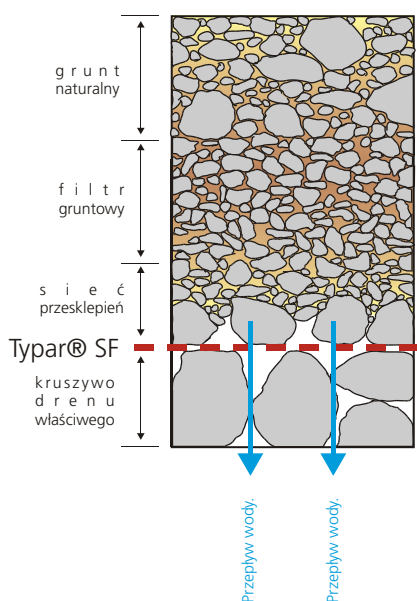
### 2.3.3. Wzmocnienie miejscowe

Obciążenia działające na pojedyncze kamienie warstwy kruszywa mogą spowodować miejscowe uszkodzenia. Geowłóknina o wysokim module początkowym pozwala na rozłożenie obciążenia na większą liczbę ziaren kruszywa, zmniejszenie naprężenia i zwiększenie odporności na przemieszczenie. Wysoka rozciągliwość pozwala na uniknięcie miejscowego przebicia, ponieważ umożliwia geowłókninie rozciągnięcie się w sąsiedztwie penetrującego kamienia.

<sup>5</sup> Dodatkowe informacje i szczegóły o wykorzystaniu geowłóknin w konstrukcjach z gruntu zbrojonego można znaleźć w poradniku o projektowaniu z produktu Typar® HR. Typowe zastosowania konstrukcji z gruntu zbrojonego, to ściany oporowe, strome zbocza, naprawa zboczy osuwiskowych, nasypy na gruntach słabych, zbrojenie gruntu pod fundamentami, wykonywanie przejść z gruntu zbrojonego nad pustkami w podłożu, np. na terenach krasowych, ... itd.

## 2.4. Filtracja

Filtracyjna funkcja geowłókniny definiowana jest jako: „Ograniczenie ruchu gruntu lub innych cząsteczek poddanych działaniu sił hydrodynamicznych, przy jednoczesnym umożliwieniu przepływu cieczy przez, lub w głąb geowłókniny albo innego produktu pochodnego”.<sup>6</sup> Do określenia własności filtracyjnych geowłókniny zwykle używa się parametrów wodoprzepuszczalności i wymiaru otworów. Wielkość porów geowłókniny powinna być dostatecznie mała aby zatrzymać większe cząstki gruntu, przeciwdziałając jego erozji. Początkowo małe cząsteczki gruntu muszą przechodzić przez geowłókninę w celu umożliwienia powstania „sieci przesklepień” składającej się z większych cząstek, które działają jako dodatkowy naturalny filtr gruntowy towarzyszący geowłókninie (Rys. 6). Jeżeli rozmiar porów geowłókniny będzie zbyt mały, to wówczas drobne cząsteczki nie będą mogły być wypłukane i wytworzona „sieć przesklepień” o małych wymiarach będzie stanowiła naturalną barierę z gruntu o niższej wodoprzepuszczalności.

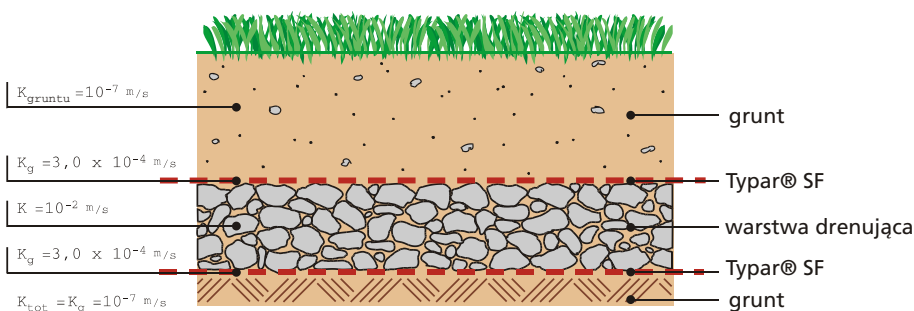


Efektywny filtr geotekstylny musi mieć pory o różnych kształtach i wymiarach, a ich rozkład musi być podobny do uziarnienia gruntu. Często nie zwraca się uwagi na fakt, że wodoprzepuszczalność całego systemu warstw kruszywa i podłoża (Rys. 7), zależy od warstwy o najmniejszej wodoprzepuszczalności. Zwykle wodoprzepuszczalność gruntu jest znacznie niższa niż geowłókniny.<sup>7</sup>

Typowe wodoprzepuszczalności gruntu<sup>8</sup>:

żwir	$3 \times 10^{-2}$ m/s	piasek	$10^{-4}$ m/s
pył	$10^{-9}$ m/s	ił	$10^{-9}$ m/s

Rys. 6: Naturalny filtr gruntowy towarzyszący geowłókninie



Rys. 7: System drenażowy, grunty i geowłóknina o różnej wodoprzepuszczalności. O wielkości  $K_{tot}$  decyduje warstwa gruntu o najmniejszej wodoprzepuszczalności.<sup>9</sup>

Wodoprzepuszczalność geowłókniny zależy także od jej ściśliwości. Ogólnie grube geowłókniny są podatne na ściskanie, co należy brać pod uwagę przy wyborze geowłókniny o wymaganej wodoprzepuszczalności. Sama grubość jest raczej własnością opisową niż parametrem projektowym<sup>10</sup>. Funkcja filtracyjna geowłókniny związana jest z budową tam, grobli, przeciwdziałaniem erozji, odwodnieniem dróg i podłoża gruntowego. Geowłóknina zastępuje wówczas tradycyjny filtr ziarnisty. W systemach przeciwdziałania erozji brzegów rzecznych albo zboczy ziemnych, gruby materiał (gabiony albo narzuty kamienne) lub płyty betonowe są używane do ograniczenia szkodliwości działania fal lub przepływu wody. Zastosowanie geowłókniny jako filtra zapobiega erozji drobnych cząsteczek gruntu.

<sup>6</sup> EN ISO 10318

<sup>7</sup> z wyjątkiem grubego piasku i żwiru

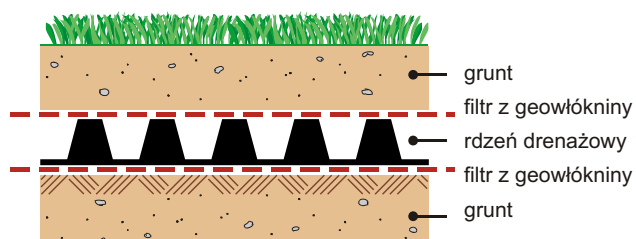
<sup>8</sup> czytaj w aneksie 7.10 więcej szczegółów na temat wodoprzepuszczalności gruntu

<sup>9</sup> o wodoprzepuszczalności zobacz także 4.4.2

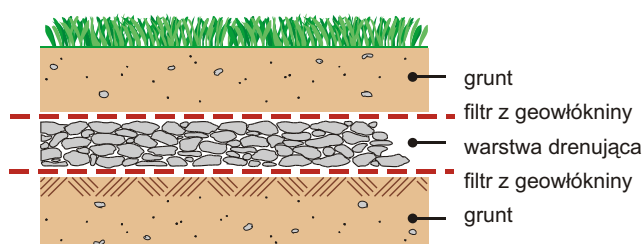


## 2.5. Drenaż

Tradycyjnie do regulacji i usuwania wody z podłoża używano naturalnych materiałów o stopniowanej granulacji. Przez ostatnie 30 lat wzrastało zastosowanie filtrów z geowłóknin, zwiększających naturalne możliwości drenażu gruntów słaboprzepuszczalnych. Geowłóknina nie powinna być używana bezpośrednio jako samodzielna warstwa drenażowa, nawet gdyby jej zdolności drenażowe mogły być zmierzone w laboratorium przy użyciu czystej wody, ponieważ w rzeczywistych warunkach (grunt zatrzymany wewnątrz jej struktury), odwodnienie przez geowłókninę jest nieprzewidywalne. Ważne jest również dla systemu odwodnienia, aby przez długi czas był w stanie utrzymywać swoje właściwości, nawet pod wpływem dużych nacisków gruntu. Aby uniknąć zapychania się i zanieczyszczenia warstwy drenażowej, w systemie odwodnienia należy zawsze umieścić filtr.



Rys. 8: Element drenażu złożonego (geokompozytu)



Rys. 9: Konwencjonalna warstwa drenażu z kruszywa

Okazuje się, że dreny syntetyczne zawierające filtr z geowłókniny, są bardzo ekonomiczną alternatywą dla tradycyjnych drenów piaskowych, sączków i innych systemów odwadniających. Geosyntetyczne maty drenażowe czy dreny robione są zwykle z rdzenia zawartego pomiędzy filtrami z geowłókniny (Rys. 8). Materiał filtra musi wykazywać się odpowiednią jakością i właściwościami fizycznymi, znakomitą wytrzymałością i trwałością, dobrą odpornością na naprężenia montażowe oraz musi zapewniać długotrwałe poprawne działanie. Złe działanie lub przedwczesne zużycie systemu odwadniającego może spowodować poważne zagrożenie dla bezpieczeństwa i prawidłowego działania konstrukcji ziemnej, przy budowie której został użyty. Uszkodzenie drenażu może powodować konieczność zastosowania kosztownej naprawy i towarzyszącej temu przerwy w funkcjonowaniu obiektu.

Tak więc jest bardzo istotne, aby użyty materiał mógł efektywnie funkcjonować przez długi czas, nawet w przypadku gruntów stwarzających największe zagrożenie.

## 2.6. Ochrona

Funkcja ochronna definiowana jest jako: „Zapobieganie lub ograniczanie miejscowego uszkodzenia danego elementu czy materiału przez zastosowanie geowłókniny lub innego produktu pochodnego”.<sup>10</sup> Geowłóknina zwykle używana jest jako ochrona geosyntetycznych barier w składowiskach odpadów, konstrukcjach dachowych, obiektach hydrotechnicznych itp. Najważniejszymi właściwościami geowłókniny, które pozwalają jej na spełnienie funkcji ochronnej są odporność na przebicie i jednorodność produktu (tzn. brak słabych miejsc). Ponadto specjalne testy odporności na przebicie<sup>11</sup> wykazały, że takie własności jak tylko odpowiednia grubość i gramatura produktu nie zapewniają wystarczającej jakości funkcji ochronnej.

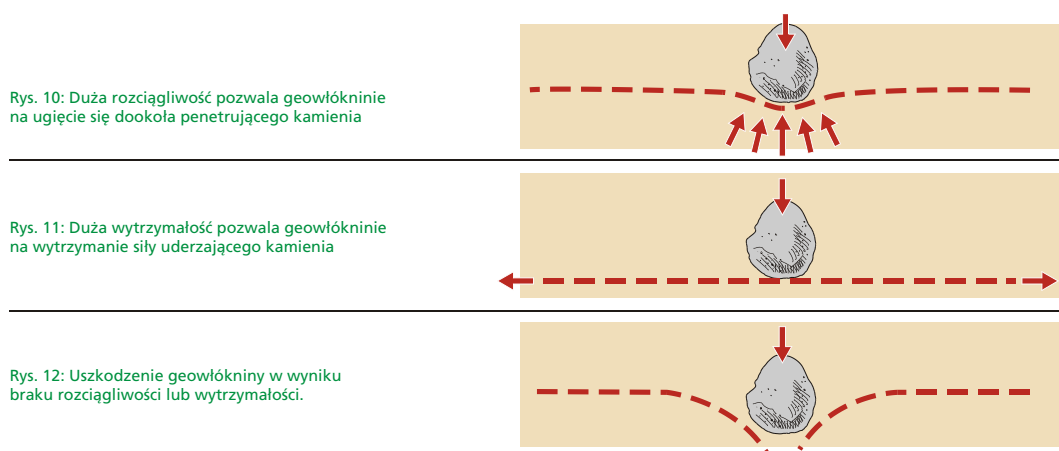
## 2.7. Odporność na uszkodzenia podczas montażu

Geowłóknina nie wypełni żadnej ze swoich funkcji, jeśli zostanie uszkodzona podczas lub bezpośrednio po zakończeniu wbudowywania. Analizy wykazują, że krytyczny dla geowłókniny okres przypada raczej na czas budowy, niż na fazę użytkową. Tak więc 95% uszkodzeń zwykle zachodzi podczas procesu wbudowywania, bardzo często w wyniku uderzeń w trakcie rozładunku i zagęszczania kruszywa. Z reguły, jeżeli geowłóknina przetrwa naprężenia związane z montażem, to również przetrwa naprężenia występujące w czasie jej eksploatacji. Podjęto obszernie badania mające na celu zrozumienie zależności pomiędzy fizycznymi właściwościami geowłóknin separujących, a ich rzeczywistym zachowaniem się w terenie. Badania te potwierdziły ściśle powiązanie zdolności geowłókniny do pochłonięcia energii uderzenia i jej podatności na uszkodzenia podczas budowy<sup>11</sup>.

<sup>10</sup> EN ISO 10318

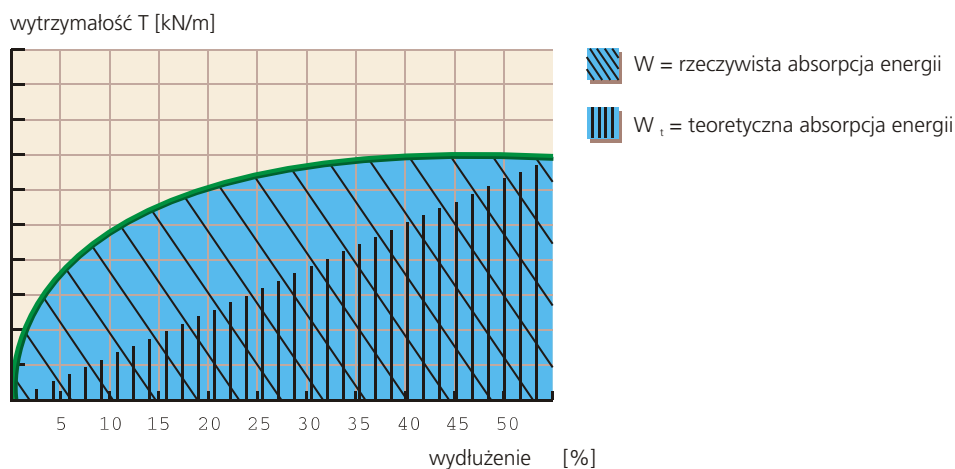
<sup>11</sup> badanie punktowe odwzorowujące warunki terenowe, opracowane przez DuPont i przeprowadzane w fabrycznym laboratorium kontroli jakości DuPont Typar®.

Poniższe rysunki pokazują różne formy uszkodzeń geowłókniny i znaczenie dużego potencjału absorpcji energii:



## Absorpcja energii

Potencjał absorpcji energii ( $W$ ) geowłókniny można opisać jako połączenie jej rozciągliwości i wytrzymałości. Poniższy wykres (Rys. 13) ilustruje to pojęcie: pokazuje różniące się kształty rzeczywistego potencjału absorpcji energii, który jest definiowany jako pole pod krzywą, i teoretycznego potencjału absorpcji energii.



Rys. 13 Porównanie rzeczywistego i teoretycznego potencjału absorpcji energii

Kilka narodowych opracowań normalizacyjnych jest w trakcie zastosowywania koncepcji absorpcji energii. Niektóre jednakże bazują raczej na teoretycznych wartościach niż na wynikach obliczeń pola pod krzywą  $W = T \cdot \epsilon$ . Obliczenia upraszczane są do  $W_t = \frac{1}{2} T \cdot \epsilon$ . W rezultacie teoretyczna absorpcja energii ( $W_t$ ) niektórych produktów jest znacząco wyższa, podczas gdy dla innych jest ona niższa niż rzeczywisty potencjał absorpcji mierzony podczas badania wytrzymałości na rozciąganie (EN ISO 10319).

### Bibliografia

<sup>1</sup> Love, J.P. Burd, H.J. Miligan, G.W.E. i Houlsby, G.T. (1987). Analytical and model studies of reinforcement of a granular layer on a soft clay subgrade, Canadian Geotechnical Journal, Vol.24, nr 4, s. 611-622

<sup>2</sup> Koerner, Designing with Geotextiles, wydanie 4, 1998, s. 96

<sup>3</sup> SINTEF Report, Arnstein Watn, Non woven geotextiles Field test on damage during installation, SINTEF Civil and Environmental Engineering, Norway Evaluation of Installation Damage of Geotextiles A Correlation to Index Tests, R. Diederich, DuPont Nemours, Luxembourg