

# "STOSOWANIE GEOSYNTETYKÓW W BUDOWIE NAWIERZCHNI DROGOWYCH"



**Dr inż. Wanda Grzybowska**  
**Politechnika Krakowska**

Kwiecień 2009

# **MOŻLIWOŚĆ WPROWADZENIA WYROBU BUDOWLANEGO DO OBROTU**

**Ustawa o wyrobach budowlanych,  
z dnia 16 kwietnia 2004, Dz.U. Nr 92**

**Art.4. Wyrób budowlany może być wprowadzony  
do obrotu, jeżeli:**

- **nadaje się do stosowania przy wykonywaniu robót budowlanych, w zakresie odpowiadającym jego właściwościom użytkowym i przeznaczeniu, tj. :  
ma właściwości użytkowe, umożliwiające prawidłowo zaprojektowanym i wykonanym obiektom budowlanym, w których ma być zastosowany w sposób trwały, spełnienie wymagań podstawowych.**

# MOŻLIWOŚĆ STOSOWANIA WYROBU BUDOWLANEGO

Ustawa o wyrobach budowlanych,  
z dnia 16 kwietnia 2004, Dz.U. Nr 92

Art.5 Wyrób budowlany nadaje się do stosowania przy wykonywaniu robót budowlanych, jeżeli jest:

- oznakowany znakiem CE, co oznacza że wyrób budowlany jest zgodny ze zharmonizowaną Polską Normą wyrobu albo z aprobatą techniczną (europejską lub krajową), lub umieszczony w określonym przez Komisję Europejską wykazie wyrobów mających niewielkie znaczenie dla zdrowia i bezpieczeństwa, dla którego producent wydał deklarację zgodności, lub
- oznakowany znakiem budowlanym B.

**W wykazie mandatów udzielonych przez Komisję Europejską na opracowanie europejskich norm zharmonizowanych – Mandat M/107 (Construct 95/1458, rev.1)**

**Decyzja 96/581/WE (Dz.Urz. WE L 254 z 08.10.1996**

### **Geotekstylia i wyroby związane –**

- **w drogach,**
- **w liniach kolejowych,**
- **w fundamentach i ścianach,**
- **w systemach melioracji,**
- **do zapobiegania erozji,**
- **do zbiorników wodnych i zapór,**

- do budowy kanałów
- do budowy tuneli i urządzeń podziemnych
- przy usuwaniu i składowaniu odpadów ciekłych,
- do składowania lub usuwania odpadów stałych

### Stosowane (funkcja):

- jako bariery dla cieczy i gazów,
- jako warstwa ochronna,
- do drenowania i filtracji,
- do zbrojenia

**Wg Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie  
sposobów deklarowania zgodności wyrobów  
budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem  
budowlanym z dnia 11 sierpnia 2004 r.  
(Dz.U.Nr 198)**

**Systemy certyfikacji zgodności dla geotekstyliów do  
budowy dróg i innych powierzchni komunikacyjnych**

**Geosyntetyki , geotekstyli, geokompozyty, georuszty  
i geosiatki pełniące funkcję:**

- |                |        |    |
|----------------|--------|----|
| - Filtrowania  | System | 2+ |
| - Zbrojenia    | System | 2+ |
| - Rozdzielania | System | 4  |

**Wg Rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie sposobów deklarowania zgodności wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym z dnia 11 sierpnia 2004 r. (Dz.U.Nr 198)**

**System 2+: deklarowanie zgodności wyrobu przez akredytowaną jednostkę certyfikującą na podstawie:**

**a) Zadania producenta:**

- **wstępnego badania typu**
- **zakładowej kontroli produkcji**
- **badania próbek pobranych w zakładzie produkcyjnym, zgodnie z ustalonym planem badania, jeżeli dodatkowo wymaga tego zharmonizowana specyfikacja techniczna**

**b) Zadania akredytowanej jednostki – certyfikacji zakładowej kontroli produkcyjnej na podstawie wstępnej inspekcji zakładu produkcyjnego i zakładowej kontroli produkcji oraz ciągłego nadzoru, oceny i akceptacji zakładowej kontroli produkcji.**

**System 4 – deklarowanie zgodności wyrobu przez producenta na podstawie:**

- a) Wstępnego badania typu prowadzonego przez producenta,**
- b) Zakładowej kontroli produkcji**



## **Geosyntetyki można sklasyfikować wg następujących kryteriów:**

- zastosowanych surowców,*
- zdolności przepuszczania substancji ciekłych,*
- technologii produkcji,*
- przeznaczenia,*
- spełnianych funkcji,*
- ze względu na kształt*

# Surowce włókiennicze:

## NATURALNE

- *roślinne*
- *zwierzęce*

## CHEMICZNE

- *organiczne (naturalne, syntetyczne)*
- *nieorganiczne*

# **SUROWCE WŁÓKIENNICZE CHEMICZNE DO PRODUKCJI GEOTEKSTYLIÓW**

## **Włókna chemiczne organiczne**

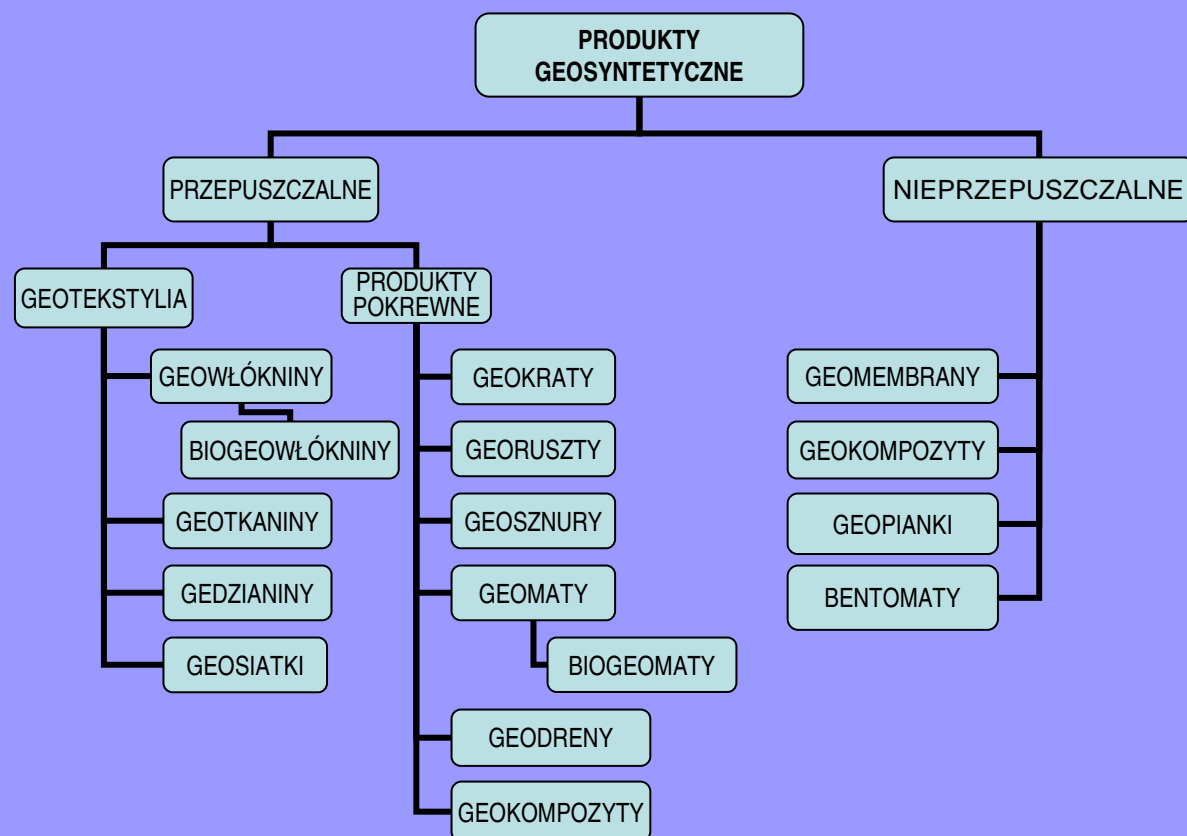
**Naturalne:** *Wiskozowe, Octanowe, Kazeinowe, Glicyninowe, Zeinowe, Arachidowe, Alginowe, Gumowe, Inne*

**Syntetyczne:** *Poliamidowe, Poliestrowe, Poliakrylonitrylowe, Polipropylenowe, Polichlorowinyłowe, Poliuretanowe, Polistyrenowe, Polimocznikowe, Poliwęglowe, Inne*

## **Włókna chemiczne nieorganiczne**

*Szklane, Glinokrzemianowe, Krzemianowe, Węglowe, Grafitowe Metalowe, Borowe, Miedziowe, Bazaltowe, Inne*

# Klasyfikacja wyrobów geosyntetycznych ze względu na przepuszczalność cieczy



# Klasyfikacja wyrobów geosyntetycznych ze względu na przeznaczenie

- geosyntetyki stosowane w geotechnice,
- geosyntetyki stosowane w budownictwie melioracyjnym,
- geosyntetyki stosowane w budownictwie drogowym:
  - pracujące w warstwach kruszyw,
  - pracujące w środowisku warstw bitumicznych,
  - wzmocnienie skarp,
  - drenaż

# **Normalizacja europejska, dotycząca nazewnictwa geosyntetyków:**

**PN-EN ISO 10318 Geosyntetyki, Terminy i definicje,  
Warszawa 2007**

**Norma podaje terminy dotyczące funkcji, wyrobów, właściwości i symbole geosyntetyków.**

## **Terminy związane z funkcjami:**

**Separacja, drenowanie, filtrowanie, powierzchniowe zabezpieczenie erozyjne, ochrona, zbrojenie, bariery (izolacja)**

## Terminy związane z wyrobami (wybrane):

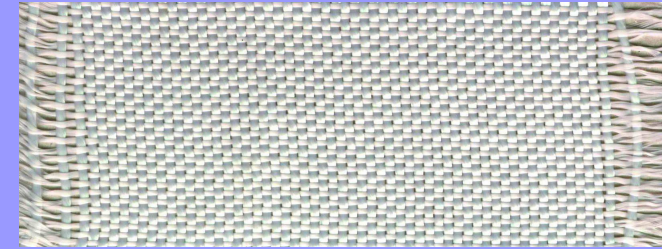
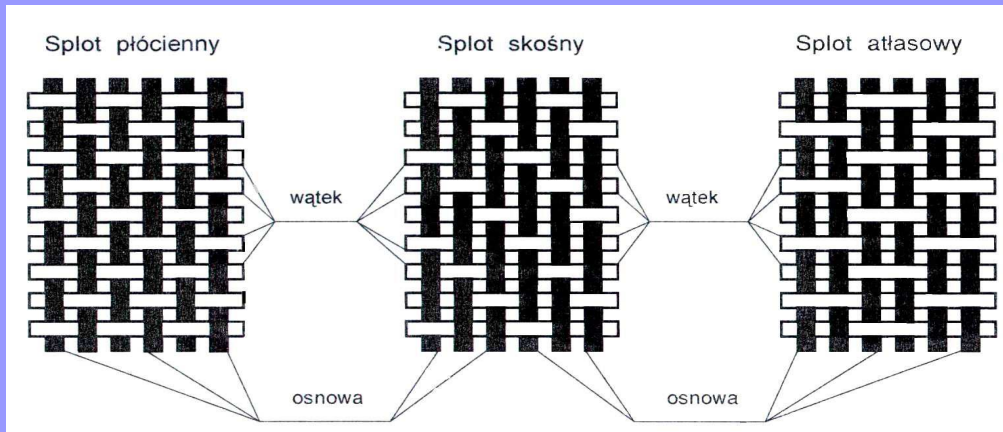
**Geosyntetyk**: arkusz, taśma lub forma przestrzenna, w której co najmniej jeden składnik jest wytworzony z syntetycznego lub naturalnego polimeru,

**Wyrób geotekstylny**: płaski, przepuszczalny, polimerowy (syntetyczny lub naturalny) wyrób tekstylny, nietkany, tkany lub dziany,

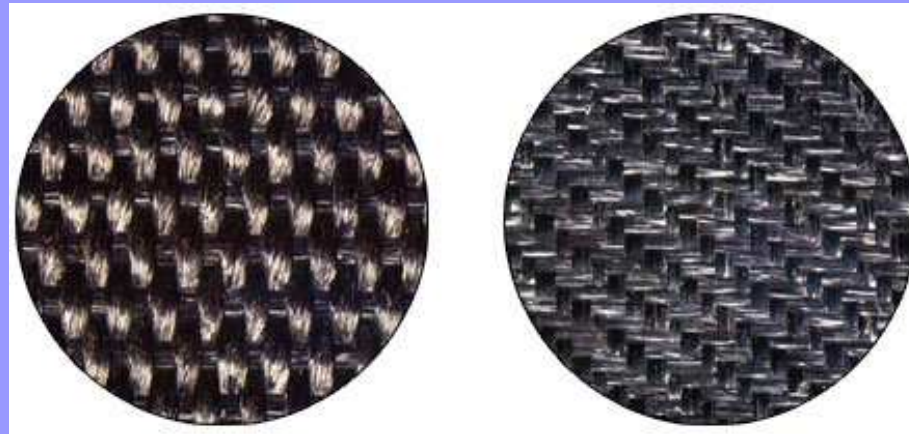
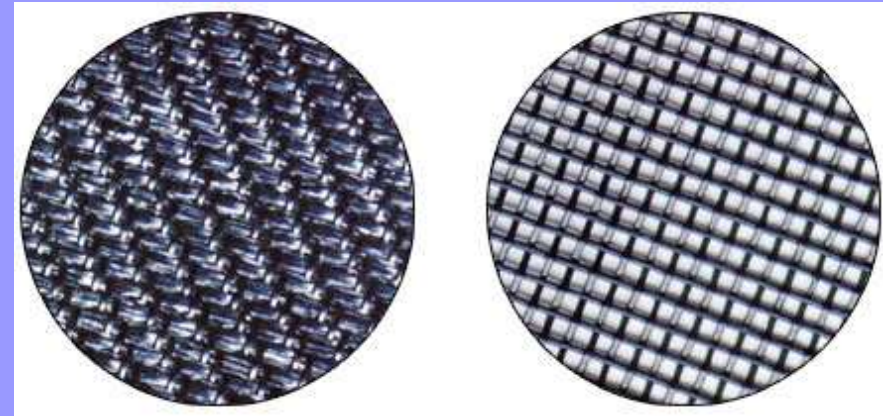
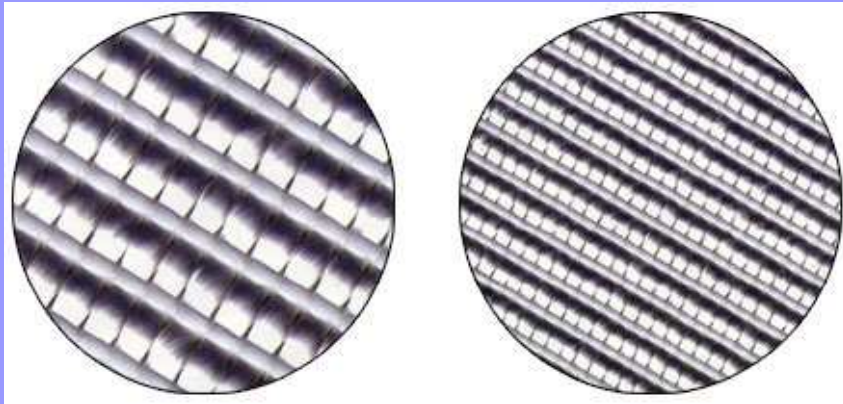
**Geotekstylny wyrób pokrewny**,

**Geowłóknina**: wyrób geotekstylny, wytworzony z ukierunkowanych lub losowo rozłożonych włókien ciągłych lub ciętych, łączonych mechanicznie, i/lub termicznie i/lub chemicznie,

**Geotkanina**: wyrób tekstylny wytworzony z dwóch (lub więcej) układów przędz, włókien ciągłych, taśm lub innych elementów, przeplatanych zwykle pod kątem prostym,



Tkanina Kortex



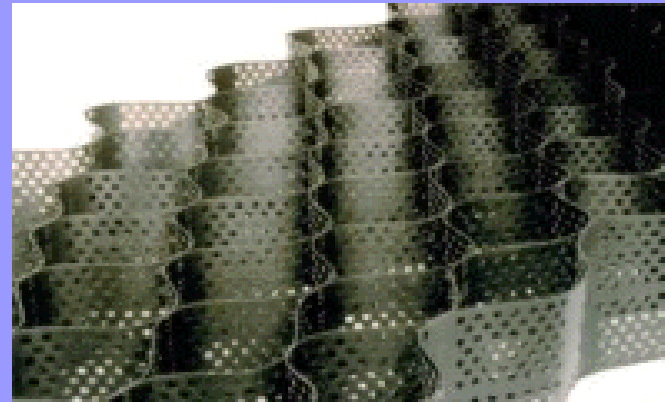
Tkaniny  
Geolon



**Geosiatka (georuszt):** płaski wyrób polimerowy stanowiący regularny układ o otwartej strukturze, z trwale połączonych elementów rozciąganych, które mogą być łączone w procesie wytłaczania, spajania lub przeplatania, w który otwory są większe niż elementy nośne

**Geosyntetyk komórkowy**

**Geomata**



**Geokompozyt:** wyrób łączony w zakładzie produkcyjnym, którego przynajmniej jeden składnik stanowi wyrób geotekstylny

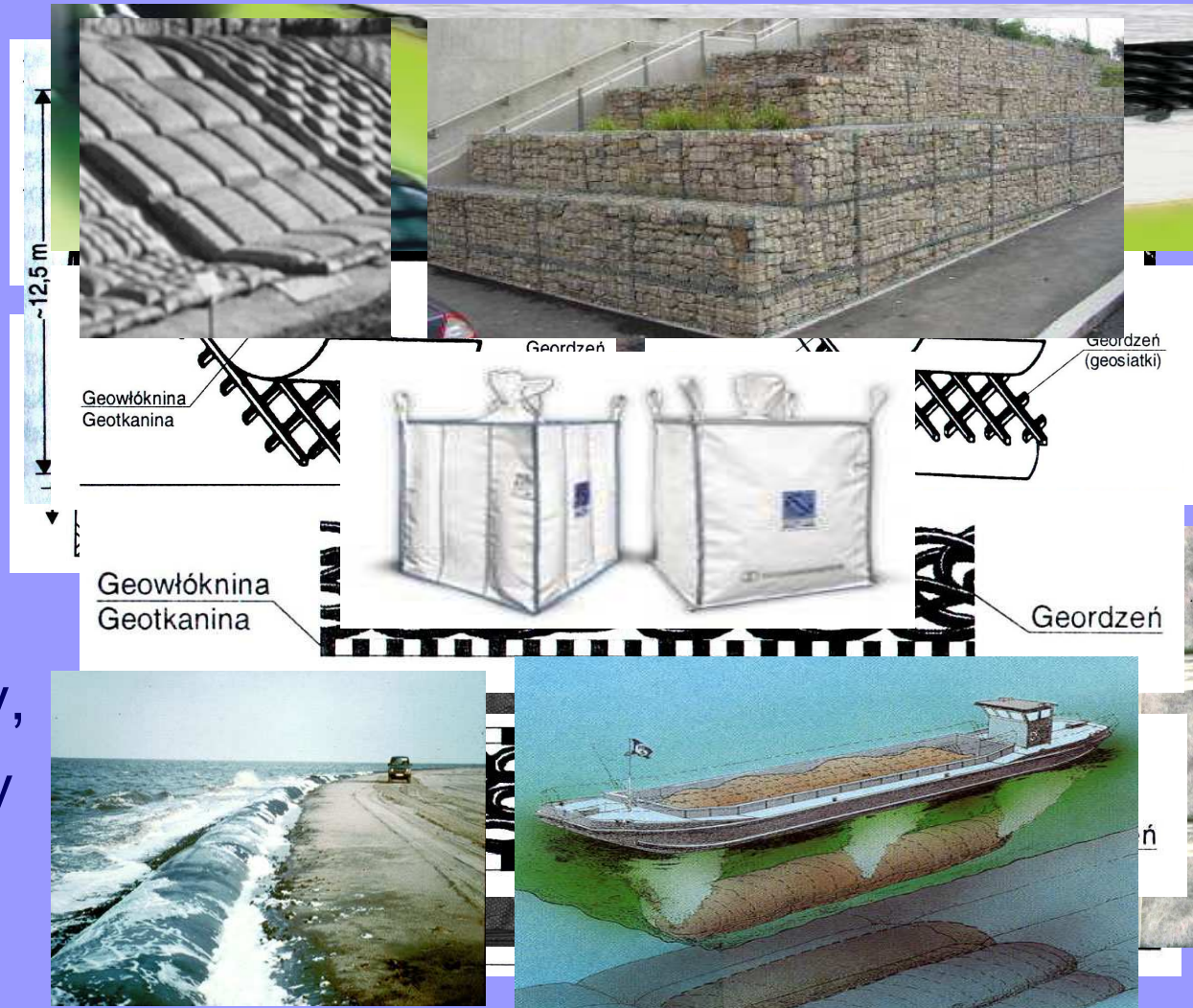
## Zestawienie funkcji poszczególnych rodzajów produktów geosyntetycznych

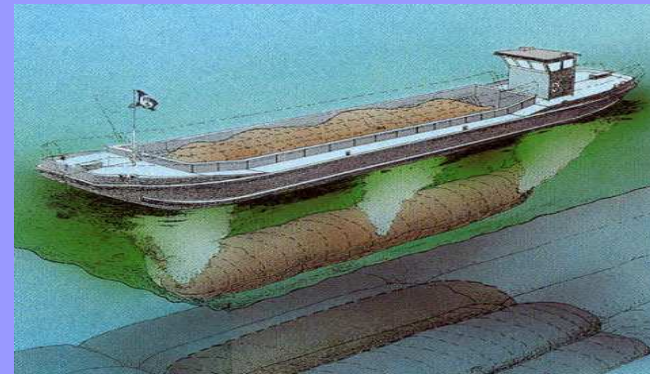
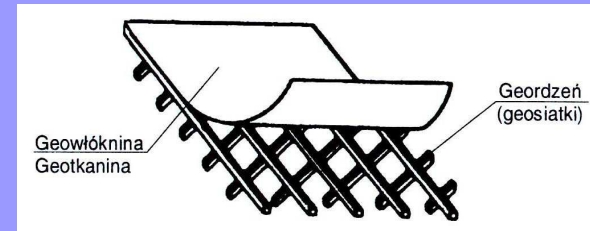
<b>Funkcja</b>	<b>Rodzaj stosowanego materiału geosyntetycznego</b>
<b>Separacja (rozdzielenie)</b>	geowłókniny igłowane, przesywane, klejone termicznie i chemicznie, geotkaniny, gęste geosiatki bezwęzełkowe, czasami cienkie geomembrany
<b>Filtracja</b>	geowłókniny igłowane, przesywane, klejone termicznie i chemicznie, geotkaniny
<b>Drenaż</b>	geodreny, grube geowłókniny igłowane i przesywane, geokompozyty przepuszczalne.

<b>Wzmocnienie (zbrojenie)</b>	georuszty, geosiatki bezwęzełkowe, geokompozyty przepuszczalne, geowłókniny igłowane i przesywane o powiększonej wytrzymałości, geotkaniny.
<b>Powierzchniowe zabezpieczenie przeciwieryjne</b>	geosiatki komórkowe, geomaty, gęste geosiatki bezwęzełkowe, geowłókniny igłowane i przesywane, geotkaniny, geokompozyty przepuszczalne.
<b>Izolacja (uszczelnienie)</b>	geomembrany jednowarstwowe i wielowarstwowe (w tym wzmocnione), bentomaty, geomembrany, geomembrany bentonitowe.
<b>Ochrona</b>	geowłókniny igłowane, przesywane, klejone termicznie i chemicznie, geotkaniny.

# Rodzaje struktury geosyntetyków

- geotkaniny,
- geowłókniny,
- geodzianiny,
- georuszty,
- geosiatki,
- geokomórki,
- geomaty,
- geomembrany,
- geokompozyty
- inne





**Bardzo szeroki zakres stosowania geosyntetyków w budownictwie oraz różnorodność pełnionych przez nie funkcji, stawia przed nimi w zależności od przeznaczenia następujące wymagania:**

- wytrzymałość na obciążenia mechaniczne,**
- odporność na zmienne zawilgocenie,**
- odporność na przemarzanie,**
- odporność na agresywność chemiczną gruntów,**
- trwałość właściwości mechanicznych,**
- trwałość właściwości hydraulicznych,**
- elastyczność,**
- odporność na pleśnie,**
- odporność na grzyby,**

- odporność na mikroorganizmy,
- nietoksyczność dla środowiska naturalnego,
- nieszkodliwość dla wody pitnej,
- odporność na promieniowanie UV,
- odporność na starzenie,
- odporność na działanie wody,
- odporność na działanie podwyższonej temperatury,
- odporność na działanie niskiej temperatury,
- odporność na zamulenie cząstkami gruntu,
- odporność na przenikanie cząstek gruntu,
- wodoprzepuszczalność.

## **PODSTAWOWE DANE I PARAMETRY GEOSYNTETYKÓW OBEJMUJĄ:**

- rodzaj surowca geosyntetyku,
- rodzaj struktury (włóknina, tkanina, siatka, ruszt, geokompozyt),
- masę powierzchniową (gramaturę),
- grubość przy różnych obciążeniach,
- wytrzymałość doraźną na rozciąganie (wzdłuż i w poprzek pasma),
- wydłużenie przy zerwaniu,
- wytrzymałość na przebicie (metoda CBR lub metoda oporu penetracji stożka).



# Normalizacja europejska, dotycząca aplikacji geosyntetyków:

## **1. PN-EN 13249: 2000 Geotekstylija 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)

Zmiana: PN-EN 13249: 2002/A1

## **2. PN-EN 13251:2000 Geotekstylija i wyroby pokrewne**

Właściwości wymagane w odniesieniu do wyrobów stosowanych w robotach ziemnych, fundamentowaniu i konstrukcjach oporowych

Zmiana: 13251:2000/A1:2005

## **3. PN-EN 15381:2008 Geotextiles and geotextile-related products –**

Characteristics required for use in pavements and asphalt overlays.

## Charakterystyki geosyntetyków w nawiązaniu do ich funkcji, wg PN-EN 13249

Cecha geosyntetyków	Metoda badania wg normy	Funkcja		
		Filtracja	Filtracja+rozdzielenie	Zbrojenie
1. Wytrzymałość na rozciąganie	PN-EN ISSO10319	+	+	+
2. Wydłużenie przy maksymalnym obciążeniu	PN-EN ISSO10319	-	-	+
3. Przebiecie statyczne (CBR)	PN-EN ISO 12236:1998	-	+	+

**Charakterystyki geosyntetyków  
w nawiązaniu do ich funkcji, wg PN-EN 13249, cd.**

<b>Cecha geosyntetyków</b>	<b>Metoda badania wg normy</b>	<b>Funkcja</b>		
		<b>Filtracja</b>	<b>Filtracja+rozdzielenie</b>	<b>Zbrojenie</b>
<b>4.Przebicie dynamiczne</b>	<b>PN-EN 918:1999</b>	+	+	+
<b>5.Charakterystyczna wielkość porów</b>	<b>PN-EN ISSO 12956:2002</b>	+	+	-
<b>6.Wodoprzepuszczalność w kierunku prostopadłym do powierzchni</b>	<b>PN-EN ISSO 11058:20022</b>	+	+	-
<b>7.Trwałość</b>	<b>PN-EN 13249:2002</b>	+	+	+

## **Zalecenia krajowe:**

- 1. Zalecenia dotyczące stosowania geosyntetyków w odwodnieniach dróg, IBDiM**
- 2. Zalecenia stosowania geosyntetyków w warstwach asfaltowych nawierzchni drogowych, IBDiM**

# Wytrzymałość długoterminowa $F_d$

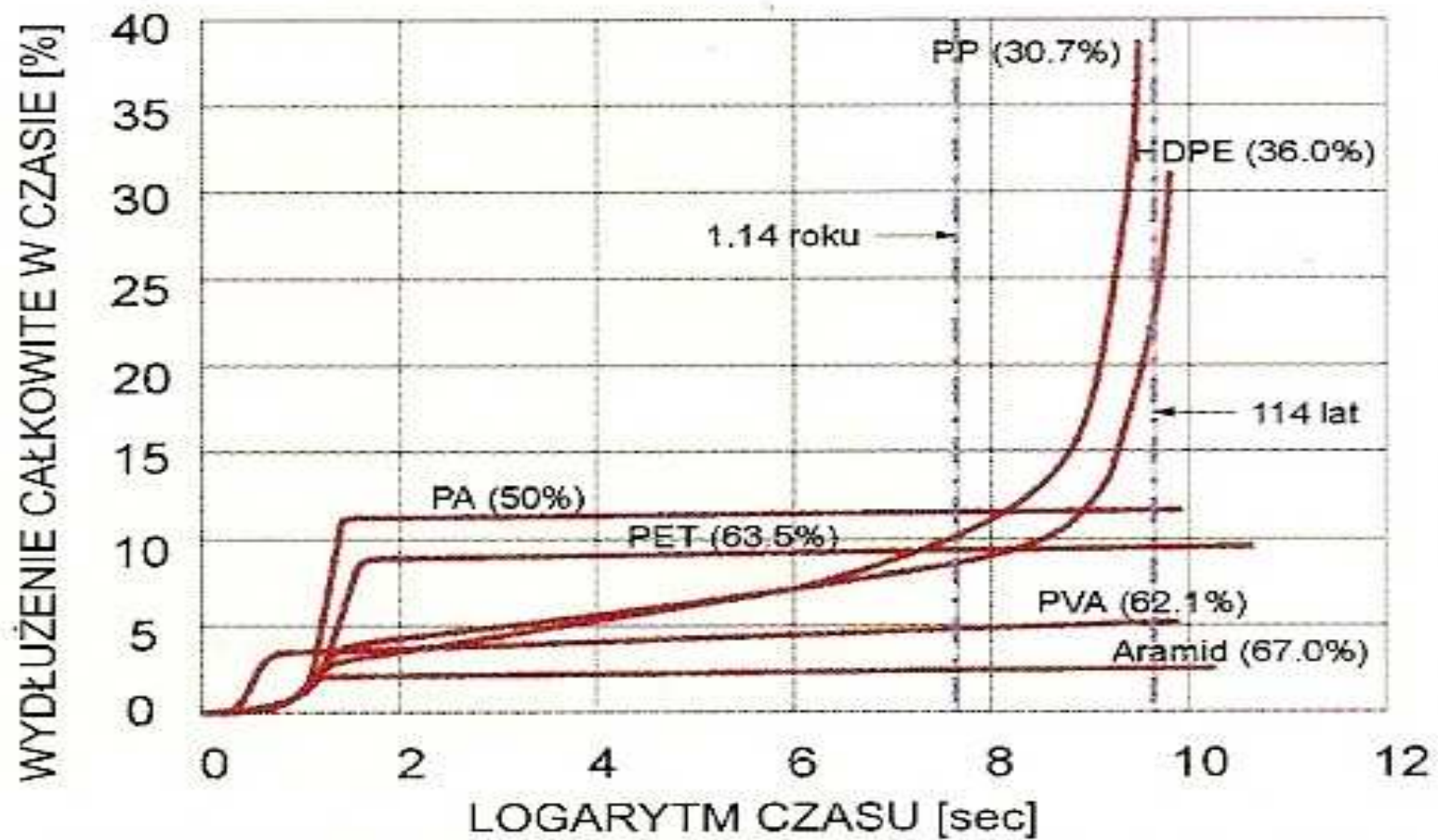
$$F_d = F_k / (A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 * A_6 * \gamma)$$

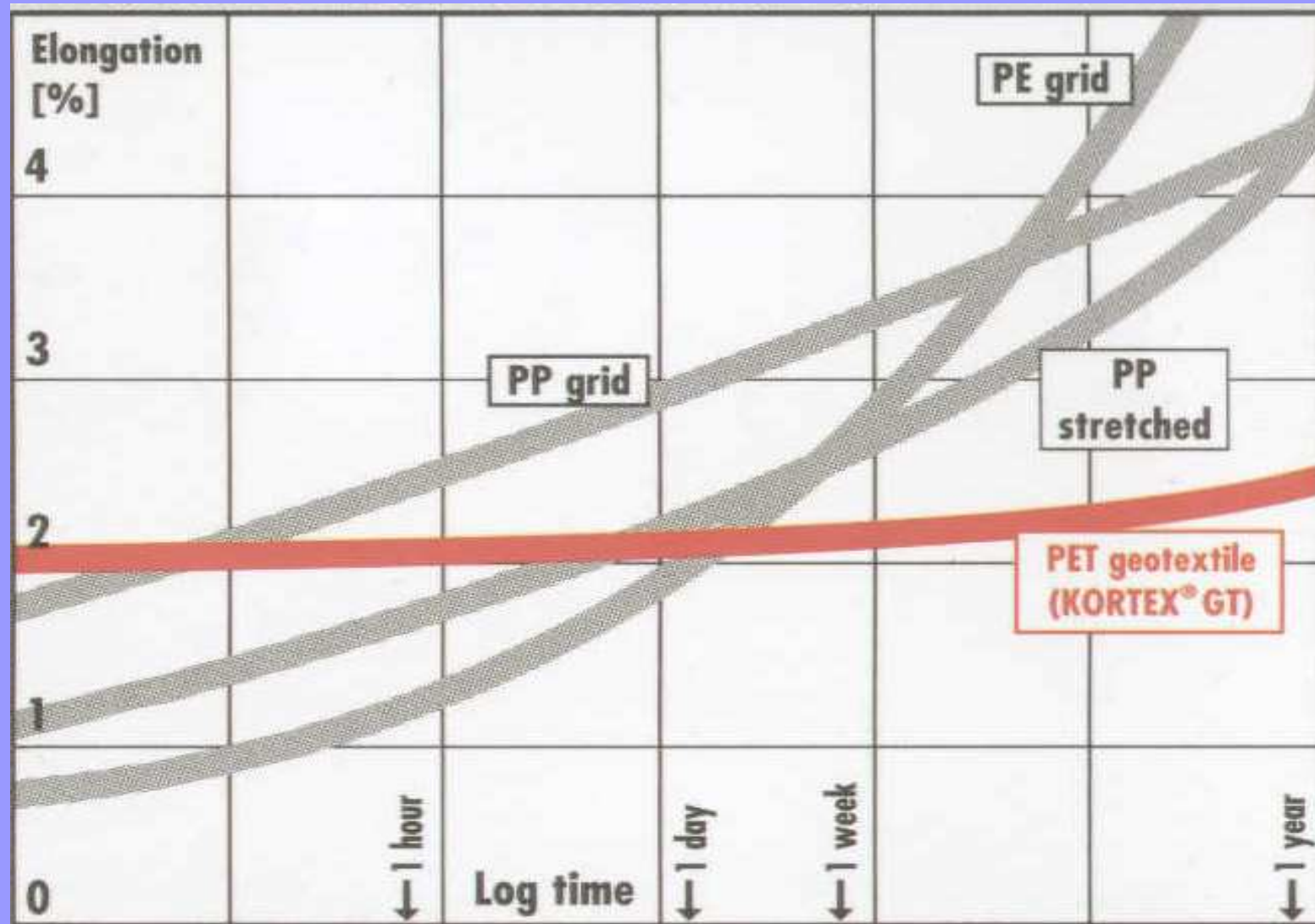
- $\gamma$  - współczynnik bezpieczeństwa materiałowego (1,75)
- $F_k$  – to doraźna wytrzymałość na rozciąganie

Współczynniki materiałowe:

- A1 - współczynnik pełzania (2,5-5,0)  
(polietylen, polipropylen = min. 5.0, poliester, poliamid = min. 2.5)
- A2 - współczynnik uwzględniający uszkodzenia mechaniczne (1,5-2,0)
- A3 - współczynnik uwzględniający straty na połączeniach (1,0)
- A4 - współczynnik uwzględniający wpływ środowiska gruntowego (1,0-1,5)
- A5 - współczynnik uwzględniający wpływ oddziaływań dynamicznych
- A6 - współczynnik uwzględniający specyficzne warunki posadowienia budowli

# WYDŁUŻENIE PRZY PEŁZANIU GEOSYNTETYKÓW W ZALEŻNOŚCI OD UŻYTYCH DO ICH PRODUKCJI POLIMERÓW





## DLA PRZYKŁADU

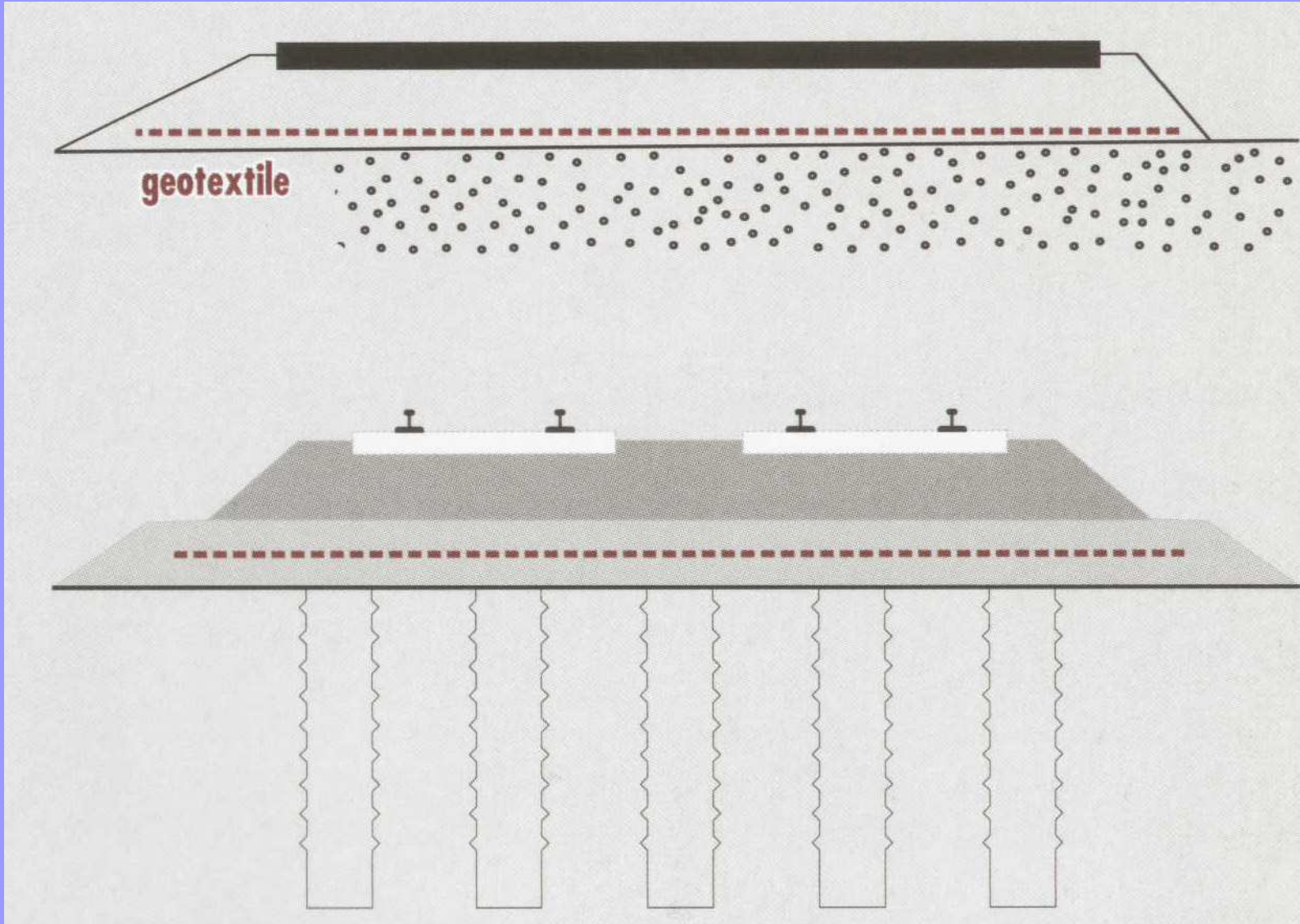
Jeżeli wytrzymałość doraźna na rozciąganie wynosi:  
50, 100, 1000 kN/m,

Minimalna wytrzymałość długoterminowa (tylko  
współczynnik A1):

- dla poliestru: 20, 40, 400 kN/m
- dla polipropylenu: 10, 20, (200) kN/m

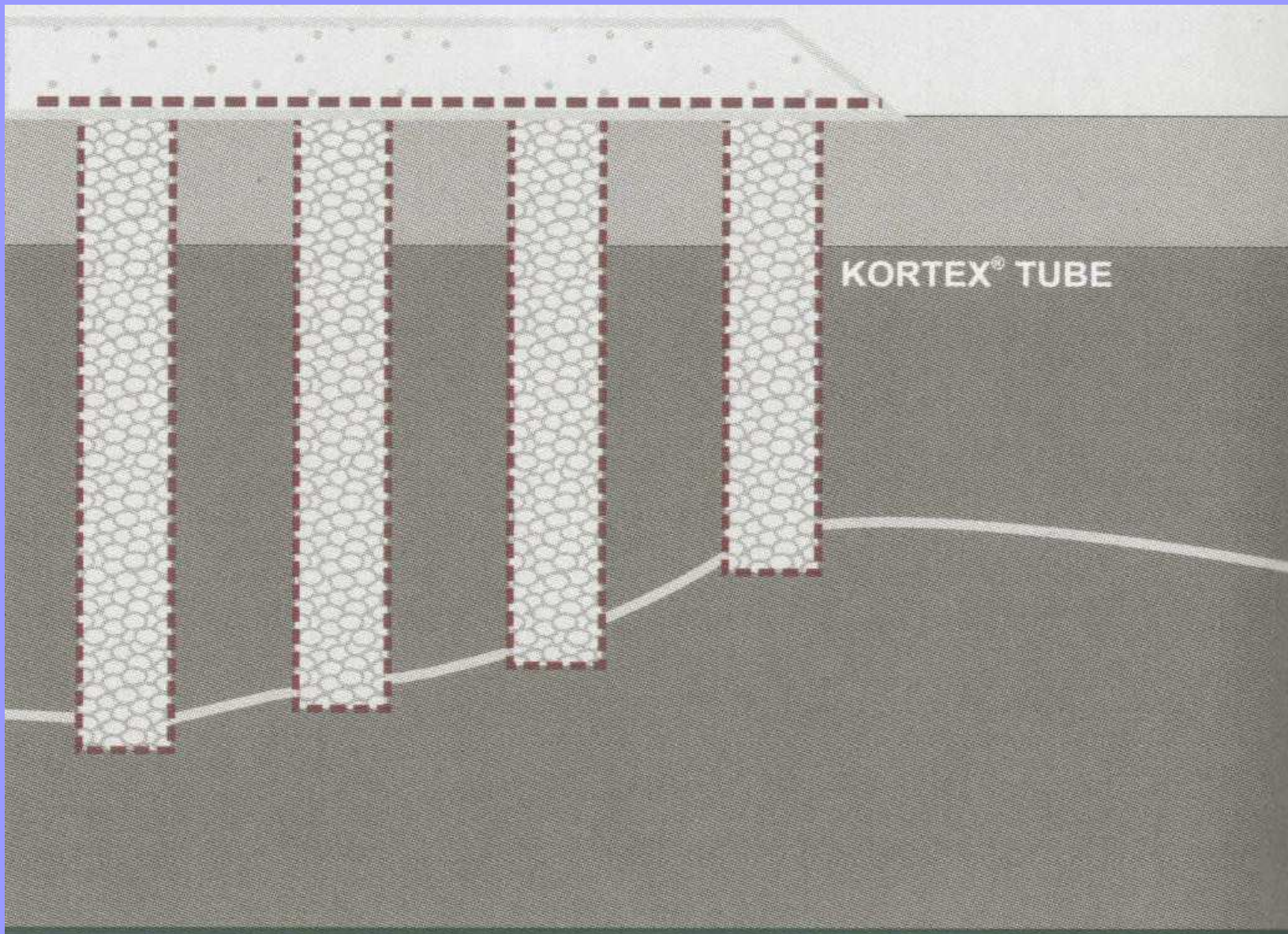


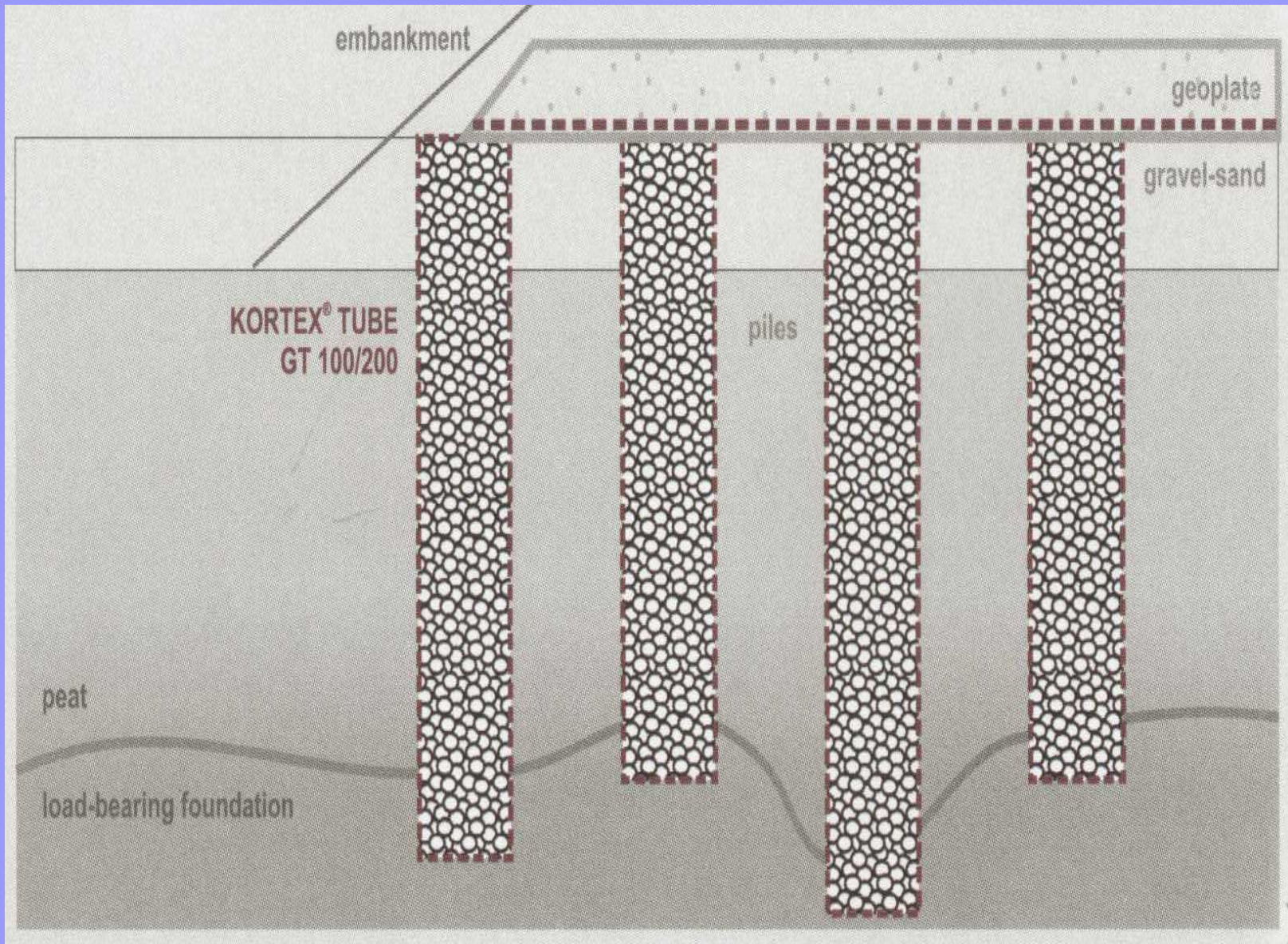
**PODŁOŻA I WZMOCNIENIE  
NASYPÓW, SKARPY,  
OSŁONA ODWODNIENIA**



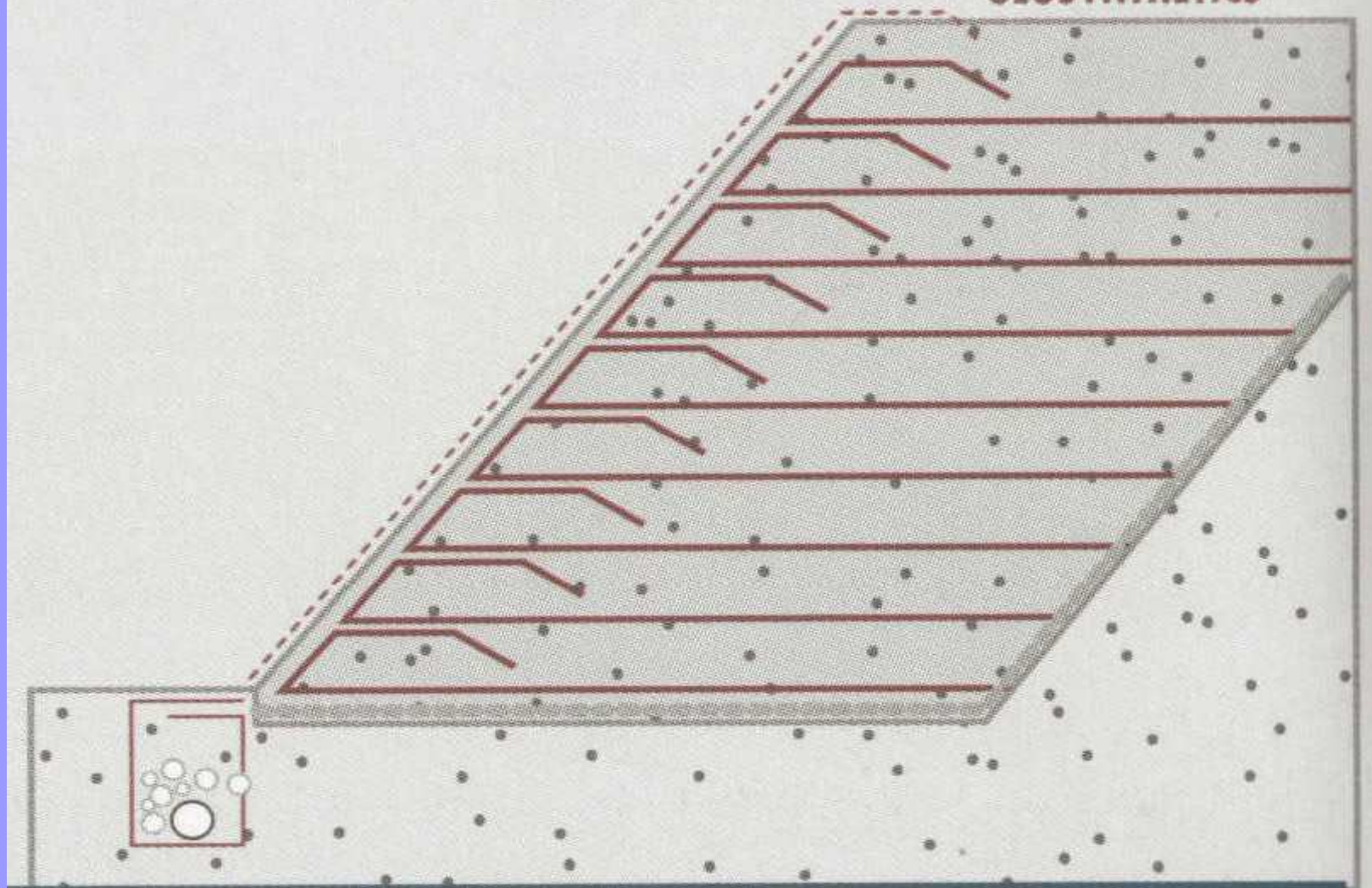


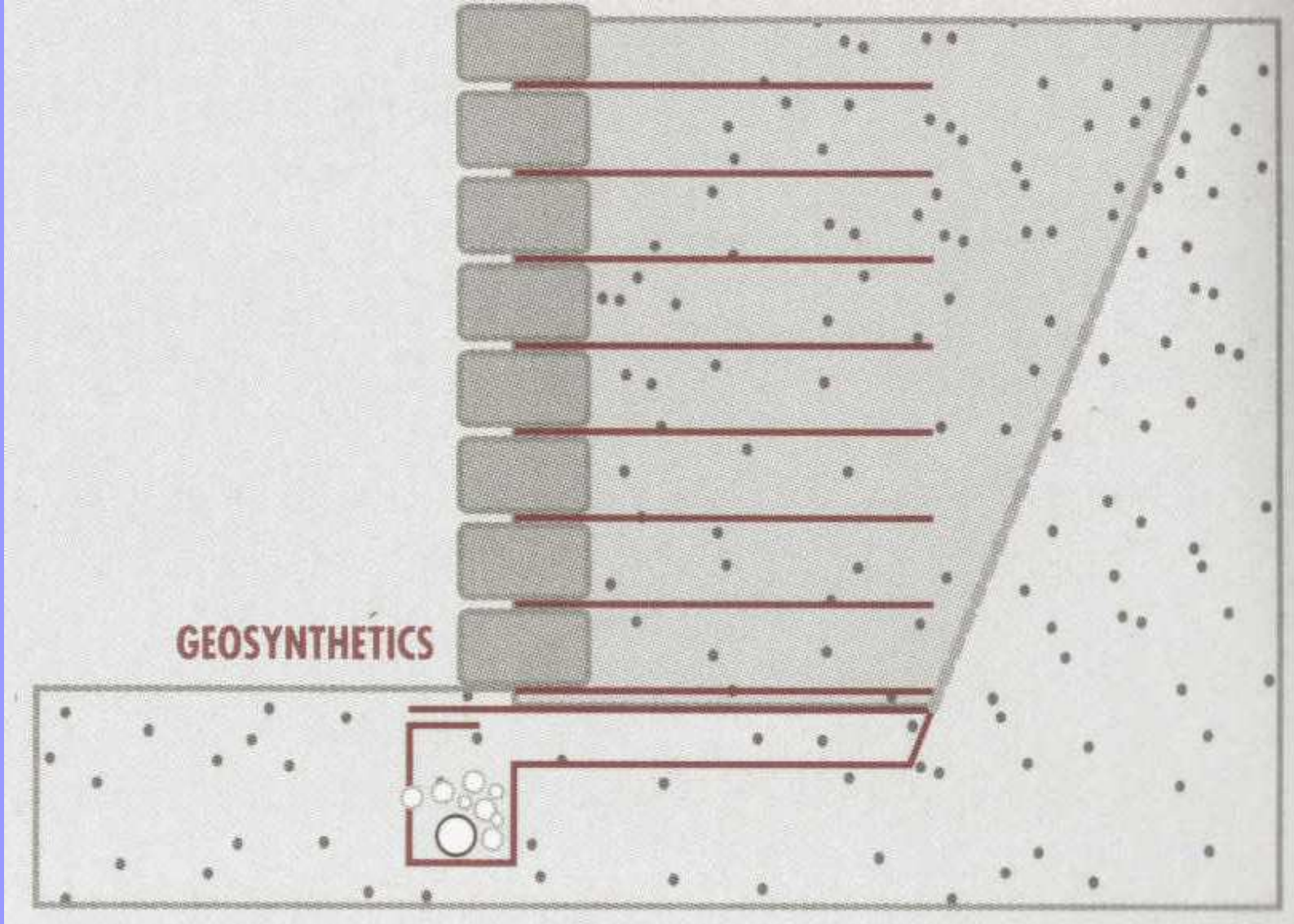




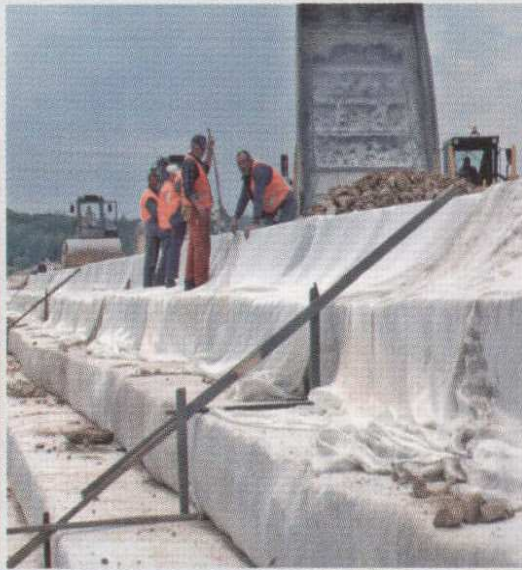
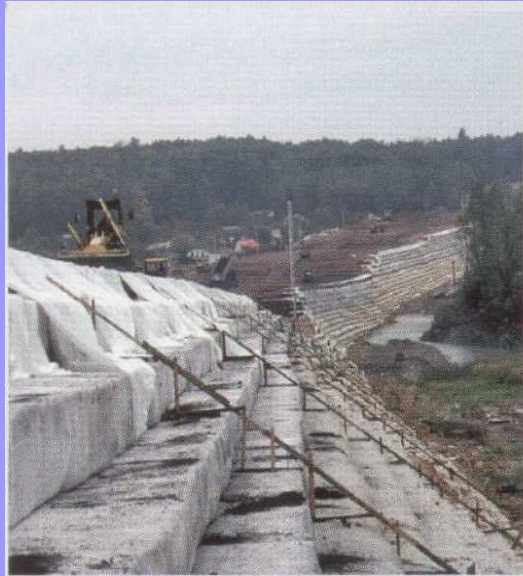


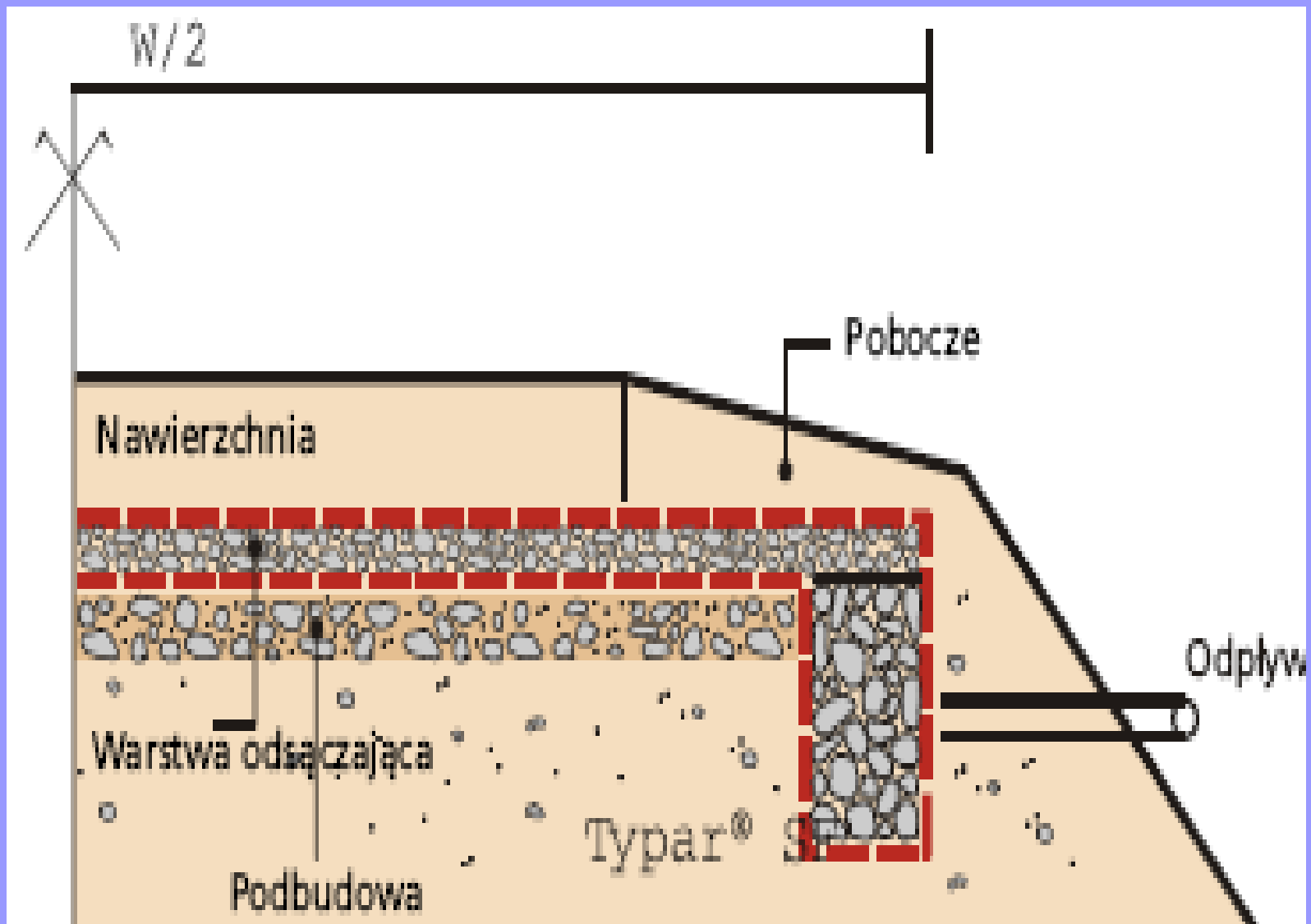
# GEOSYNTHETICS





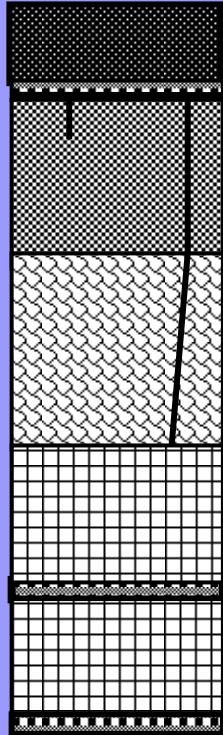






# **GEOSYNTETYKI W KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI DROGOWYCH**

# LOKALIZACJA GEOSYNTETYKÓW W KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI

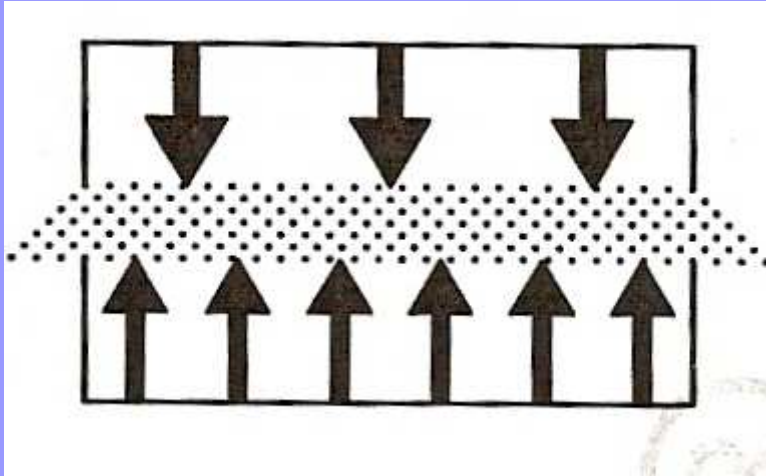


1. Nowe warstwy bitumiczne
2. Geosyntetyczna warstwa pośrednia nasączona i przyklejona lepiszczem asfaltowym
3. Istniejące spękane warstwy bitumiczne; powierzchnia wyrównana warstwą profilującą lub sfrezowana
4. Podbudowa sztywna, spękana
5. Wymiana słabego gruntu podłoża na kruszywo  
Podłoże ulepszone:  $E_2 \geq E_2 \text{ wym.}$ ,  
 $I_s \geq I_s \text{ wym.}$   
Pojedyncze lub podwójne wzmocnienie geosyntetykiem ,  
Warstwa dolna najczęściej pełni także funkcję separacyjną i filtrującą.

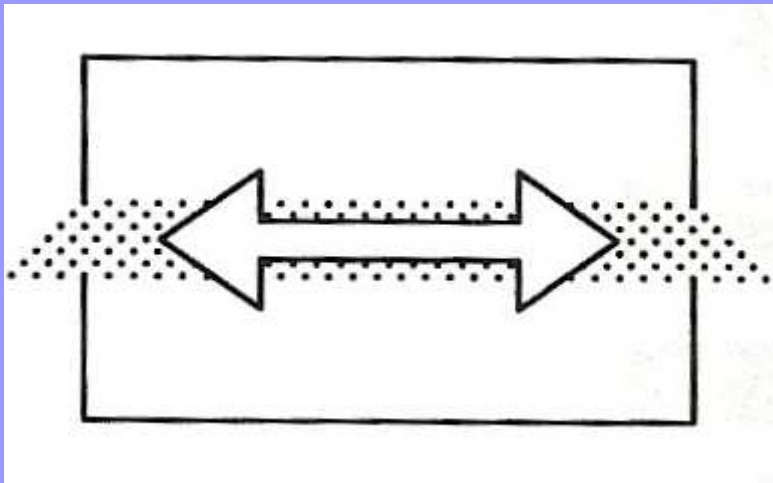
# **CEL STOSOWANIA GEOSYNTETYKÓW: W NAWIERZCHNIACH DROGOWYCH**

## **□ W PODŁOŻU:**

- 1. STWORZENIE TRWAŁEGO I STABILNEGO PODPARCIA DLA KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI, CO JEST JEDNYM Z WARUNKÓW ZAPEWNIENIA WYMAGANEJ NOŚNOŚCI NAWIERZCHNI,**
- 2. ZMNIJSZENIE GŁĘBOKOŚCI WYMIANY GRUNTU DLA CELÓW WZMACNIANIA SŁABEGO PODŁOŻA GRUNTOWEGO (OSZCZĘDNOŚĆ MATERIAŁÓW KAMIENNYCH),**
- 3. UMOŻLIWIENIE PROWADZENIA RUCHU BUDOWLANEGO W TRUDNYCH WARUNKACH GRUNTOWYCH**



**Separacja, filtracja**



**Zbrojenie  
(przejmowanie sił  
rozciągających)**

□ **W UKŁADZIE WARSTW BITUMICZNYCH:**

1. **PRZEDŁUŻENIE TRWAŁOŚCI NAPRAWY SPEKANYCH NAWIERZCHNI (SPEKANIA ODBITE), POLEGĄCEJ NA REMONCIE LUB WZMOCNIENIU NAWIERZCHNI,**
2. **POŁĄCZENIE KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI NA POSZERZENIACH JEZDNI LUB POŁĄCZENIACH Z POSZERZONYM POBOCZEM,**
3. **ZAPOBIEGANIE POWSTAWANIU SPEKAŃ ODBITYCH W NOWYCH NAWIERZCHNIACH POŁSZTYWNYCH.**

## **GEOSYNTETYKI STOSOWANE SĄ DO NAPRAW SPĘKAŃ ODBITYCH**



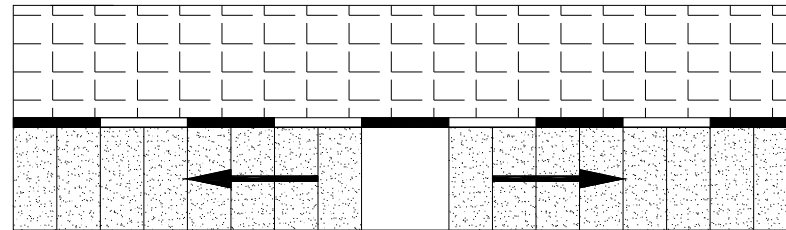
**Typowe spękanie w nawierzchni bitumicznej, odbite od sztywnej podbudowy**



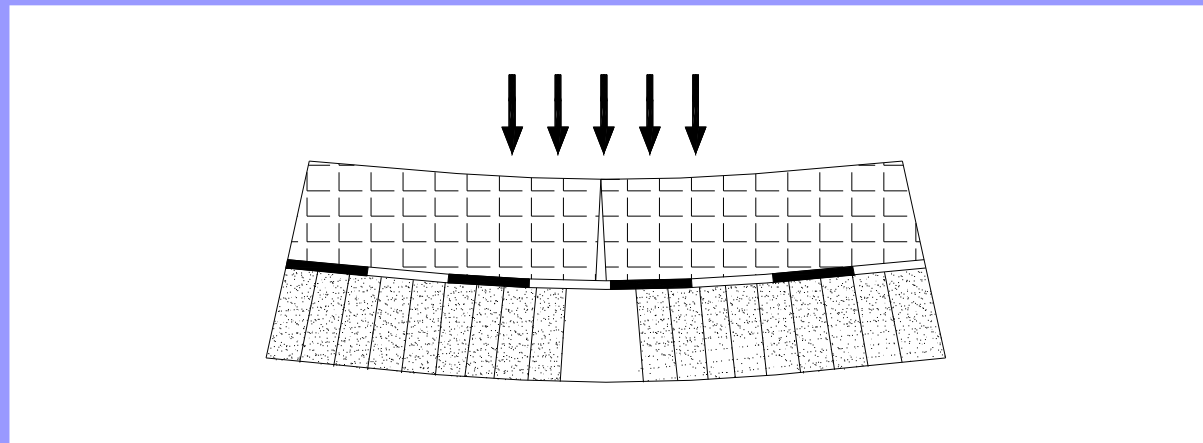


**Deterioracja warstwy ścieralnej w sąsiedztwie spękania odbitego**

### Mechanizm systemu odprężającego



### Mechanizm pracy geosyntetycznej warstwy odprężającej (nośnika lepiszcza)



### Mechanizm pracy warstwy zbrojącej

# **GEOTKANINY**

# Stosowanie geotkanin w budownictwie komunikacyjnym:

- Wzmacnianie słabonośnego podłoża nasypów celem przyspieszenia jego konsolidacji oraz zapewnienia wymaganej stateczności,
- Budowa wzmacnianych (zbrojonych) nasypów,
- Ograniczenie destrukcyjnego oddziaływania szkód górniczych na konstrukcję nawierzchni dróg- istotny element profilaktyki górniczo-budowlanej, a więc ograniczenie niebezpieczeństwa deformacji terenu górniczego,
- Osłona systemów drenarskich w celu zabezpieczenia ich przed zamuleniem gruntem drobnoziarnistym,

- Stabilizacja osuwisk,**
- Wykonywanie warstw separacyjnych filtracyjnych pomiędzy gruntem podłoża a materiałem gruboziarnistym**
- Wzmacnianie górnej warstwy podłoża gruntowego nawierzchni drogowych i kolejowych lub dolnych warstw podbudowy podatnej,**
- Poprawa zdolności kruszywa do rozkładania obciążeń na grunt, zmniejszenie naprężeń w podłożu, a więc spowolnienie akumulacji trwałych mikroodkształceń, deformacji powierzchni i powstawania kolein, zabezpieczenie warstwy kruszywa przed postępującym zniszczeniem, wywołanym bocznymi przemieszczeniami kruszywa przy rozciąganiu i ścinaniu, zanieczyszczeniem kruszywa przez drobne cząstki gruntu podłoża, oraz zniszczeniem ziaren kruszywa od powtarzalnych obciążeń, i zagłębieniem się ziaren kruszywa w podłożu**

- Budowa placów postojowych i parkingów w trudnych warunkach wodnych, dróg tymczasowych, placów składowych, tymczasowych dróg leśnych, rolniczych i wojskowych, dróg osiedlowych, ścieżek rowerowych, boisk sportowych i kortów tenisowych, tymczasowych lotnisk wojskowych, rolniczych i cywilnych, stacji benzynowych,
- Wzmacnianie poboczy drogowych.

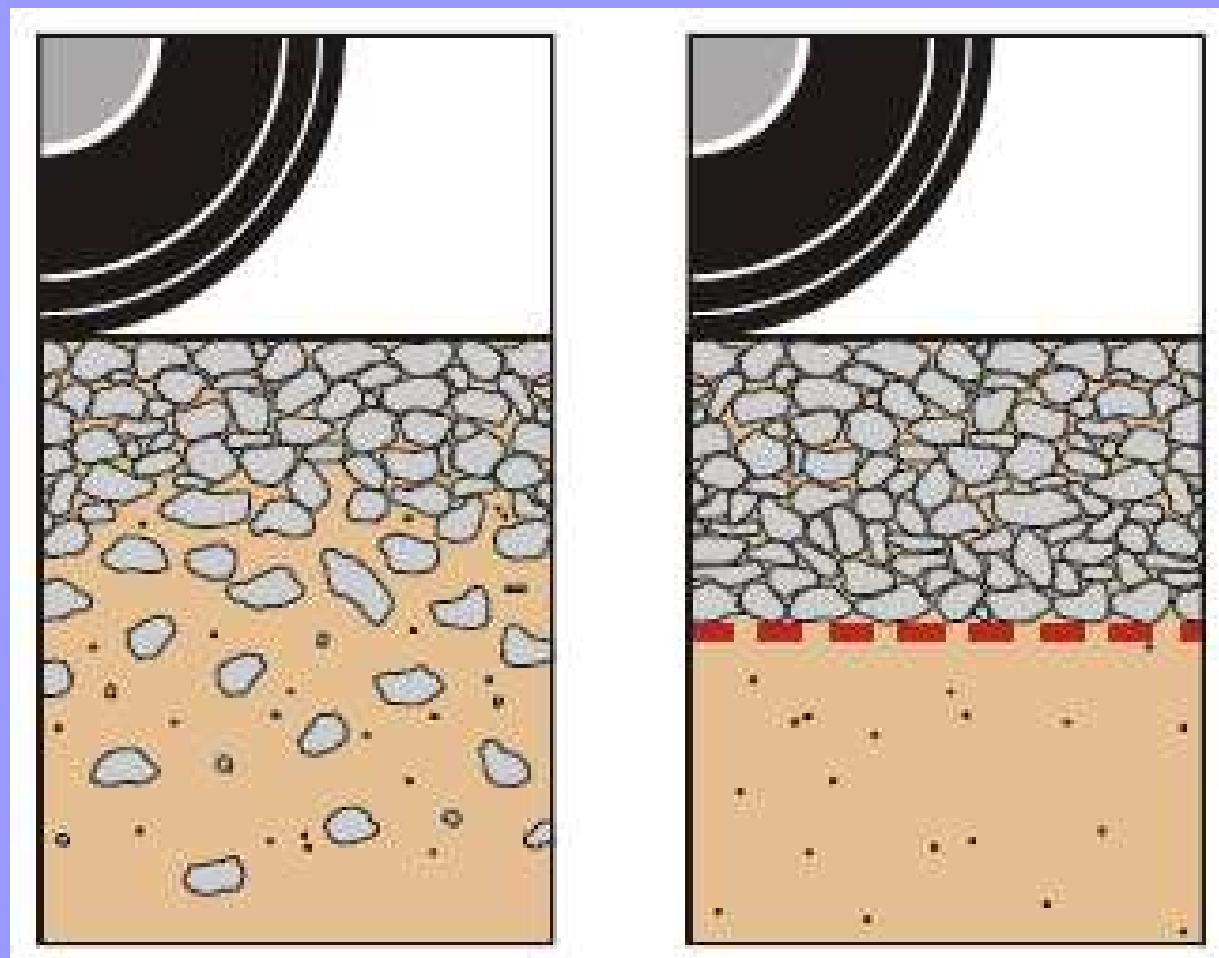
Charakterystyczną cechą geotkanin jest wysoka i równomierna wytrzymałość w obu kierunkach przy niskiej i równomiernej wydłużalności. Geotkaniny zachowują się w budowlach ziemnych jak zbrojenie pasmowe, gdzie naprężenie jest przekazywane poprzez tarcie powierzchniowe a także poprzez różne elementy kotwiące. Zaklinowanie ziaren kruszywa w geotkaninie ogranicza poziome przemieszczenia kruszywa a tym samym daje lepszy rozkład obciążeń w podbudowie oraz mniejsze deformacje podłoża, zmniejsza głębokości koleiny w podłożu, dzięki czemu możliwe jest zwiększenie dopuszczalnych obciążeń konstrukcji nawierzchni.

**Geotkaniny są elastyczne, także w niskich temperaturach otoczenia, umożliwia to układanie ich w nierównym terenie. Rozwijanie, rozkładanie, przycinanie na potrzebny wymiar jest łatwe. Do instalacji geotkaniny używa się prostych narzędzi. Duża giętkość i przyjmowanie kształtu podłoża, powoduje, że geotkaniny szczególnie nadają się do wykonywania podłoża pod nawierzchnie o dużym obciążeniu, gdzie wymagane jest głębokie zagęszczanie ostrokrawędzistych ziaren kruszywa ciężkimi zagęszczarkami wibracyjnymi.**

**Geotkaniny dostosowują się do znacznych lokalnych deformacji gruntu i profilu podłoża, wydłużając się bez obawy przzerwania ciągłości materiału, mają doskonałą współpracę z gruntem i różnymi kruszywami.**



## FUNKCJA SEPARACYJNA



Zatrzymywanie cząstek gruntu na granicy warstwy separacyjnej jest związane z takimi parametrami mechanicznymi jak:

- ❑ siły hydrauliczne, które powodują przemieszczanie się cząstek gruntu;

- ❑ wytrzymałość gruntu na ścinanie (zwłaszcza jego spójność);

- ❑ siły ciężenia,

oraz parametrami fizycznymi w postaci:

- ❑ wymiarów porów geotekstyliów (geowłóknin i geotkanin) lub wymiarami oczek geosiatek,

- ❑ wymiarów cząstek gruntu,

- ❑ gęstości gruntu.

Funkcję separacji rozpatrujemy dla dwóch przypadków obciążenia gruntu :

- obciążenie statyczne - cząstki gruntu są w roztworze wodnym wyciskany z gruntu pod wpływem konsolidacji podłoża; w tym przypadku działają prawa takie same jak przy filtracji,
- obciążenie dynamiczne - jak w przypadku nawierzchni drogowej, grunt podłoża jest szybciej uplastyczniany i cząstki gruntu łatwiej przenikają przez geotekstylię. Proponuje się tutaj następujące, zastrzone kryteria :

$$\text{jeśli } U \leq 18: \quad O_{95} < d_{50}$$

$$\text{jeśli } U > 18: \quad O_{95} < 18 \times d_{50} / U,$$

gdzie:  $O_{95}$  oznacza średnicę efektywną geotekstyliów,

$d_{50}$  średnica gruntu podłoża,

$U$  jest wskaźnikiem różnoziarnistości gruntu.

Obciążenie statyczne w tym przypadku rozumiane może być jako ciężar własny konstrukcji nawierzchni oraz statyczne obciążenie od pojazdów drogowych.

Obciążenie dynamiczne interpretuje się jako obciążenie powtarzalne od ruchu.

## **SIŁY ROZCIĄGAJĄCE WARSTWĘ GEOSYNTETYKÓW**

**Geosyntetyki użyte jako warstwy separacyjne muszą mieć odpowiednią wytrzymałość, z uwagi na naprężenia na granicy miękkiego gruntu podłoża i materiału gruboziarnistego, powodujące rozrywanie tego materiału.**

**Na szczególną uwagę zasługują przepisy opracowane przez Institut für textile Bau und Umwelttechnik GmbH.**

## Klasyfikacja geowłóknin wg kryterium mechanicznego

<b>Klasa geowłókniny wg kryterium mechanicznego (Robustness Class)</b>	<b>CBR (X - s)</b>	<b>Masa powierzchniowa (X-s)</b>
<b>GRK 1</b>	<b><math>\geq 0.5 \text{ kN}</math></b>	<b><math>\geq 100 \text{ g/m}^2</math></b>
<b>GRK 2</b>	<b><math>\geq 1.0 \text{ kN}</math></b>	<b><math>\geq 100 \text{ g/m}^2</math></b>
<b>GRK 3</b>	<b><math>\geq 1.5 \text{ kN}</math></b>	<b><math>\geq 150 \text{ g/m}^2</math></b>
<b>GRK 4</b>	<b><math>\geq 2.5 \text{ kN}</math></b>	<b><math>\geq 250 \text{ g/m}^2</math></b>
<b>GRK 5</b>	<b><math>\geq 3.5 \text{ kN}</math></b>	<b><math>\geq 300 \text{ g/m}^2</math></b>

## Klasyfikacja geotkanin wg kryterium mechanicznego

<b>Klasa geotkaniny wg kryterium mechanicznego (Robustness Class)</b>	<b>Wytrzymałość na rozciąganie (X - s)</b>	<b>Masa powierzchniowa (X-s)</b>
<b>GRK 1</b>	<b><math>\geq 60</math> kN/m</b>	<b><math>\geq 230</math> g/m<sup>2</sup></b>
<b>GRK 2</b>	<b><math>\geq 90</math> kN/m</b>	<b><math>\geq 280</math> g/m<sup>2</sup></b>
<b>GRK 3</b>	<b><math>\geq 150</math> kN/m</b>	<b><math>\geq 320</math> g/m<sup>2</sup></b>
<b>GRK 4</b>	<b><math>\geq 180</math> kN/m</b>	<b><math>\geq 400</math> g/m<sup>2</sup></b>
<b>GRK 5</b>	<b><math>\geq 250</math> kN.m</b>	<b><math>\geq 550</math> g/m<sup>2</sup></b>

**Zastosowanie danej klasy geosiatek i geotkanin związane z rodzajem kruszywa rozkładanego na geosyntetykach oraz z metodą wykonania warstwy**

<b>Zakres stosowania</b>	<b>Warunki wbudowania w aspekcie obciążenia ruchem budowlanym</b>			
	<b>AB1</b>	<b>AB2</b>	<b>AB3</b>	<b>AB4</b>
<b>AS1</b>	<b>GRK1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
<b>AS2</b>	<b>GRK2</b>	<b>GRK2</b>	<b>GRK3</b>	<b>GRK4</b>
<b>AS3</b>	<b>GRK3</b>	<b>GRK3</b>	<b>GRK4</b>	<b>GRK5</b>
<b>AS4</b>	<b>GRK4</b>	<b>GRK4</b>	<b>GRK5</b>	<b>(1)</b>
<b>AS5</b>	<b>GRK5</b>	<b>GRK5</b>	<b>(1)</b>	<b>(1)</b>

**Zakres stosowania:**

**AS1 - Warunki wbudowania nie mają wpływu na własności geosyntetyków,**

**AS2 - Geosyntetyki umieszczone są pomiędzy gruntem drobnoziarnistym a gruboziarnistym**

**AS3 - Geosyntetyki umieszczone są pomiędzy gruntem drobnoziarnistym a gruboziarnistym o zawartości do 40 % kamieni jak również ostrokrawędzistego kruszywa drobno lub gruboziarnistego,**

**AS4 - Geosyntetyki umieszczone są pomiędzy gruntem drobnoziarnistym a gruboziarnistym o zawartości pow. 40 % frakcji kamienistej i bloków jak również kruszywa łamanego drobno lub gruboziarnistego,**

**AS5 - Geosyntetyki umieszczone są pomiędzy gruntem drobnoziarnistym a gruboziarnistym o zawartości pow. 40 % frakcji kamienistej lub bloków o ostrych krawędziach.**

## Warunki rozłożenia kruszywa:

AB1 Ręczne rozłożenie warstwy kruszywa i zagęszczenie bez istotnego wpływu obciążenia na warstwę geotekstyliów,

AB2 Rozłożenie i zagęszczenie warstwy kruszywa mechaniczne bez istotnego odkształcenia warstwy geotekstyliów,

AB3 Rozłożenie i zagęszczenie warstwy kruszywa mechaniczne, przy podwyższonych odkształceniach, tj. głębokość koleiny od 5 do 15 cm

AB4 Rozłożenie i zagęszczenie warstwy kruszywa mechaniczne, przy podwyższonych odkształceniach, tj. głębokość koleiny pow.15 cm.



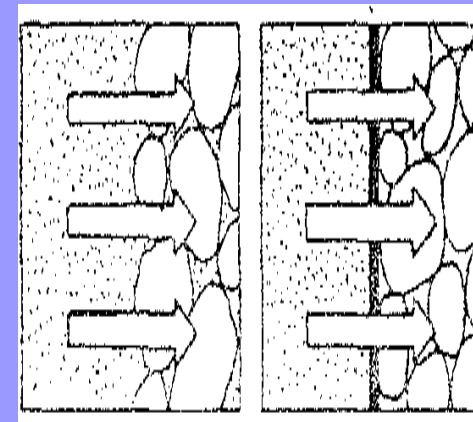
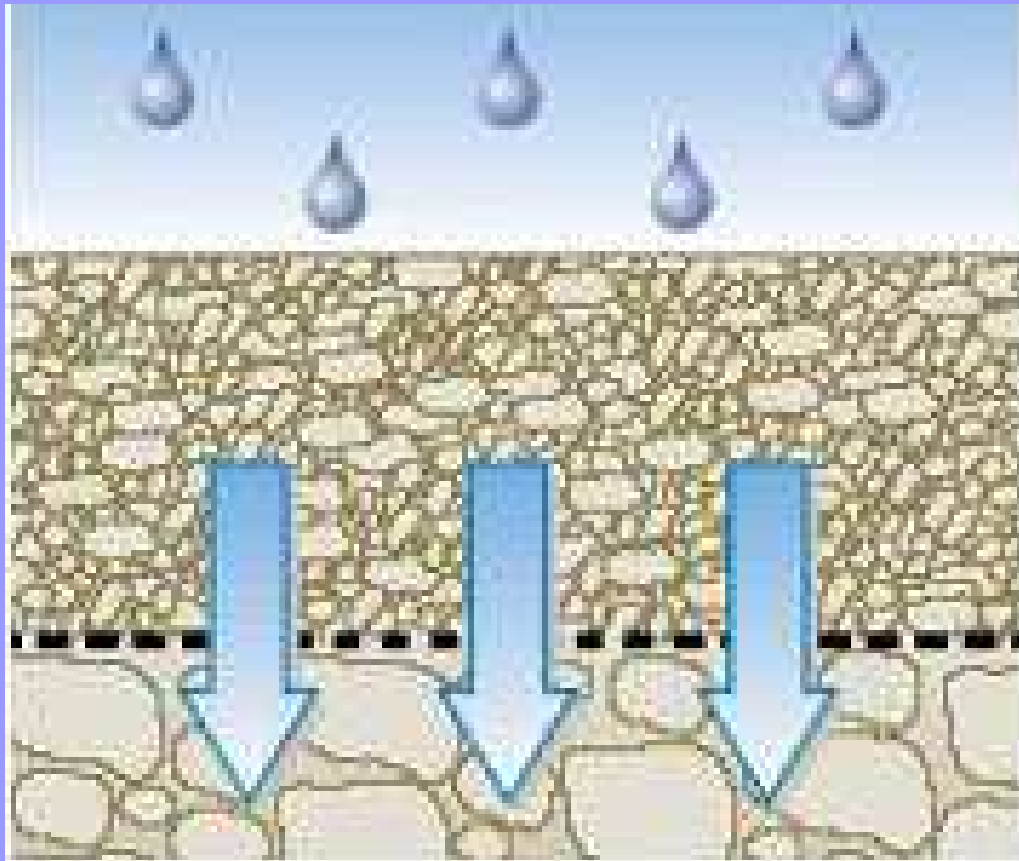
# Wymagania wg poradnika szwajcarskiego dla geotekstyliów do warstwy separacyjnej poniżej nasypu ziemnego dla podłoża słabonośnego

## geowłókniny

## geotkaniny

- |                          |   |                           |                            |
|--------------------------|---|---------------------------|----------------------------|
| <input type="checkbox"/> | masa powierzchniowa                       | $\geq 200 \text{ g/m}^2$  | $\geq 200 \text{ g/m}^2$ ; |
| <input type="checkbox"/> | wytrzymałość na rozierwanie               | $\geq 15 \text{ kN/m}$ .  | $\geq 40 \text{ kN/m}$ .;  |
| <input type="checkbox"/> | wydłużenie przy rozciąganiu               | $\leq 40\%$               | $\leq 25\%$ ;              |
| <input type="checkbox"/> | siła przebijająca xśr-s                   | $\geq 2.5 \text{ kN}$     | $\geq 2.5 \text{ kN}$ ;    |
| <input type="checkbox"/> | średnica efektywna $O_w$                  | $< 2.5 \times d_{50}$     | $< 2.5 \times d_{50}$ ;    |
| <input type="checkbox"/> |   | $d_{50} < O_w < d_{90}$ ; | $d_{50} < O_w < d_{90}$    |
| <input type="checkbox"/> | wsp. k przy ciśnieniu $2 \text{ kN/m}^2$  | $> 10^{-3} \text{ m/s}$   | $> 10^{-3} \text{ m/s}$ ;  |
| <input type="checkbox"/> | wsp. k przy ciśnieniu $20 \text{ kN/m}^2$ | $> 10^{-4} \text{ m/s}$   | $> 10^{-4} \text{ m/s}$ ;  |

# FUNKCJA FILTRACYJNA



**Efektywność działania filtru jest oceniana skutecznością w zapobieganiu erozji wewnętrznej, przy czym rozmiary porów w warstwie filtrującej nie powinny być zbyt małe aby nie ulegały zatykaniu i nie zmniejszała się ich przepuszczalność. Analizuje się: gęstość objętościową szkieletu gruntowego, która w stopniu wyższym niż uziarnienie wpływa na stabilność gruntu. Uzyskanie gęstości objętościowej równej maksymalnej gęstości wg Proctora normalnego istotnie zmniejsza podatność gruntu na erozję wewnętrzną. Wskaźnik zagęszczenia niższy od 95% wskazuje na większą wrażliwość gruntu i podwyższone ryzyko zatykania porów w geotekstyliach,**

**wodoprzepuszczalność gruntu; obecność geotekstyliów nie powinna powodować wzrostu ciśnienia porowego na obszarze drenowanym. Aby to spełnić dobór geotekstyliów powinien być dokonany w zależności od przepuszczalności gruntu oraz prędkości przepływu przez geotekstyli.**

- nie wolno wtedy dopuścić do efektu „pompowania” drobnych cząstek gruntu do podbudowy, co pogarsza jej przepuszczalność, redukuje moduł sprężystości a także zwiększa odkształcenia trwałe. Odkształcenia podbudowy przenoszą się na wyższe warstwy nawierzchni, które ulegają przedwczesnemu zniszczeniu. „Pompowanie” drobnych cząstek można zmniejszyć tylko w przypadku gdy rozmiary porów geotekstyliów są dostatecznie małe, aby przechwycić cząstki iłu. Powiększenie grubości filtra powoduje bardziej równomierny rozkład naprężeń kontaktowych pomiędzy podbudową i podłożem nawierzchni, jak również zapewnia efekt przestrzennego filtrowania wody.
- Obecnie uważa się że najwyższy możliwy stopień ochrony przed pompowaniem drobnych cząstek gruntu jest zapewniony przez zastosowanie geotekstyliów o grubości co najmniej 4 mm, minimalnej masie powierzchniowej 600 g/m<sup>2</sup> oraz wartości:

$$O_{90} < 60 \mu\text{m}.$$

Ponadto, wg przepisów francuskich, średnica porów geotekstyliów pełniących funkcje filtru powinna spełnić warunek

$$O_f \leq C d_{85},$$

gdzie  $C = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4$ , przy czym  $C_1$  jest współczynnikiem rozmieszczenia porów,  $C_2$  oznacza gęstość gruntu,  $C_3$  typ przepływu hydraulicznego,  $C_4$  współczynnik funkcji geotekstyliów; wartości współczynników są podane w odpowiedniej tabelicy. Dla gruntów, których cząstki łatwo tworzą zawiesiny (drobne piaski, piaski pylaste) geotekstylium powinny zatrzymywać grubsze cząstki i przepuszczać drobniejsze, dlatego powinno być spełnione kryterium dwustronne  $4 \times d_{15} < O_f < C \times d_{85}$ .

Poradnik francuski podaje również dodatkowe wymagania przy stosowaniu geotekstyliów na miękkich gruntach:

- dla gruntów o  $CBR > 2$   $O_{95 \max} < 0.2 \text{ mm}$
- dla gruntów o  $CBR < 2$   $O_{95 \max} < 0.15 \text{ mm}$

## Wymagania niemieckie dla warstw separacyjnych i filtracyjnych:

- masa powierzchniowa  $\geq 250 \text{ g/m}^2$ ;
- siła przebijająca  $\text{CBR} > 2500 \text{ N}$ ;
- wsp. k wzdłuż włókien przy ciśnieniu  $2 \text{ kPa} \geq 10^{-3} \text{ m/s}$ ;
- wsp. k wzdłuż włókien przy ciśnieniu  $20 \text{ kPa} \geq 5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ;
- wsp. k pionowo do włókien przy ciśnieniu  $2 \text{ kPa} \geq 10^{-3} \text{ m/s}$ ;
- wsp. k pionowo do włókien przy ciśnieniu  $20 \text{ kPa} \geq 5 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ ;
- dopuszczalny rozmiar porów  $O_{90}$  w granicach  $0.06$  do  $0.20 \text{ mm}$ ;
- grubość przy ciśnieniu  $2 \text{ kPa} \geq 25 \times O_{90}$ .

## Kryteria filtru opracowane w różnych krajach

Kryterium:	Obciążenie	statyczne	Obciążenie	dynamiczne
	Grunty drobnoziarniste	Grunty gruboziarniste	Grunty drobnoziarniste	Grunty gruboziarniste
Angielskie	$O_{90} \leq d_{90}$ i	$O_{90} \leq 10d_{50}$	-	-
Francuskie	$4xd_{15} \leq Of \leq$	$Cxd_{85}$	-	-
Niemieckie -tkaniny -włókniny	$O_{90} \leq d_{90}$ ; $O_{90} \leq 10xd_{50}$ $0.06 \leq O_{90} \leq 0.2$ mm $0.06 \leq O_{90} \leq 0.4$ mm	$O_{90} < 5xd_{10} \times U^{0.5}$	-	-
Szwajcarskie	$O_w \leq 6xd_{60}$ -niespoiste $O_w \leq d_{85}$	$O_w \leq 5xd_{10} \times U^{0.5}$ $O_w \leq d_{85}$	wg badań	$O_w \leq 1.5xd_{10} \times U^{0.5}$ $O_w \leq d_{60}$
Amerykańskie	$0.074 \leq d_{85}$	$O_{95} \leq d_{85}$	-	-
-tkaniny	$O_{90} <$	$d_{90}$	-	-
-włókniny	$O_{90} <$	$1.8xd_{90}$	-	-

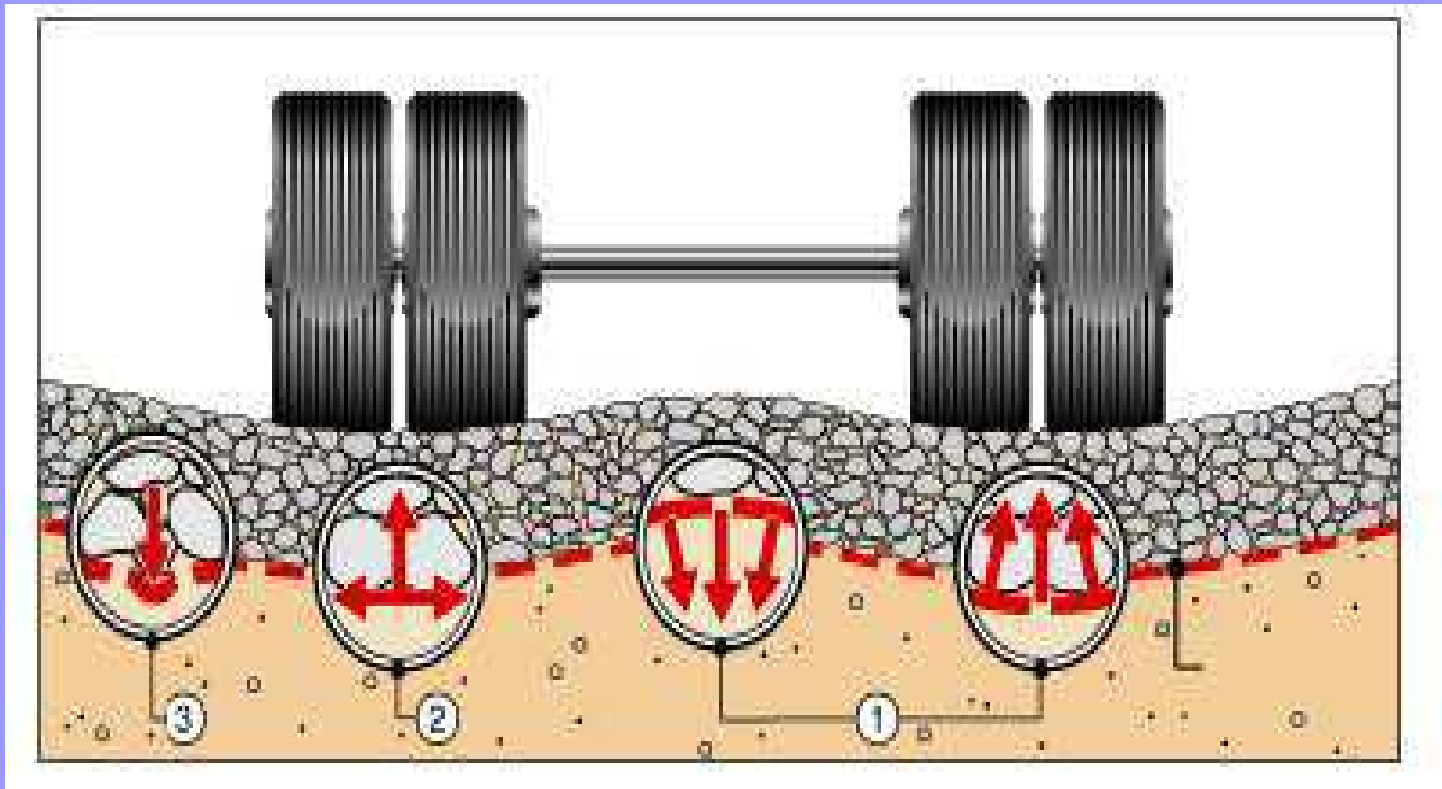
$O_{90}$ ,  $O_{95}$ ,  $O_f$ ,  $O_w$  - odpowiednie średnice efektywne porów w geotekstyliach

$d_{50}$ ,  $d_{85}$ ,  $d_{60}$ , itd.- charakterystyczne średnice cząstek gruntu podłoża.

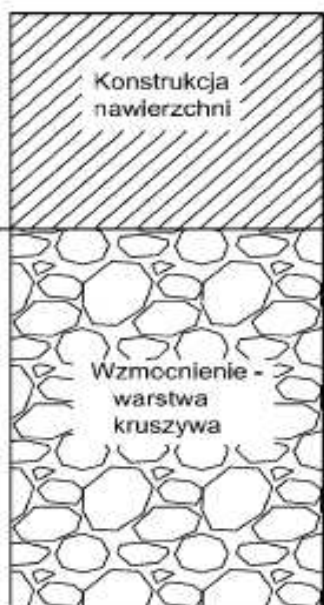
U - wskaźnik różnoziarnistości gruntu.



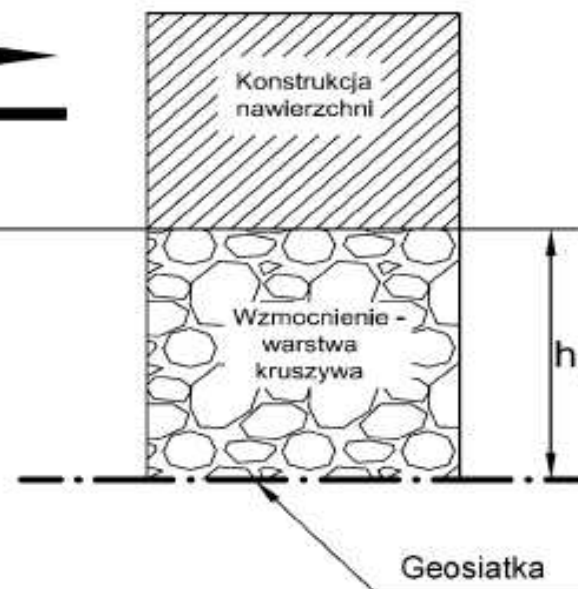
# WZMOCNIENIE PODŁOŻA NAWIERZCHNI



Model obliczeniowy  
w programie Bisar



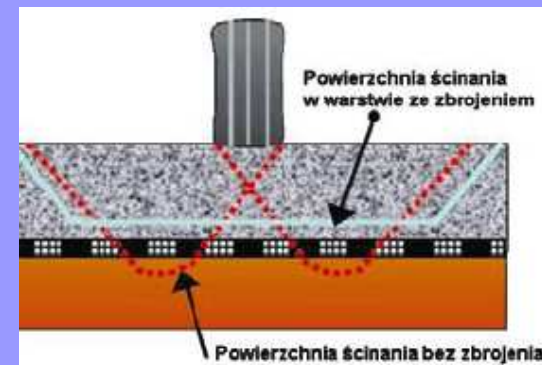
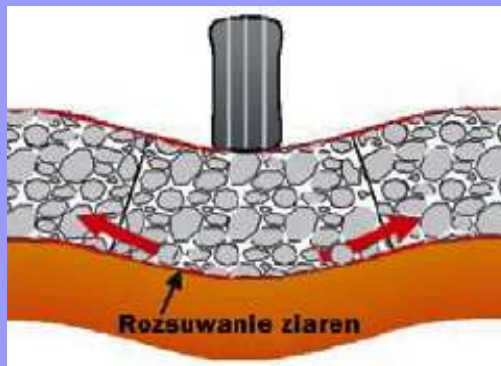
Model rzeczywisty



$h = h_z$  (wsp. redukcji)

**Warstwa kruszywa ułożona na podłożu  
gruntowym ulega postępującemu  
zniszczeniu wywołanemu:**

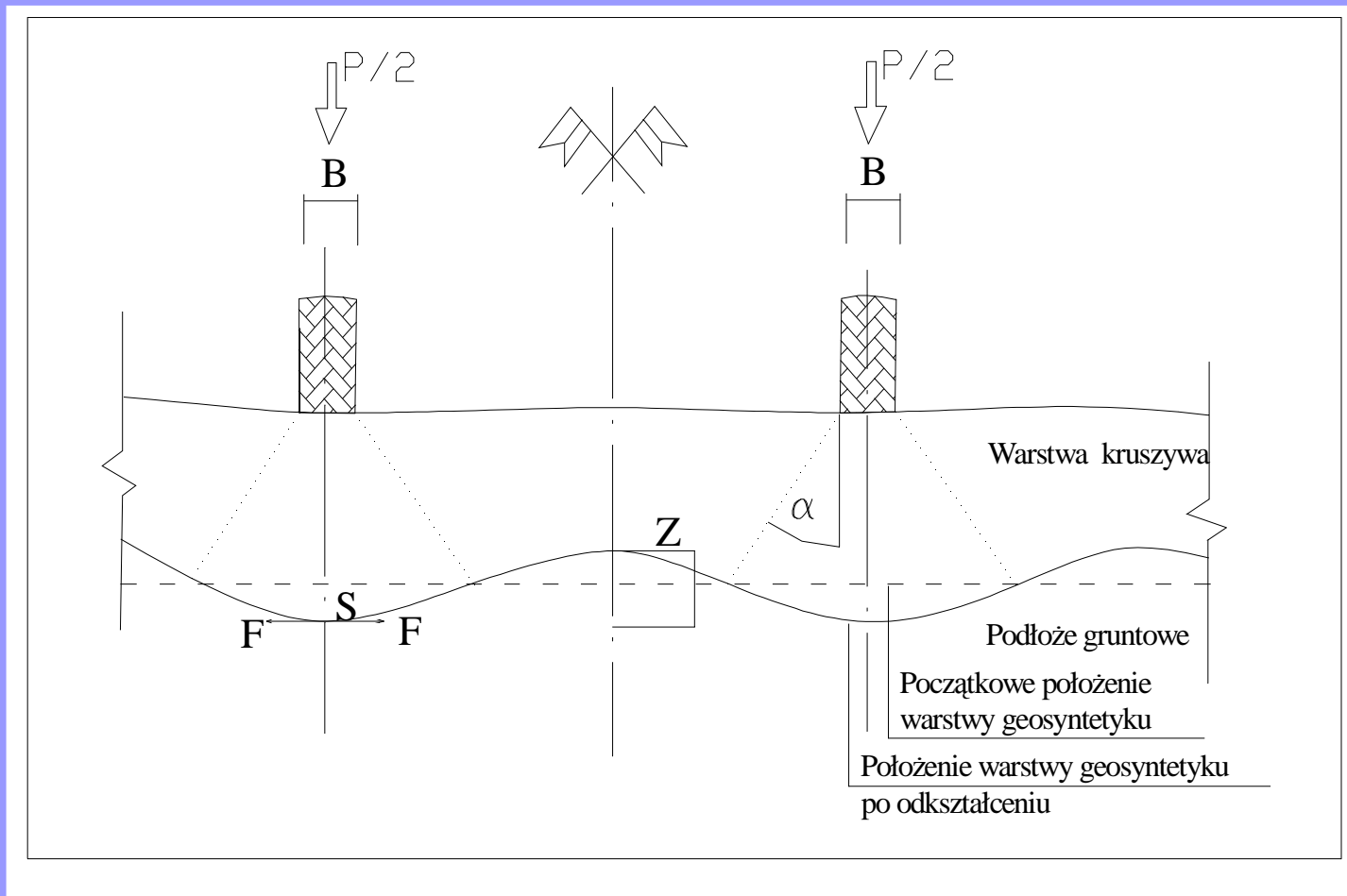
- ❑ bocznymi przemieszczeniami kruszywa przy rozciąganiu i ściskaniu,
- ❑ zanieczyszczeniem kruszywa przez drobne cząstki gruntu,
- ❑ zagłębianiem się ziarn w podłożu,
- ❑ zniszczeniem ziarn kruszywa od powtarzalnych obciążeń



**Efekt wzmocnienia podłoża przy użyciu geosyntetyków jest osiągnany poprzez równoczesne działanie dwóch mechanizmów:**

- ☐ mechanizm membrany,**
- ☐ mechanizm ograniczenia bocznych przemieszczeń poziomych.**

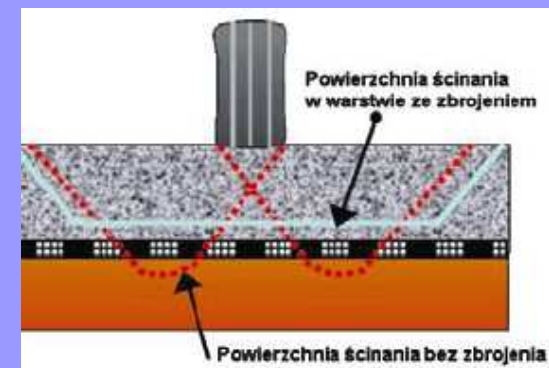
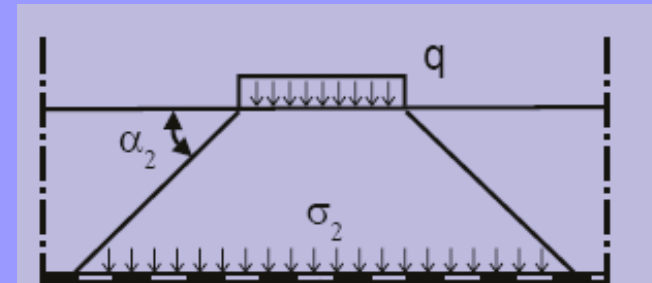
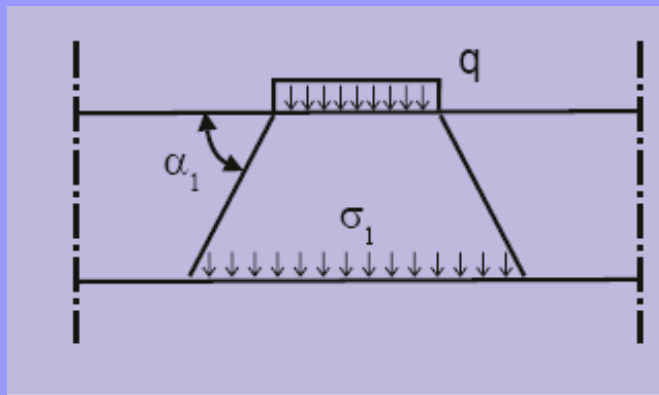
# DEFORMACJA POD WPLYWEM OBCIĄŻENIA WARSTWY GEOSYNTETYKU UŁOŻONEGO NA SŁABYM PODŁOŻU



## WARUNKI EFEKTYWNEGO WZMACNIANIA GEOSYNTETYKAMI:

- Zalecana nośność podłoża istniejącego poniżej której zbrojenie geosyntetykiem staje się efektywne:  $E_{v2} < 30$  MPa
- Warstwa kruszywa 30-60 cm; generalnie warstwa cieńsza od 30 cm nie jest zalecana ze względów praktycznych, (układanie, zagęszczanie, nierówności podłoża, wymiar ziarn); dla grubości warstw powyżej 30-50 cm literatura zaleca stosowanie dwóch warstw geotekstyliów,
- Minimalne wydłużenie 15%, przebicie trzpieniem CBR min.1400N
- Minimalna odporność na perforację stożkiem wynosi 30 mm.
- Dla ekstremalnie niskich nośności podłoża ( $C_u < 15$  kN/m<sup>2</sup>) powinno się zachować szczególną ostrożność podczas układania warstwy,

**Bardzo ważne:  
powierzchnia geotkaniny musi mieć  
szorstką teksturę!**



**SŁABONOŚNE GRUNTY NATURALNE TO GRUNTY PYLASTE, GLINIASTE, ORGANICZNE ORAZ OGÓLNIIE GRUNTY SPOISTE O PODNIESIONEJ WILGOTNOŚCI. GRUNTY ANTROPOGENICZNE TO DLA PRZYKŁADU RÓŻNEGO RODZAJU NASYPY NIEBUDOWLANE, W REGIONIE GÓRNEGO ŚLĄSKA NIERZADKO STARE HAŁDY ŁUPKÓW PRZYWĘGLOWYCH NIEPRZEPALONYCH.**



## Charakterystyki gruntów stosowane przy wzmacnianiu podłoży gruntowych wg poradnika francuskiego:

Rodzaj oznacze nia	Parametr	Jedn.	Ocena podłoża		
			SU <sub>1</sub>	SU <sub>2</sub>	SU <sub>3</sub>
Badanie CBR	CBR	%	CBR > 5	5 > CBR > 2	2 > CBR
Badanie ściananie	Kohezja C <sub>U</sub>	kPa	C <sub>U</sub> > 150	150 > C <sub>U</sub> > 60	60 > C <sub>U</sub> > 10
Obciąże nie płytą	Wtórny moduł odkształcenia	MPa	EV2 > 20	20 > EV2 > 5	5 > EV2

# Charakterystyki gruntów stosowane przy wzmacnianiu podłoży gruntowych wg poradnika szwajcarskiego:

Nośność podłoża	CBR [%]	$C_U$ [kPa]	$M_{E1}$ [MPa]	$M_{EII}$ [MPa]	$\Phi$ [°]	Klasa Nośności
U= 3 (bardzo niska)	2	10- 60	< 3	<5	12 -18	S <sub>0</sub>
U=2 (niska)	2 - 5	60 -150	3 - 10	5 -20	15 - 25	S <sub>1</sub>
U= 1 (średnia)	5 - 10	150 -300	10 – 25	20 - 50	25 - 35	S <sub>2</sub>

### Uwagi:

$M_{E1}$  - moduł ścisłości związany z modułem wg badań niemieckich  $E_{V1}$   
wzorem:  $E_{V1} = 0.79M_{E1}$

$M_{EII}$  - moduł ścisłości związany z modułem wg badań niemieckich  $E_{V2}$   
wzorem:  $E_{V2} = 0.79 M_{EII}$

# PODSTAWOWE WŁAŚCIWOŚCI GEOSYNTETYKÓW WAŻNE DLA EFEKTÓW ICH PRACY

## **(a) W PRZYPADKU FUNKCJI SEPARACJI I FILTRACJI:**

- GRUBOŚĆ PRZY NACISKACH 2, 20 I 200 KPA, ORAZ MASA POWIERZCHNIOWA**
- WYTRZYMAŁOŚĆ NA ROZCIĄGANIE JAKO MIARA ODPORNOŚCI NA ROZDARCIE OD ZIARNA KRUSZYWA,**
- CHARAKTERYSTYCZNY WYMIAR PORÓW  $O_{90}$**
- WODOPRZEPUSZCZALNOŚĆ PROSTOPADŁA I WZDŁUŻNA**
- WYTRZYMAŁOŚĆ NA PRZEBICIE STATYCZNE (METODA CBR) I DYNAMICZNE (METODA STOŻKA)**

**(b) W PRZYPADKU FUNKCJI WZMOCNIENIA:**

- WYTRZYMAŁOŚĆ NA ROZCIĄGANIE**
- ZALEŻNOŚĆ POMIĘDZY ODKSZTAŁCENIEM I OBCIĄŻENIEM: ZASTOSOWANE GEOSYNTETYKI WG PRZEPISÓW NIEMIECKICH POWINNY PRZENOSIĆ W KIERUNKU WZDŁUŻNYM I POPRZECZNYM SIŁĘ ROZCIĄGAJĄCĄ MIN. 10 KN/M PRZY 3%-WYM WYDŁUŻENIU W CZASIE PODCZAS PRÓBY ROZCIĄGANIA.**
- MODUŁ SZTYWNOŚCI,**
- GRANICZNE WYDŁUŻENIE,**
- CHARAKTERYSTYKI PEŁZANIA I RELAKSACJI NAPRĘŻEŃ,**
- WSPÓŁCZYNNIKI TARCIA KRUSZYWA PO POWIERZCHNI GEOSYNTETYKÓW.**
- SIŁA PRZEBICIA WG METODY CBR I METODY STOŻKA**

## OBLICZENIOWE OKREŚLENIE WYMAGANEJ WYTRZYMAŁOŚCI GEOSYNTETYKÓW

W chwili obecnej teoretyczne podstawy i doświadczenia praktyczne nie pozwalają jeszcze na opracowanie ogólnie obowiązującej metody wymiarowania grubości warstwy ulepszonego podłoża z zastosowaniem geosyntetyków, nie mniej dla celów praktycznych istnieje np. możliwość wykorzystania uproszczonych elementów metody stanu granicznego przy sprawdzeniu warunku stateczności wewnętrznej krótkotrwałej dla styku zbrojenia geosyntetycznego i warstwy kruszywa .

Stosowane są także inne metody wymiarowania, jak np. teoretyczno-empiryczna metoda projektowania wzmocnienia podbudów z kruszyw geosiatkami TENSAR na słabym podłożu, lub empiryczna metoda szwajcarsko-niemiecka, oparta na współczynnikach doświadczalnych charakteryzujących podłoże, obciążenie ruchem, warstwę kruszywa i dopuszczalne odkształcenie .

## SZWAJCARSKO- NIEMIECKA METODA EMPIRYCZNA WYMIAROWANIA GEOSYNTETYKÓW JAKO ELEMENTU WZMOCNIENIA PODŁOŻA

Otrzymane rezultaty i wyniki badań posłużyły do zmodyfikowania wcześniej stosowanej metody i przy zastosowaniu metod statystycznych, umożliwiły sformułowanie empirycznych zależności, umożliwiających obliczenie wytrzymałości warstwy geosyntetyku przy użyciu wzorów regresyjnych.

Przeciętna grubość warstwy kruszywa wzmocnianego geosyntetykami została ustalona na  $d = 30$  cm. W przypadku zastosowania warstw grubszych  $d = 50 - 80$  cm można je zmniejszyć o  $1/3$  wyjściowej grubości, tj. do około 35- 55 cm, przez zastosowanie dwóch warstw geotekstyliów. Jak się uważa, wpływ umocnienia geosyntetykami maleje z grubością stosowanej warstwy kruszywa. Np. w przypadku geosiatek o sztywnych węzłach stwierdzono że wpływ zbrojenia przy użyciu geosiatki jest znaczący dla warstwy żwiru lub pospółki o grubości nie większej niż 300 mm i dla warstwy tłucznia lub kruszywa łamanego o ciągłym uziarnieniu o grubości nie większej niż 500 mm.

**Wzory stosowane w metodzie uwzględniają następujące parametry:**

- obciążenie ruchem, parametr V**
- dopuszczalną głębokość koleiny, parametr R**
- rodzaj gruntu podłoża, parametr U**
- rodzaj kruszywa, parametr K**
- grubość warstwy kruszywa, parametr D.**

**Metoda umożliwia wyznaczenie minimalnej wytrzymałości na rozciąganie warstwy wzmacniającej z geosyntetyku, przy założonym obciążeniu ruchem i przyjętej grubości warstwy kruszywa, dla podłoża, którego parametry i nośność są znane i wyrażone przez kohezję i wskaźnik CBR.**

**W przedstawianej metodzie rozróżniono 5 kategorii ruchu, której nie należy jednak utożsamiać lub kojarzyć z klasyfikacją obciążenia ruchem stosowaną do projektowania nawierzchni dróg publicznych. Proponuje się natomiast odnieść je do ruchu budowlanego odbywającego się po wzmocnionym podłożu.**

## Klasyfikacja ruchem – parametr V

Klasyfikacja ruchu	Parametr V	Rodzaj ruchu
lekki	1,0	dop. przejazd < 10 s.c./dobę, pojazdów o ciężarze < 36t i o nacisku na oś nie przekraczającym 10t
średni	2,0	dop. przejazd 10-50 s.c./dobę
ciężki	2,5	dop. przejazd 50-100 s.c./dobę
bardzo ciężki	3,0	dop. przejazd > 100 s.c./dobę

W metodzie uwzględnia się także przypadek gdy po projektowanej drodze poruszają się pojazdy ponadnormatywne, tzn. o ciężarze przekraczającym 36 t, dla których przejazd po drogach publicznych jest zabroniony; wówczas wartość parametru V należy przyjmować za równą 4.



**W omawianej metodzie została przedstawiona także klasyfikacja umożliwiająca na podstawie sumy maksymalnych obciążeń dobowych, określić dopuszczalny maksymalny okres eksploatacji drogi.**

Ruch lekki	$\Sigma$ obciążeń 1000 t – 10 000 t
Ruch średni	$\Sigma$ obciążeń 10 000 t – 50 000 t
Ruch lekki	$\Sigma$ obciążeń 50 000 t – 100 000 t
Ruch bardzo ciężki	$\Sigma$ obciążeń > 100 000 t

## Dopuszczalna głębokość koleiny – parametr R.

Proponuje się dopuszczenie głębokości koleiny maksymalnie do 3 cm, przyjmując, że bezpośrednio przed ułożeniem podbudowy deformacja ta zostanie wyrównana

<b>Parametr R</b>	<b>Dopuszczalna maksymalna głębokość koleiny</b>
R = 3÷4	≤ 3 cm

## Nośność gruntu podłoża – parametr U

Metoda definiuje 5 klas nośności gruntu podłoża w zależności od wskaźnika CBR, wartości modułu ściśliwości oraz kohezji  $C_u$ .

Nośność gruntu podłoża	CBR [%]	$M_{E1}$ MPa	$C_u$ kN/m <sup>2</sup>	U
Bardzo mała	(1-3)	(2-6)	15-90	2.6-3
Mała	3-6	6-15	90-180	2.6-1.8
Średnia	6-12	15-30	180-360	1.8-0.7
Dobra	12-25	30-60	360-750	0.7-0.4
Bardzo dobra	>25	>60	750	<0.4

Wartość parametru U można wyznaczyć szczegółowo również za pomocą wzoru podanego poniżej, wstawiając do niego wartość wskaźnika CBR:

$$U = 4 - 1.092 \cdot \ln\left(\frac{CBR}{0.8}\right) \quad (1)$$

## Rodzaj kruszywa – parametr K.

Metoda stosuje klasyfikację kruszyw:

- Dla kruszywa naturalnego o uziarnieniu  $\Phi$  w przedziale 0÷250 mm i maksymalnej zawartości ziaren 0.02 mm  $\leq 3$  % , wartość parametru K=1,
- Dla kruszywa naturalnego o uziarnieniu  $\check{R}$  w przedziale 0÷250 mm i maksymalnej zawartości ziaren  $\leq 0.02$  mm  $\leq 15\%$ , wartość parametru K=2.
- Spełniony powinien być warunek  $D \geq 2 \cdot \Phi_{\max}$ , gdzie D jest grubością rozścielanej warstwy. Wskazane jest też, aby zastosowane kruszywo było kruszywem o ciągłym uziarnieniu, z własnych doświadczeń autorki wynika że niezbędny jest dodatek ziarn łamanych w ilości min. 25 %.

## WYMAGANIA DLA KRUSZYW, DO WZMOCNIENIA PODŁOŻA WSPÓŁPRACUJĄCYCH Z GEOSYNTETYKIEM

( $D_i$  - średnica przez którą przechodzi  $i$  % ziarn):

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \geq 5 \qquad \text{Zalecane } \geq 7$$

$$C_Z = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60} \cdot D_{10})} \geq 1$$

- Wskaźnik piaskowy  $WP > 40$
- Zawartość frakcji  $< 0.075$  mm  $< 10$  %

- Mrozoodporność**
- Wodoprzepuszczalność,  $k_6 \cdot 10^{-5}$  m/s**
- Wskaźnik CBR > 20 %**
- Kruszywo żuźlowe: odporność na rozpady: krzemianowy, żelazawy, wapienny, wymywalność jonów metali ciężkich**

## Grubość warstw kruszywa – parametr D.

W metodzie minimalną grubość warstw kruszywa uzależniono od wielkości obciążenia ruchem, parametru U i wskaźnika CBR.

Rodzaj ruchu Parametr V		Minimalna grubość warstwy kruszywa [cm]		
		U = 1.0 CBR=5.0%	U=2.0 CBR=2.0%	U=3.0 CBR =0.5%
Ruch lekki	1.0	30	40	60
Ruch ciężki	2.0	35	45	65
Ruch bardzo ciężki	3.0	40	50	70

## Grubość warstw kruszywa – parametr D.

W metodzie minimalną grubość warstw kruszywa uzależniono od wielkości obciążenia ruchem, parametru U i wskaźnika CBR.

Rodzaj ruchu Parametr V		Minimalna grubość warstwy kruszywa [cm]		
		U = 1.0 CBR=5.0%	U=2.0 CBR=2.0%	U=3.0 CBR =0.5%
Ruch lekki	1.0	30	40	60
Ruch ciężki	2.0	35	45	65
Ruch bardzo ciężki	3.0	40	50	70



## Wartość parametru D w zależności od grubości warstw zagęszczonego kruszywa i liczby warstw geosyntetyku

Grubość warstwy zagęszczonego kruszywa [cm]	Parametr D	
	Pojedyncza warstwa geosyntetyku	Dwie warstwy geosyntetyku
30÷40	3.0	6.0
40÷50	4.0	6.5
50÷80	5.0	7.5

W przypadku stosowania warstw grubszych 50÷80 cm ich grubość można zmniejszyć do 2/3 wyjściowej grubości w przypadku zastosowania dwóch warstw geotekstyliów. Jako uzasadnienie podaje się wyniki długoletnich doświadczeń, które pozwoliły stwierdzić, iż wpływ wzmocnień geosyntetykami maleje wraz ze wzrostem grubości warstwy kruszywa.

# Wytrzymałość geosyntetyków na rozciąganie.

Ostatecznie wymaganą wytrzymałość na rozciąganie geosyntetyków wzmacniających podłoże lub warstwę kruszywa określamy za pomocą wzoru :

$$R = [ 5 + K_1 + (1.5 \cdot V_1 \cdot R_1 \cdot U_1 \cdot D_1) ] \cdot W$$

gdzie:  $K_1, V_1, R_1, U_1, D_1$  – parametry pomocnicze

$$V_1 = (V + 0.6)^{0.9}$$

$$R_1 = 4 / (3 \cdot R^{0.08})$$

$$U_1 = 0.9 \cdot U^{1.2} \quad \text{dla CBR} \geq 2$$

$$U_1 = 0.75 \cdot e^{0.5 \cdot U} \quad \text{dla CBR} < 2$$

$$D_1 = 2.45 / D^{0.6}$$

$$K_1 = 3 \cdot K$$

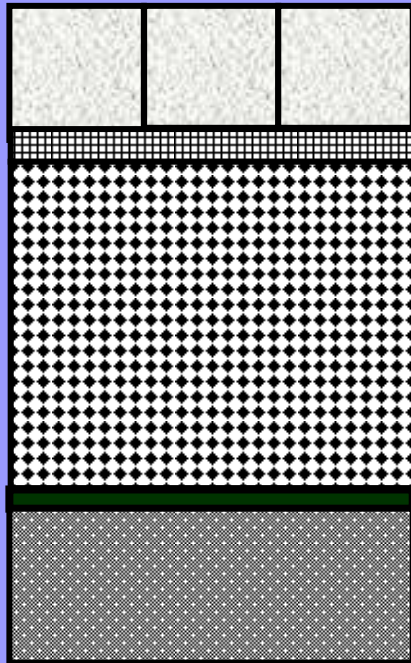
$W$  – współczynnik bezpieczeństwa:

$W = 1.0$  w przypadku, gdy zastosowane są geowłókniny igłowane;

$W = 2.0$  dla konstrukcji pracujących ponad 2 lata;

Niejednokrotnie można spotkać się z koniecznością stosowania współczynnika  $W > 2.0$  (nowe podejście nawet 5!!).

## NAWIERZCHNIA DZIEDZINCA ARKADOWEGO NA WAWELU



**Kostka z wapienia tureckiego  
Crema Rozalia, wysokości 18 cm**

**4 cm podsypka z płukanego  
kruszywa porfirowego 2/6.3 mm**

**34 cm podbudowa z kruszywa  
porfirowego 0/63 mm,  
stabilizowana mechanicznie,  
wyrównana warstwą kruszywa  
porfirowego 0/31.5 mm**

**wzmocnienie podłoża geotkaniną  
polipropylenową polską  
TOMATEX**

**10 cm wyrównanie podłoża  
kruszywem porfirowym 0/31.5  
mm**

# Nawierzchnia Dziedzińca Arkadowego na Wawelu - opis

**Kostka brukowa: Zespół Konserwatorów**

**Projekt techniczny: mgr inż.arch.B.Kisielewski, mgr inż. K.Baster**

**Konstrukcja: mgr inż.Henryk Ciońcka, dr inż. Wanda Grzybowska**

□ **Wzmocnienie podłoża geotkaniną polipropylenową polskiej produkcji TOMATEX PP 100 o parametrach: masa powierzchniowa 539 g/m<sup>2</sup>, wytrzymałość podłużna: 124 kN/m, poprzeczna: 112 kN, wydłużenie podłużne: max. 26 %, poprzeczne 11 %, wodoprzepuszczalność przy słupie wody 100 mm: 38,3 l/m<sup>2</sup>/sek, porowatość : 090 = 0.81 mm, 095 = 0.87 mm. Tkanina ma specjalnie dobrany splot, dla zapewnienia możliwie szorstkiej tekstury powierzchni. Parametry wytrzymałościowe geotkaniny zostały dobrane z dość dużym zapasem bezpieczeństwa.**

**Sprawdzenie wymaganej minimalnej wytrzymałości geosyntetyku na rozciąganie przeprowadzono dla następujących warunków:**

- a). obciążenie ruchem budowlanym bardzo ciężkim:  $V_1 = 3.2$ ;**
- b). dopuszczalna głębokość deformacji poniżej 3 cm :  $R_1 = 1.22$ ;**
- c). podłoże bardzo słabe, CBR:1-3 %,  $U_1 = 3.36$ ;**
- d). grubość warstwy kruszywa 35 cm, dla pojedynczej warstwy geotekstyliów:  
 $D_1 = 1.27$ ;**
- e). kruszywo :  $K_1 = 3.0$ .**

**Ostatecznie dla pojedynczej warstwy geosyntetyków i grubości warstwy kruszywa 35 cm:**

$$R_{G_{OST}} = R_{G_{WYM}} \times W_B = [5 + 3.0 + (1.5 \cdot 3.2 \cdot 1.22 \cdot 3.36 \cdot 1.27)] \times 2.0 = 33.0 \times 2.0 = 66 \text{ kN/m}$$

**Ponieważ geosyntetyk został ułożony na warstwie wyrównującej podłoże z kruszywa łamanego porfirowego 0 - 31.5 mm i przykryty warstwą kruszywa porfirowego 0/63 stabilizowanego mechanicznie, ze względów bezpieczeństwa, dobierając wytrzymałość geosyntetyku uwzględniono odporność materiału na przebicie (wg wymagań niemieckich, z uwagi na odporność na przebicie  $R_{G_{WYM}} > 90 \text{ kN/m}$ ), ostatecznie stosując geosyntetyk o wytrzymałości prawie dwukrotnie większej od obliczonej, tj. 124/112 kN/m.**



















# Uwagi końcowe

1. Jeżeli geotkanina ma być stosowana jako materiał wzmacniający, pracujący pod działaniem obciążeń zewnętrznych, powinna spełniać podstawowe wymagania warunkujące jej efektywność, tj. możliwie wysoką wytrzymałość na rozciąganie przy niewielkim wydłużeniu oraz szorstką teksturę powierzchni, umożliwiającą dobrą szczepność z kruszywem oraz z gruntem. Śliska tekstura nie zapobiega rozsuwaniu się ziaren kruszywa pod obciążeniem, a nawet je ułatwia, co pogarsza nośność warstwy.

2. Posługiwanie się wartością graniczną wytrzymałości na rozciąganie przy wydłużeniu ponad 15 % może niedoświadczonych projektantów wprowadzać w błąd, ponieważ limitującym parametrem tutaj jest wielkość maksymalnego dopuszczalnego wydłużenia pod koniec projektowanej eksploatacji obiektu, która wynosi maks. od 5% (dla obiektów mniej odpowiedzialnych) do 3% (dla obiektów skomplikowanych i o dużej odpowiedzialności) i 2% (dla przyczółków i podpór mostowych). Produkowane na krajach Unii Europejskiej są tkaniny o wytrzymałości granicznej ponad 1000 kN/m (np. Stabilenka) przy wydłużeniu rzędu kilkunastu procent, co zapewnia przenoszenie wysokich naprężeń już w fazie niewielkich wydłużeń.

3. Sprawą bezwzględnie bardzo ważną przy projektowaniu jest posługiwanie się współczynnikami materiałowymi A1–A6. Nie uwzględnienie ich może wywołać w efekcie stany awaryjne i katastrofy po upływie nawet szeregu lat po oddaniu danego obiektu do eksploatacji,



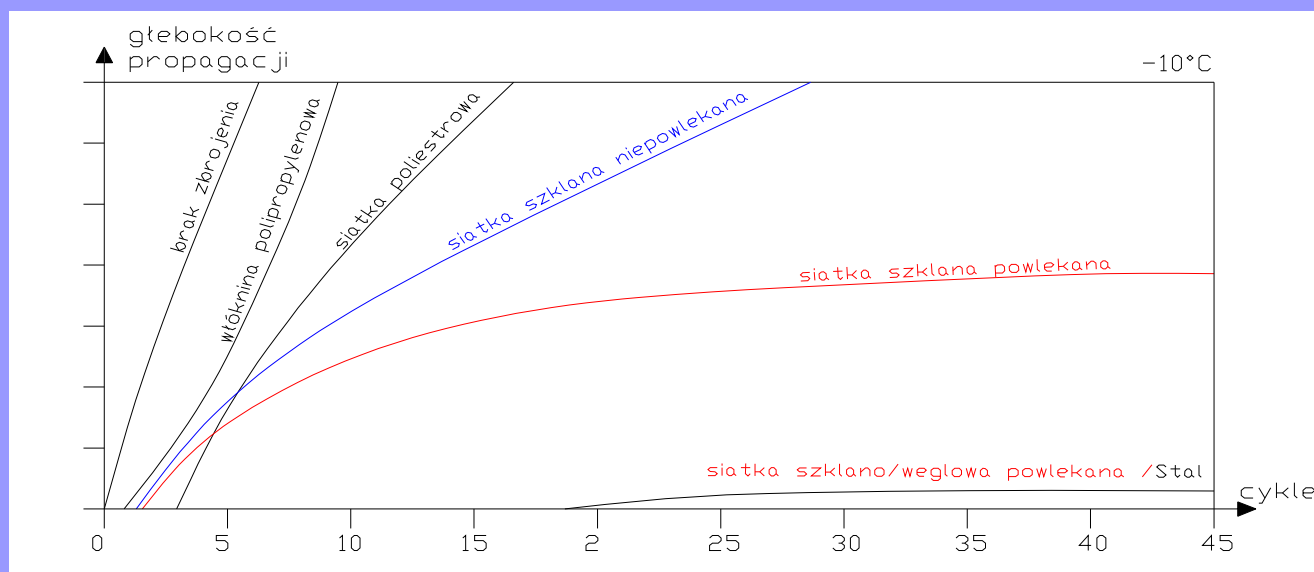
4. Nie należy przyjmować, że w konstrukcjach inżynierskich nałożenie na siebie bezpośrednio kilku warstw geosyntetycznych wywołuje zsumowanie się ich wytrzymałości jednostkowych. Geosyntetyki w konstrukcjach inżynierskich pełnią wówczas funkcję zbrojenia, jeżeli siły tarcia pomiędzy materiałem mineralnym a geosyntetycznym są wystarczające do sczepienia tych warstw.

Siły tarcia występujące między dwoma geosyntetykami na powierzchni ich przylegania są zależne od stopnia ich szorstkości i może okazać się, że powierzchnia styku geosyntetyków zamieni się w płaszczyznę poziomego poślizgu i taki błąd projektowy będzie powodem katastrofy budowlanej. Żelazną zasadą jest współpraca obu płaszczyzn: dolnej i górnej geosyntetyki z odpowiednio dobranym materiałem mineralnym,

5. Dość istotną rolę pełni wstępny naciąg umożliwiający geosyntetykowi spełnienie swojej funkcji zbrojącej już w momencie nanoszenia na geosyntetyk pierwszych warstw materiału mineralnego. Brak naciągu mści się zbyt dużym zużyciem materiału mineralnego, inicjacją rozsuwania się konstrukcji zazbrojonej w ten sposób i prowadzi do nieefektywnego wykorzystania funkcji zbrojącej zabudowanego geosyntetyku,

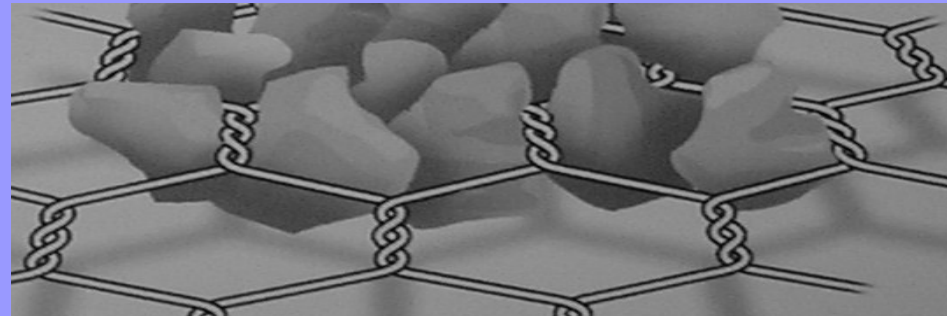
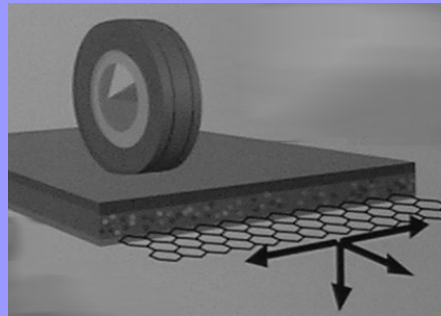
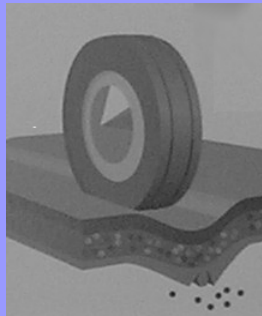
# Nowe generacje geosyntetyków

- Siatki szklane (S&P Glasphalt G) oraz szklano/węglowe (S&P Carbophalt G) powlekane polimeroasfaltem.



# Nowe generacje geosyntetyków

- Siatki stalowe (Bitufor)



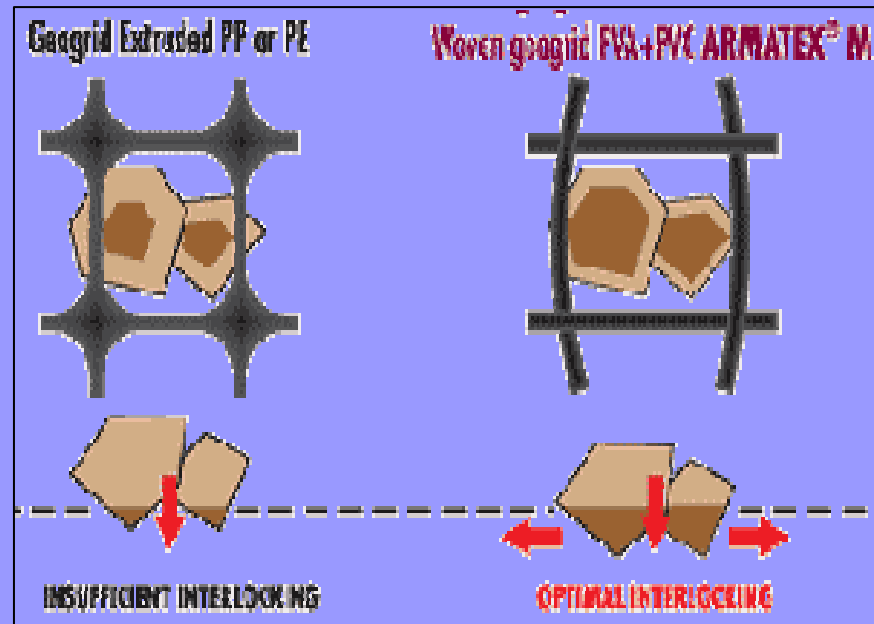
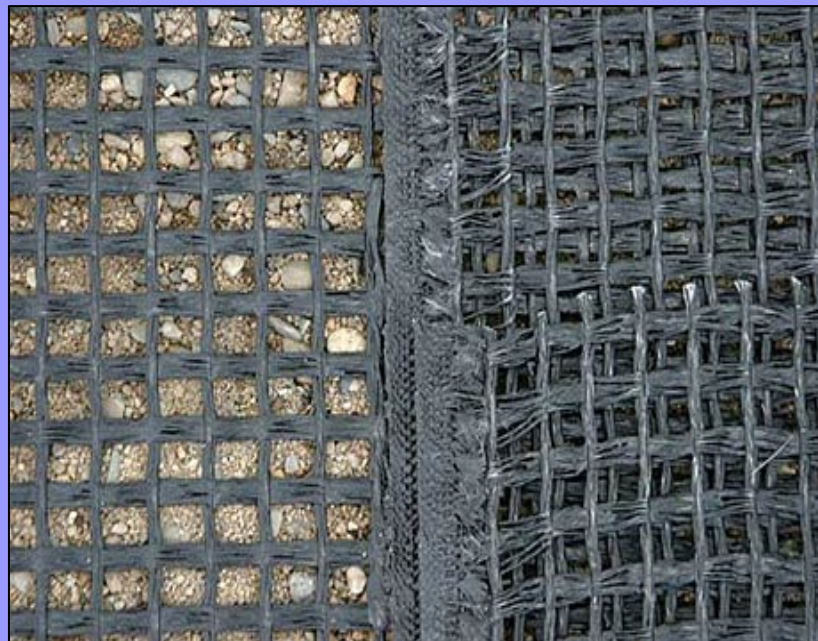
# Nowe generacje geosyntetyków

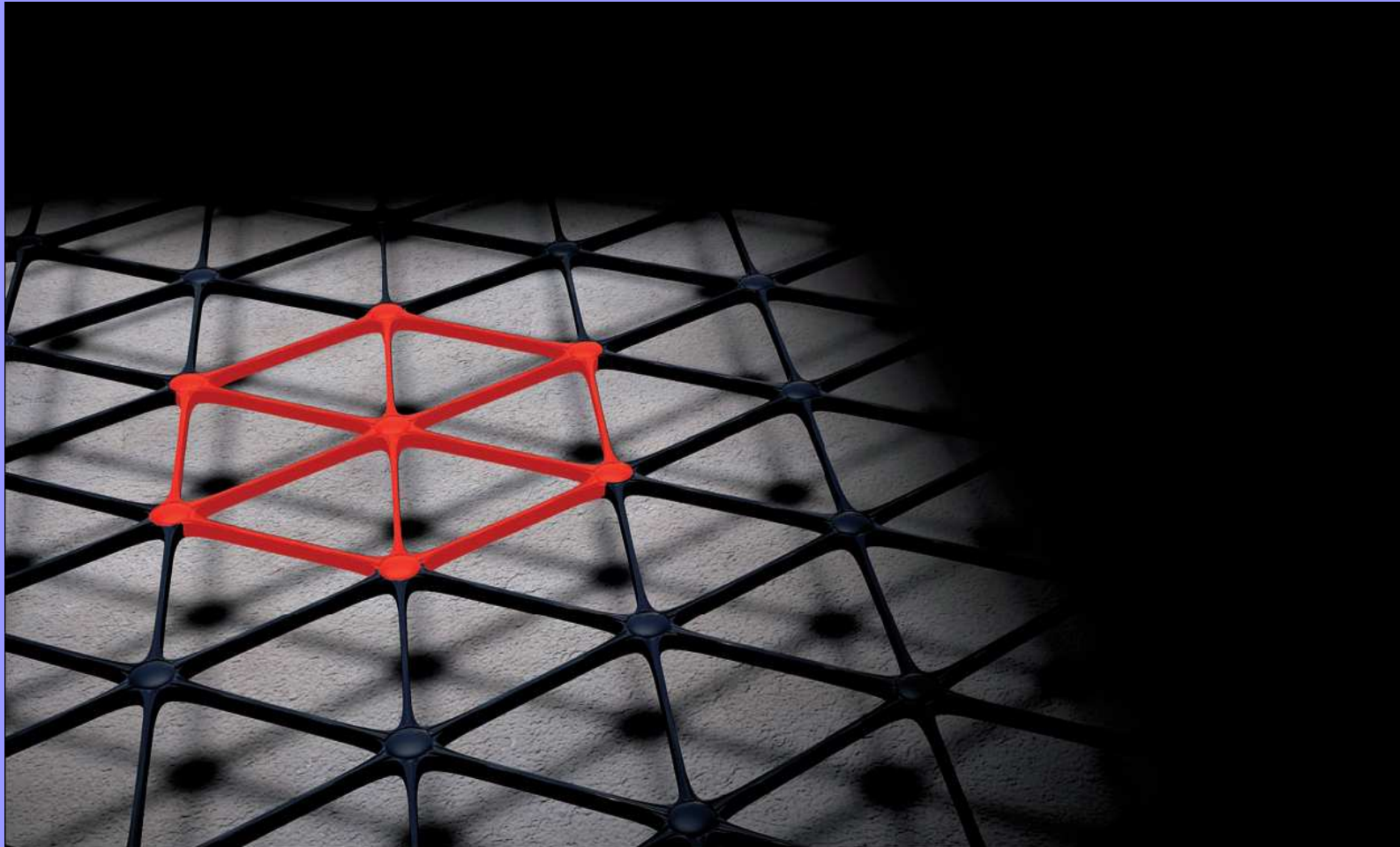
- Geosiatki poliestrowe powlekane (Certus)
  - Certus A - do wzmocnienia nawierzchni bitumicznych.
  - Certus G - do wzmocnienia i stabilizacji gruntu.



# Nowe generacje geosyntetyków

- Geosiatka tkana z wysokowytrzymałych włókien PVA (Armatex M)





**Georuszt trójosiowy Tensar TriAx.**

# Nowe generacje geosyntetyków

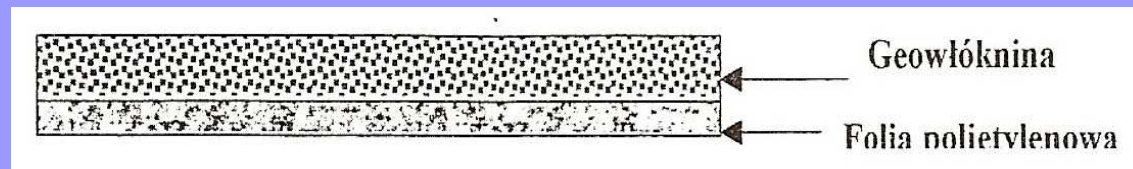
- Geokompozyt poliwinylalkoholowo-polipropylenowy (Armatex RSM)



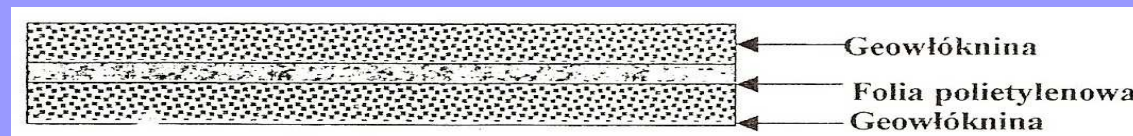


# Nowe generacje geosyntetyków

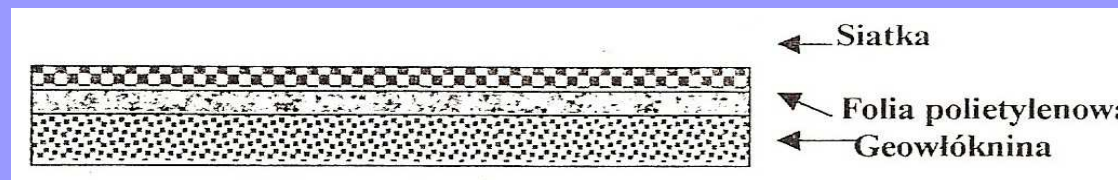
- **Gewłókniny oraz geokompozyty Filtex**



geowłóknina powleczone jednostronnie folią polietylenową



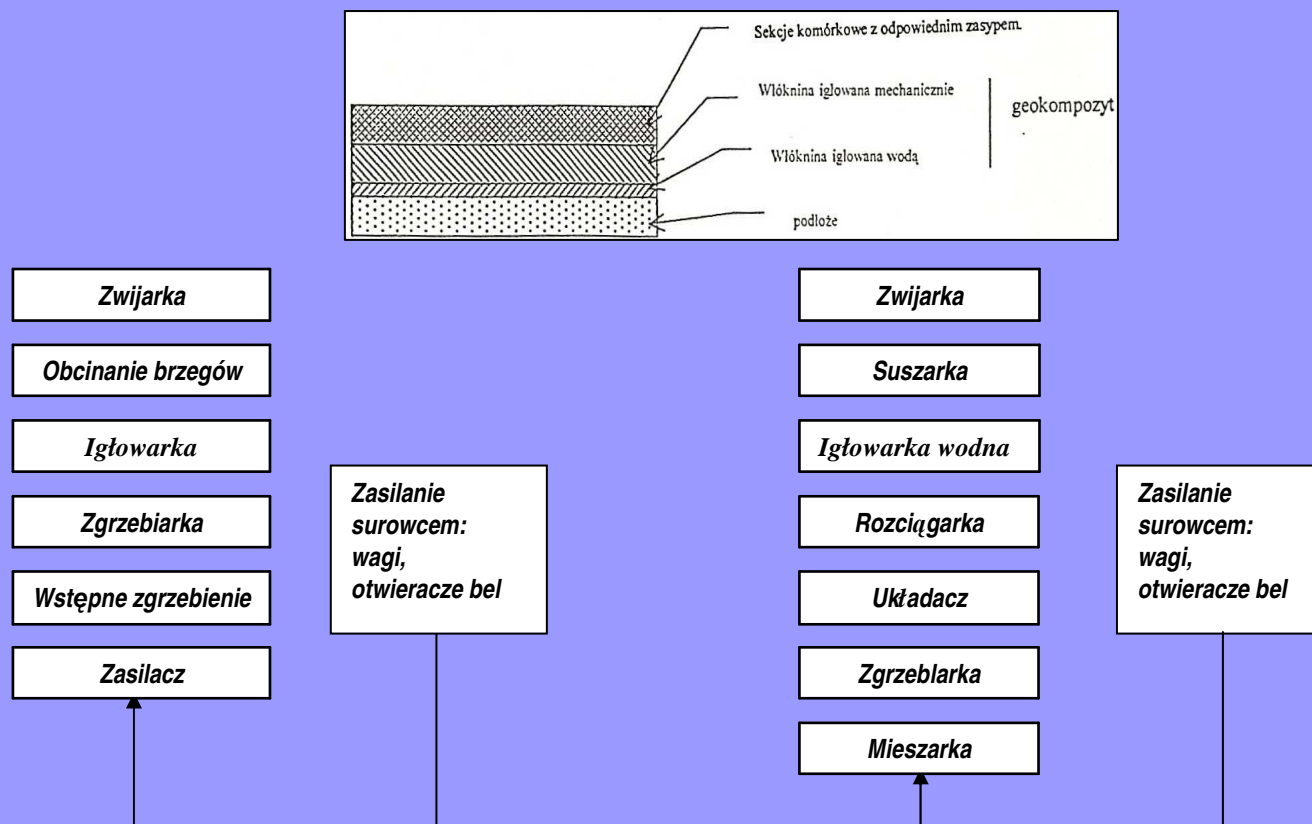
dwie geowłókniny połączone folią polietylenową



geowłóknina połączona z siatką PE warstwą folii polietylenowej

# Nowe generacje geosyntetyków

- Geokompozyt geowłókninowy zbudowany z warstw geowłókniny igłowanej mechanicznie i geowłókniny igłowanej wodą wg technologii „*spun-lace*”.



**Dziękuję za uwagę**