

## GEOSYNTETYKI – PRZEGLĄD MATERIAŁÓW WZMACNIAJĄCYCH PODŁOŻE O SŁABYCH PARAMETRACH GEOTECHNICZNYCH<sup>1</sup>

Katarzyna CZARNECKA  
Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Lądowej

Podczas projektowania obiektów drogowych lub kubaturowych, zdarza się, że analizowane podłoże, na którym mamy posadowić fundament, okazuje się podłożem o słabych parametrach geotechnicznych. Niejednokrotnie także zmuszeni jesteśmy realizować inwestycję na gruntach spoistych (np. piasek gliniasty, glina, ił, etc.) lub organicznych (np. namuły, torfy, gytie, etc.). W związku z tym, obok innych metod wzmocnienia podłoża, stosowane są zbrojenia gruntu wykonane z materiałów geosyntetycznych.

W poniższym artykule dokonano przeglądu najczęściej stosowanych geosyntetyków, takich jak: geomembrana, geowłóknina, geotkanina, geosiatka i geosyntetyk komórkowy. Przedstawiono także najpopularniejsze surowce, z których produkowane są geosyntetyki. Omówione zostały polimery: aramid, poliamid (PA), poliwinylalkohol (PVA), poliester (PES), polietylen (PE) i polipropylen (PP).

Na koniec omówiono zależności naprężeń zachodzących w geosyntetyku do skali odkształcenia. Przedyskutowano również istotę odkształceń początkowych (w czasie 0 sekund obciążenia) i odkształceń zachodzących przy długotrwałym obciążeniu.

### 1. GEOSYNTETYKI

#### 1.1. Podział i podstawowe cechy geosyntetyków

Geosyntetyki są to materiały coraz częściej spotykane w budownictwie. Według normy EN-ISO 10318:2007, geosyntetyk (GSY) to materiał, którego „co najmniej jeden składnik wytworzony został z syntetycznego lub naturalnego polimeru, mający postać arkusza, taśmy lub formy przestrzennej, stosowany w kontakcie z gruntem i/lub innymi materiałami w geotechnice i budownictwie”. Dobierając rodzaj wzmocnienia geosyntetycznego szczególną uwagę zwraca się na następujące właściwości:

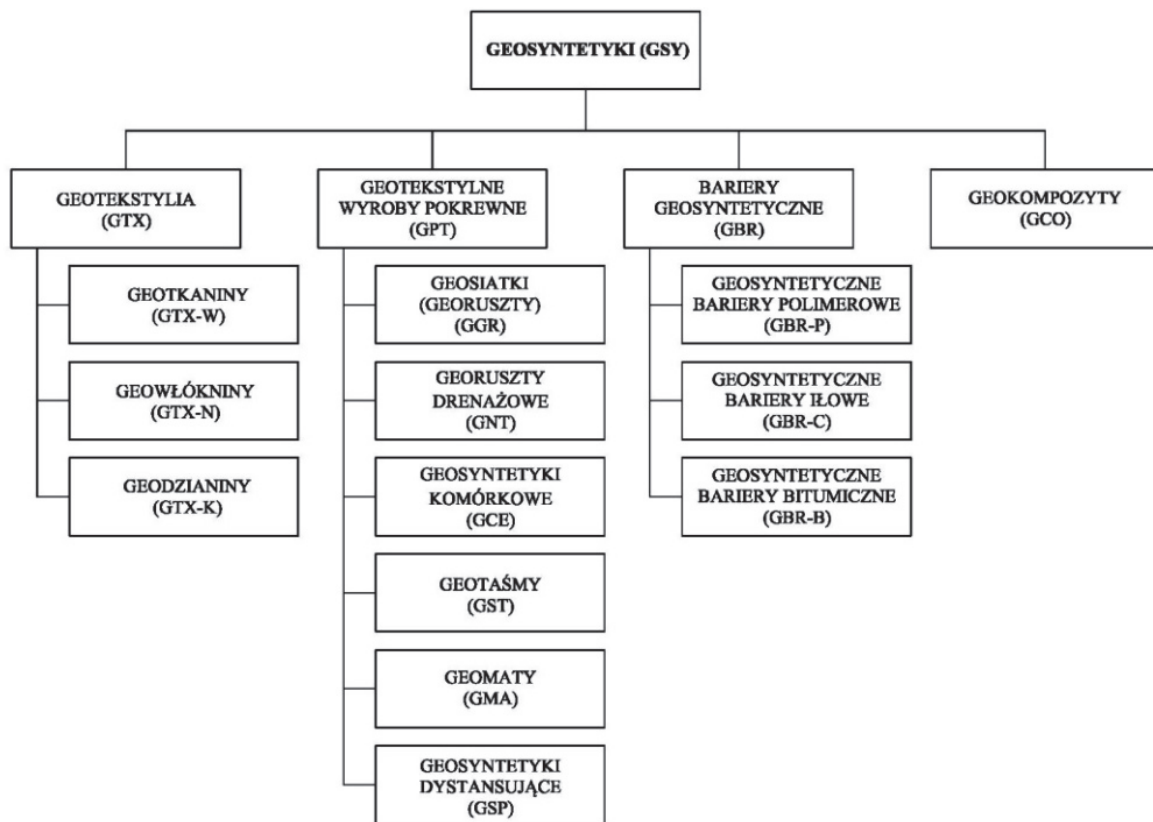
- fizyczne: gramatura, grubość, gęstość właściwa lub porowatość;

---

<sup>1</sup> DOI 10.21008/j.1897-4007.2016.22.07

- mechaniczne: wytrzymałość na zrywanie (wzdłuż i w poprzek), wydłużenie przy zrywaniu, pełzanie przy rozciąganiu lub ściskaniu, wytrzymałość na przebicie statyczne lub dynamiczne;
- hydrauliczne: wodoprzepuszczalność podłużna i poprzeczna, wielkość porów;
- reologiczne: odporność na czynniki atmosferyczne, stopniowa zmiana parametrów mechanicznych pod wpływem czasu.

Ze względu na funkcję, jaką pełnią geosyntetyki w budownictwie drogowym można je podzielić na materiały: drenujące, filtracyjne, wzmacniające, odprężające, ochronne, separacyjne [11].



Rys. 1. Podział geosyntetyków wg normy EN- ISO 10318:2007 [7]

Niejednokrotnie zdarza się, że w budownictwie materiały geosyntetyczne mogą pełnić różne zadania w konstrukcjach drogowych. W tabeli 1 przedstawiono funkcje, jakie mogą pełnić geosyntetyki oraz to, czy ich rola jest podstawowa, czy uzupełniająca. Funkcje, które pełnią, można podzielić na podstawowe (XXX) i uzupełniające (X).

Tab. 1. Funkcje geosyntetyków [4]

Funkcja	Geomembrana (GM)	Geotkanina (GTX-W)	Geowłóknina (GTX-N)	Geosiatka (GGR)	Geokompozyt (GCO)
Oddzielenie	X	XXX	XXX	–	XXX
Izolowanie	XXX	–	–	–	XXX
Ochrona	X	–	XXX	X	X
Wzmocnienie	–	XXX	X	XXX	XXX
Zbrojenie	–	XXX	X	XXX	XXX
Filtrowanie	–	X	XXX	–	X
Odwadnianie	–	X	XXX	–	XXX
Ochrona	–	X	X	–	X
Rekultywacja	–	X	X	X	X

Norma EN- ISO 10318: 2007 dzieli geosyntetyki w sposób pokazany na rysunku 1. W niniejszym opracowaniu przedstawiono jedynie te, które są najczęściej spotykane i stosowane.

#### 1.1.1. Geomembrana (GM)

Geomembrana jest materiałem należącym do geosyntetyków nieprzepuszczalnych dla wody. Jest on również odporny na produkty ropopochodne występujące w gruncie. Nie ulega degradacji biologicznej i charakteryzuje się dobrymi parametrami mechanicznymi, oraz jak już wspomniano, niską wodochłonnością, nieprześlakliwością, ale także różnorodnością zastosowań. Geomembrany wytwarzane są głównie z polietylenu wysokiej gęstości PEHD, a także w polichloroku winylu PCV [11].



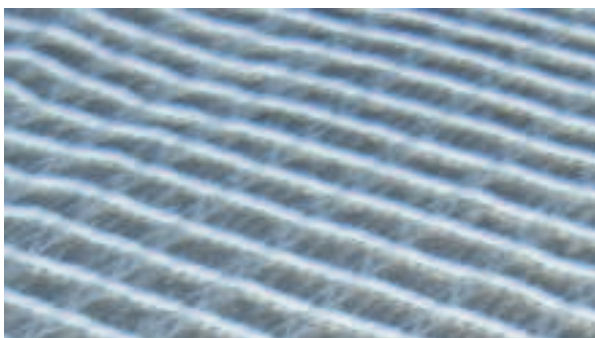
Rys.2. Geomembrana [8]

Geomembrany swoje główne zastosowanie znajdują jako warstwa uszczelniająca. Stosuje się je w miejscach składowania odpadów komunalnych, magazynowania i dystrybucji paliw płynnych oraz przy korpusach drogowych i rowach odwadniających.

#### 1.1.2. Geowłóknina (GTX-N)

Geowłóknina stanowi rodzaj materiału płaskiego, nietkanego. Jego produkcja polega na łączeniu włókien ciągłych lub ciętych, wykonanych z polipropylenu

(PP) lub z poliestru (PES). Charakteryzuje się dużą odkształcalnością oraz bardzo małą wytrzymałością. Posiada zdolność przepuszczania wody i powietrza.



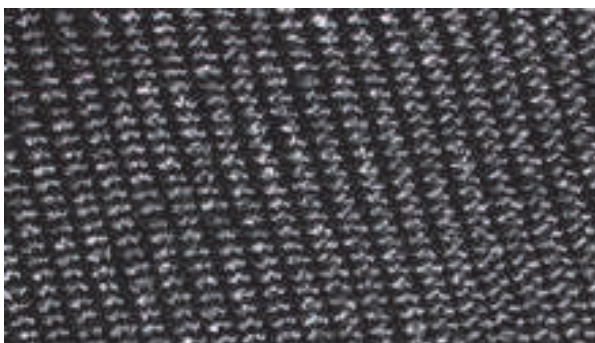
Rys. 3. Geowłóknina [8]

W budownictwie, geowłóknina może być stosowana jako:

- warstwa chroniąca folie lub membrany przed przebiciem,
- warstwa oddzielająca grunty drobnoziarniste od warstwy konstrukcji nawierzchni,
- warstwa wspomagająca pracę geosiatki,
- materiał wzmacniający przy budowie skarp i nasypów,
- zbrojenie pod powierzchnie parkingowe [11].

#### 1.1.3. Geotkanina (GTX-W)

Geotkanina jest to płaski geosyntetyk produkowany tradycyjną metodą tkaczką z tasiemek (dzięki czemu charakteryzują się wymiernymi i widocznymi porami) lub włókien poliestrowych (PES lub PET), polipropylenowych (PP) lub polietylowych wysokiej gęstości (PEHD). W krosnach nadaje się w/w tasiemkom i włóknom uporządkowaną strukturę. Struktura osnowa to kierunek produkcji materiału wzdłuż długości tkaniny. Struktura wątek to kierunek produkcji materiału prostopadły do długości tkaniny [5,11]. Materiał ten charakteryzuje się niewielką wydłużalnością oraz dość dużą wytrzymałością.



Rys. 4. Geotkanina [4]

#### 1.1.4. Geosiatka (georuszt) (GGR)

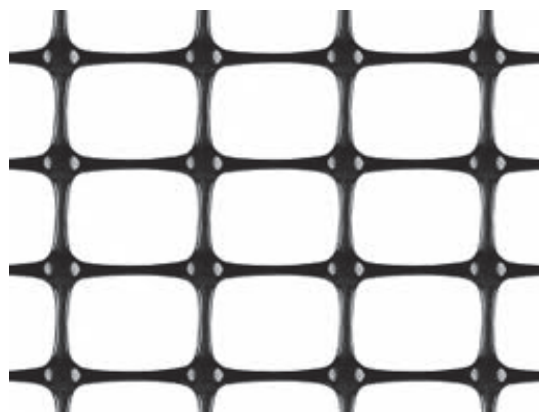
Jest to geosyntetyk najczęściej stosowany do wzmocnienia podłoża. Według normy EN- ISO 10318:2007, geosiatka (GGR) jest to „płaski wyrób polimerowy stanowiący regularny układ o otwartej strukturze, z trwale połączonych elementów rozciąganych, które mogą być łączone w procesie wytłaczania, spajania lub przeplatania, w których otwory są większe niż elementy nośne”. Geosiatki można podzielić na trzy rodzaje: geosiatki wytłaczane, spawane i tkane.

##### 1) Geosiatki wytłaczane

Ta metoda produkcji polega na wytłoczeniu otworów w płaskim arkuszu najczęściej z polietylenu wysokiej gęstości lub polipropylenu. Oczka wytłacza się według określonego wzoru. Następnie w określonych warunkach temperaturowych, rozciąga się arkusz w dwóch kierunkach prostopadłych do siebie. (Dobór wyrobów geosyntetycznych do zbrojenia gruntu – Duszyńska, Sikora)



Rys. 5. Geosiatka wytłaczana [9]



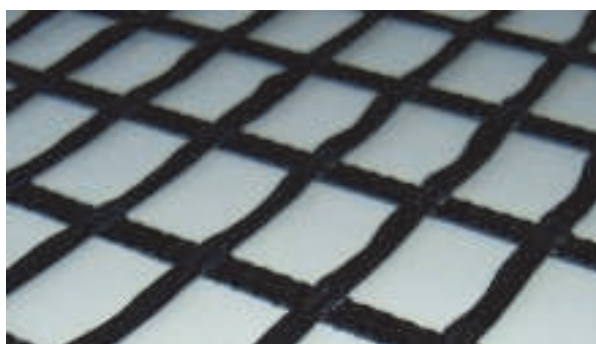
Rys. 6. Geosiatka spawana

##### 2) Geosiatki spawane

Produkcja geosiatek spawanych składa się z kilku etapów. Najpierw, w wyniku ekstruzji, czyli poddawaniu tworzywa sztucznego obróbce plastycznej, otrzymuje się płaskie taśmy, które najczęściej wykonane są z poliestru lub polipropylenu. W kolejnym etapie taśmy przeciągane są przez wirujące z różnymi prędkościami rolki, dzięki czemu taśmom nadaje się odpowiedni kształt i wytrzymałość. Na koniec taśmy łączone są prostopadle do siebie, w odpowiedniej odległości. Następuje zgrzanie połączeń taśm, w wyniku czego otrzymuje się sztywne węzły [5].

##### 3) Geosiatki tkane

Do produkcji tego rodzaju geosiatek stosuje się pojedyncze, skręcone włókna z poliestru lub z polipropylenu. Z odpowiednio przygotowanych przędz, o wysokiej wytrzymałości, tka się geosiatkę o elastycznych węzłach [5].



Rys. 7. Geosiatka tkana [8]

#### 1.1.5. Geosyntetyk komórkowy (GCE)

Jest to geosyntetyk o strukturze przestrzennej i jednocześnie przepuszczalnej. Najczęściej wykonywany z polietylenu wysokiej gęstości, którego produkcja podzielona jest na etapy. Najpierw wytwarzane są taśmy o określonej szerokości, które w kolejnym etapie łączone są ze sobą punktowo w procesie zgrzewania ultradźwiękami.

Geosyntetyk komórkowy nazywany też geokrata najczęściej stosowany jest jako wzmocnienie w podłożu słabonośnym, przy budowie skarp jako zabezpieczenie przeciwoerozyjne oraz przy budowie konstrukcji oporowych.



Rys. 8. Geokrata [8]

#### 1.1.6. Geokompozyty (GCO)

Stanowią materiał, który powstaje w wyniku trwałego połączenia geosyntetyku z innym materiałem. Połączony może być z innym geosyntetykiem, lepiszczem bitumicznym lub bentonitem. Dzięki połączeniu różnych elementów geokompozyt jest wielofunkcyjny i cechuje się właściwościami materiałów, z których jest wykonany [4,5].



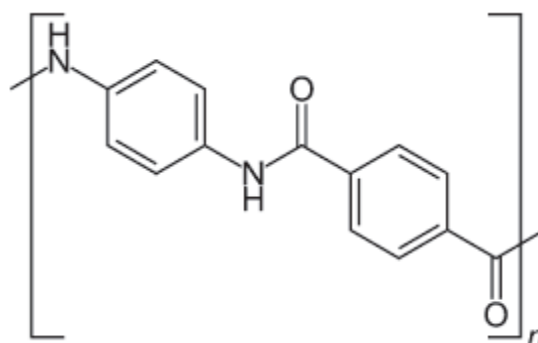
Rys. 9. Geokompozyt [10]

## 2. TWORZYWA DO PRODUKCJI GEOSYNTETYKÓW

Do produkcji geosyntetyków, zgodnie z normą EN- ISO 10318:2007, potrzebny jest co najmniej jeden polimer. Polimery są to substancje chemiczne o bardzo dużych cząsteczkach, powstałe w reakcji następującego po sobie łączenia się jednakowych cząsteczek (zwanymi merami) w procesie polimeryzacji. W praktyce stosuje się wiele różnego rodzaju polimerów. Najczęściej stosowanymi są: aramid, poliamid (PA), poliwinylalkohol (PVA), poliester (PES), polietylen (PE) i polipropylen (PP).

### 1) Aramid

Jest to poliamid włóknotwórczy posiadający najlepsze właściwości wśród najczęściej spotykanych polimerów.

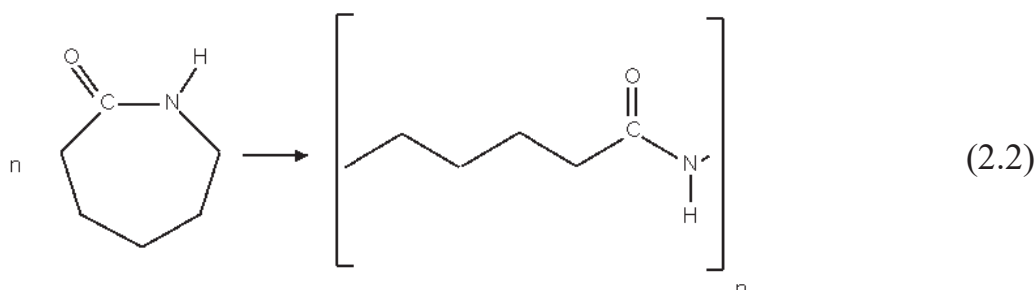


(2.1)

Włókna aramidowe charakteryzują się znacznie większą odpornością na rozciąganie niż niżej opisane polimery. Dzięki występowaniu między wiązaniami amidowymi grup aromatycznych, aramid posiada odporność na działania mechaniczne, termiczne i pożarowe. Im więcej w jego strukturze znajdzie się grup aromatycznych, tym poziom tych odporności jest wyższy. Niektóre aramidy posiadają w swoich wiązaniach również grupy alifatyczne.

## 2) Poliamid (PA)

Jest to polimer, który w swoim składzie posiada wiązania amidowe (-NH-C(O)-).



Poliamid charakteryzuje się bardzo dobrymi właściwościami mechanicznymi. Jest zdolny przenosić bardzo duże siły, a jednocześnie zapewnia niewielkie odkształcenia. Posiada wysoką odporność na ścieranie. Jego włókna są sprężyste, niemniej jednak są bardzo wrażliwe na działanie promieni słonecznych oraz na odczynniki chemiczne. Reaguje ze stężonymi kwasami. Nie reaguje z zasadami i rozpuszczalnikami organicznymi [4].

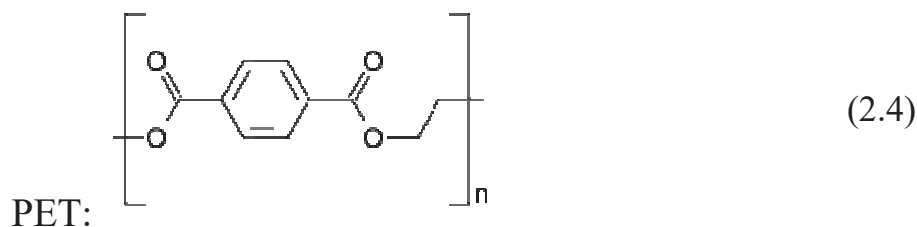
## 3) Poliwinylloalkohol (PVA)

To polimer alkoholu winylowego, który otrzymywany jest z poli(octanu winylu). Włókna poliwinylloalkoholowe charakteryzują się małą wytrzymałością, ale dużą odkształcalnością. Polimer ten jest bardzo wrażliwy na działanie wysokiej temperatury. Jest odporny na czynniki biologiczne, takie jak bakterie, pleśń; oraz na czynniki chemiczne.



## 4) Poliester (PES)

Jest to polimer, który w swoim składzie posiada wiązania estrowe (-C(O)-O-). W porównaniu do poliwinylloalkoholu, poliester posiada sztywniejsze łańcuchy główne, co powoduje, że z jednej strony są one bardziej kruche, ale zarazem twarde i trudniej topliwe.





## 5) Polietylen (PE)

Istnieją dwie odmiany włókien polietylowych: niskociśnieniowe i wysokociśnieniowe. Odmiana niskociśnieniowa charakteryzuje się lepszymi właściwościami mechanicznymi. Włókna polietylowe są odporne na działanie wody, związków chemicznych i drobnoustrojów znajdujących się w otoczeniu. Gorzej zachowują się pod wpływem temperatury i promieniowania słonecznego.



## 6) Polipropylen (PP)

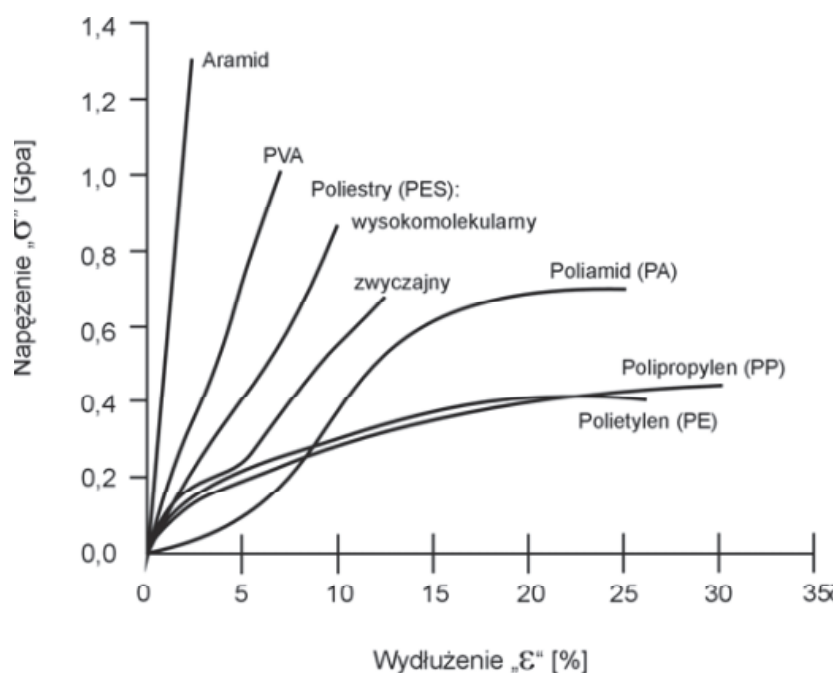
Jest to polimer, który otrzymuje się w niskociśnieniowej polimeryzacji propylenu. Obok polietylenu jest najczęściej stosowanym tworzywem sztucznym. Włókna polipropylenowe cechują się dobrą wytrzymałością i dużą sprężystością. Są odporne na wpływ biologiczny (drobnoustroje, insekty) oraz związki chemiczne. Nie są jednak odporne na działanie wysokiej temperatury i promieniowania słonecznego.



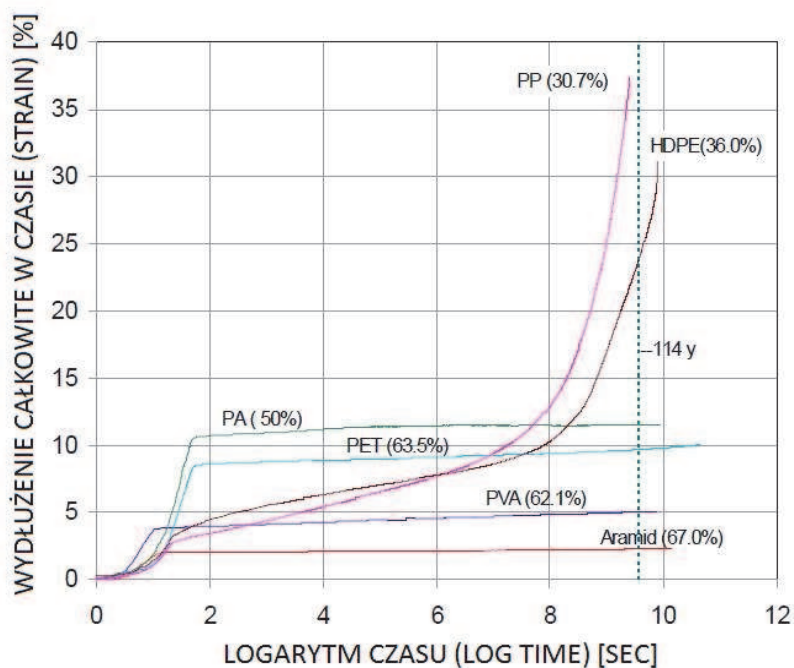
## 2.1. KRYTERIUM DOBORU POLIMERU

Dobór odpowiedniego geosyntetyku jest bardzo ważną kwestią. Niemniej jednak równie istotne jest dobranie właściwego materiału, z którego dany geosyntetyk jest wyprodukowany. Każdy wyżej wspomniany polimer inaczej zachowuje się obciążony w momencie tuż po wbudowaniu, a inaczej, gdy obciążenie ma wpływ na materiał przez dziesiątki lat.

Na wykresie (rys. 11) przedstawiony został sposób, w jaki zachowują się materiały, służące do produkcji geosyntetyków, w czasie (wielkości wydłużenia do czasu). Przedstawione polimery można podzielić na dwie grupy: pierwsza, to grupa charakteryzująca się nadmiernym „płynięciem”, należą do niej polipropylen (PP) i polietylen o wysokiej gęstości (HDPE); do drugiej grupy zaliczają się surowce takie jak poliamid (PA), poliester aromatyczny (PET), poliwinylalkohol (PVA) i aramid. Druga grupa surowców charakteryzuje się bardzo małym pełzaniem. Jest to cecha, dzięki której geosyntetyki wykonane właśnie z tych polimerów, doskonale nadają się do wykonania konstrukcji oporowych, nasypów zbrojonych na gruntach o słabych parametrach geotechnicznych [2].



Rys. 10. Wykresy charakterystyk zależności  $\sigma$ - $\epsilon$  (przenoszone naprężenia i wielkości odpowiadających im wydłużeń) surowców stosowanych w zbrojeniach geosyntetycznych [3]



Rys. 11. Wykresy przedstawiające wydłużenie wybranych polimerów przy pełzaniu [6,2]

Ważną cechą jest również to, w jaki sposób zachowują się geosyntetyki wyprodukowane z omawianych polimerów w momencie, w którym obciążenie dopiero „się pojawia” – w czasie 0 sekund pracy tego zbrojenia.

Tablica 2 przedstawia wartości wydłużenia natychmiastowego i wydłużenia przy pełzaniu omawianych surowców. Dane zostały uzyskane przy badaniu me-

todą SIM (Stepped Isothermal Method - metodą jednakowych skoków termicznych) w temperaturze  $T=20^{\circ}\text{C}$ . Przy wydłużeniu natychmiastowym polipropylen (PP) i aramid uzyskują bardzo dobre, porównywalne wartości. Po osiągnięciu 1000 sekund najmniej rozciągają się włókna aramidowe, następnie polipropylene (PP). Przy obciążeniu długotrwałym (114 lat) włókna aramidowe nadal osiągają bardzo niewielkie wartości wydłużenia (2,28%), natomiast w przypadku polipropylenu sytuacja znacznie się zmienia, osiąga on odkształcenie równe 37,8%. Stąd wniosek, że polipropylen (PP) pomimo dość małej wytrzymałości długoterminowej, jest skutecznym i porównywalnym do aramid, surowcem do produkcji geosyntetyków dla konstrukcji tymczasowych i krótkotrwałych.

Tab. 2. Wydłużenie natychmiastowe i przy pełzaniu wybranych polimerów [1]

Polimer	Wydłużenie natychmiastowe $\varepsilon_0$ (0 sek) (%)	Wydłużenie całkowite $\varepsilon$	
		po 1000 sek. obciążenia (%)	Po 114 latach obciążenia (%)
PVA	4,0	4,87	5,65
Aramid	1,94	2,05	2,28
PA	10,1	10,9	11,57
PET	8,3	9,05	9,79
PP	1,9	4,35	37,8
PEHD	2,9	5,26	23,3

### 3. PODSUMOWANIE

W artykule przedstawiono podstawowe informacje na temat różnych rodzajów geosyntetyków, własności materiałów, z których zostały wykonane oraz możliwości ich zastosowań. Jak wynika z przedstawionego przeglądu, geosyntetyki stanowią doskonałe materiały służące do wzmocnienia słabego podłoża gruntowego, ale także bardzo dobre surowce pełniące funkcje filtracyjne lub ochronne. W tekście wskazano także, jak istotną rolę dla wytrzymałości (krótko – i długotrwałej) geosyntetyków pełnią rodzaje, stosowanych do ich produkcji polimerów, i jak ważny jest ich dobór w kontekście konkretnego zastosowania i oczekiwanej funkcji.

### LITERATURA

- [1] Ajdukiewicz J., Zasady wymiarowania zbrojenia geosyntetycznego w nasypach i konstrukcjach oporowych linii kolejowych.
- [2] Ajdukiewicz J., Projektowanie z geosyntetykami – możliwe zagrożenia dla projektantów – cz.1, Magazyn AUTOSTRADY, nr 5/2004.
- [3] Ajdukiewicz J., Inżynieria geosyntetyków nad szkodami górnictwami. Polskie Drogi, nr 7 i 8, 2005.
- [4] Bugajski M., Grabowski W., Geosyntetyki w budownictwie drogowym, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 1999.

- [5] Duszyńska A., Sikora Z., Dobór wyrobów geosyntetycznych do zbrojenia gruntu, Inżynieria Morska i Geotechnika, nr 5/2014.
- [6] Lothspeich S.E., Thornton J.S.; Comparison of different Long Term Reduction Factors for Geosynthetic Reinforcing Materials, Second European Geosynthetics Conference EURO GEO 2000, Bologna 2000.
- [7] Norma EN-ISO 10318:2007 Geosyntetyki. Terminy i definicje.
- [8] [www.geosynt.pl](http://www.geosynt.pl)
- [9] [www.geosiatki.pl](http://www.geosiatki.pl)
- [10] [www.griltex.pl](http://www.griltex.pl)
- [11] [www.inora.pl](http://www.inora.pl).

## **GEOSYNTHETICS – A REVIEW OF REINFORCING MATERIALS SUBSTRATE WITH POOR GEOTECHNICAL PARAMETERS**

### **Summary**

Analyzing subsoil during the completion of the investment we are increasingly confronted with soils with poor geotechnical parameters. We are also forced to do the implementation on cohesive soils (eg. clay, till etc.) or organic soils. Therefore earth reinforcement made of geosynthetic materials are used.

Therefore geosynthetic materials are used for earth reinforcement. This article focuses on the most commonly used geosynthetics, such as geomembrane, geotextiles, geogrid, etc. The rest of this paper presents the most popular polymers for the production of geosynthetics. The object of discussion were the polymers: aramid, polyamide (PA), polyvinylalcohol (PVA), polyester (PES), polyethylene (PE) and polypropylene (PP).

Finally, the publication shows the dependence of stress on strain.

The article shows how important are strain on load in first moment (in the 0 second) and strain during long-time load.

Dane autora:

mgr inż. Katarzyna Czarnecka

e-mail: [katarzyna.czarnecka@put.poznan.pl](mailto:katarzyna.czarnecka@put.poznan.pl)

tel.: 61 665 2137