

Krystyna KAZIMIEROWICZ-FRANKOWSKA  
Instytut Budownictwa Wodnego PAN

## WPLYW WYBRANYCH PROGRAMÓW OBCIĄŻEŃ NA PARAMETRY MECHANICZNE GEOSYNTETYKÓW

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych pięciu wybranych geosyntetyków wytwarzanych przez polskich producentów. Badano wpływ prędkości odkształcenia na parametry mechaniczne tych materiałów. Próbki geosyntetyków poddawano jednoosiowemu rozciąganiu ze stałą prędkością zmieniającą się w zakresie od  $0,2 \times 10^{-3}$  1/s (1,2%/min) do  $200 \times 10^{-3}$  1/s (1200%/min). Analizowano również wpływ krótkotrwałych i długotrwałych etapów pełzania oraz relaksacji na wytrzymałość geosyntetyków na rozciąganie.

## THE INFLUENCE OF VARIOUS STRESS-STRAIN HISTORIES ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF GEOSYNTHETICS

**Summary.** The results of laboratory tests of five types of geosynthetics are presented. The effect of strain rate and various stress-strain histories on the tensile strength of these materials is analysed. The specimens of geosynthetics were stretched with constant strain rate in the range from  $0.2 \times 10^{-3}$  1/s (1.2%/min) to  $200 \times 10^{-3}$  1/s (1200%/min). Special attention was paid to experiments performed at constant strain rate, followed by the creep or stress relaxation stages. The influence of short and long periods of creep and stress relaxation on the tensile strength of geosynthetics is discussed in the article.

### 1. Wstęp

Geosyntetyki są szeroką klasą materiałów wytwarzanych na bazie tworzyw sztucznych, które znalazły już powszechne zastosowanie w geotechnice. Wykorzystuje się je do takich celów, jak: drenaż, filtracja, rozdzielanie sąsiadujących gruntów o różnej strukturze oraz wzmacnianie gruntów.

Przed zastosowaniem geosyntetyków do celów praktycznych przeprowadza się standardowe badania laboratoryjne umożliwiające określenie ich podstawowych parametrów,

na podstawie których ocenia się przydatność konkretnych materiałów w trakcie realizowanej inwestycji. Podstawowym testem, na podstawie którego wyznacza się ich parametry mechaniczne, jest badanie wytrzymałości na rozciąganie ([1]). Warunki jego przeprowadzania (wymiary i ilość badanych próbek, sposób ich zamocowania, prędkość rozciągania itd.) są ściśle znormalizowane. Próbkę rozciąga się ze stałą prędkością odkształcenia, mierząc wartości sił rozciągających i wydłużenie próbek. Maksymalną, uzyskaną w trakcie badania, wartość siły rozciągającej przyjmuje się za odpowiadającą wytrzymałości materiału na rozerwanie. Tego typu badania przeprowadza się już od kilkudziesięciu lat i mimo różnych modyfikacji, które wystąpiły w tym okresie (dotyczących np. kształtu badanych próbek oraz stosowanych prędkości rozciągania), ich rezultaty są szeroko opisane w literaturze przedmiotowej.

Geosyntetyki, stosowane w praktyce, pracują jednak w zmiennych, znacznie odbiegających od normowych warunkach otoczenia (wahania temperatury i wilgotności) i często są narażone na działanie niestandardowych programów obciążeń, pomijanych przez autorów norm. Projektanci konstrukcji, w których materiały te są wykorzystywane (np. jako zbrojenie), zabezpieczają się przed niekorzystnym wpływem tych czynników poprzez stosowanie wysokich współczynników bezpieczeństwa, co często nie jest korzystne z ekonomicznego punktu widzenia.

W artykule omówiono wyniki badań laboratoryjnych, których celem było rozpoznanie wpływu wybranych programów obciążeń na parametry mechaniczne geosyntetyków. Można wyróżnić dwa zasadnicze rodzaje doświadczeń. Pierwsza ich grupa dotyczyła zbadanie wpływu prędkości odkształcenia na charakterystyki wytrzymałościowe (tzn. zależności naprężenie-odkształcenie-wytrzymałość) tych materiałów.

W trakcie drugiej serii badań analizowano wpływ krótkotrwałych i długotrwałych etapów pełzania (przyrostu odkształceń przy stałej wartości naprężenia) oraz relaksacji (spadku naprężeń przy stałej wartości odkształcenia) na wytrzymałość geosyntetyków na rozciąganie.

## 2. Program badań

### 2.1. Materiały

Tablica 1

Geosyntetyki wykorzystane do badań

Geosyntetyk (symbol)	Producent	Sposób wytwarzania, rodzaj surowca	Masa powierzchniowa (g/m <sup>2</sup> )
48214/210/26/0 (L)	Śląskie Zakłady Przemysłu Lniarskiego „Lentex”	geowłóknina igłowana (PP) zbrojona siatką (PE)	608
7/14/310 (W)	Łęczyckie Zakłady Przemysłu Wełnianego „Watina”	geowłóknina przesywana (PP&PET)	220
I-V/400 (IW)	Instytut Włókiennictwa w Łodzi	geowłóknina igłowana (PP&PET)	400
PT 41-100/1 (PT)	Pabianickie Zakłady Tkanin Technicznych	geotkanina (PA)	445
231/200 (ZS)	Zakład Tworzyw i Farb „Złoty Stok”	siatka (PE)	570

Do doświadczeń wybrano pięć rodzajów geosyntetyków wytwarzanych przez polskich producentów. Podstawowe informacje na ich temat zamieszczono w tablicy 1.

W przypadku wszystkich materiałów do badań wykorzystywano próbki o szerokości 10 cm i długości 5 cm wycięte wzdłuż beli materiału.

### 2.2. Pierwsza seria doświadczeń

Celem doświadczeń było rozpoznanie wpływu prędkości odkształcenia na wytrzymałość na rozciąganie geosyntetyków. Badano przebieg krzywych wytrzymałościowych (tzn. charakterystyk naprężenie-odkształcenie uzyskiwanych w trakcie testów rozciągania) odpowiadających poszczególnym prędkościom odkształcenia.

Doświadczenia przeprowadzono w ten sposób, że końce próbek mocowano w szczękach zrywarki napędzanej silnikiem elektrycznym, a następnie próbkę rozciągano ze stałą prędkością odkształcenia, aż do zerwania, mierząc wartości siły rozciągającej oraz odpowiadające im wydłużenie materiału. Badano charakterystyki wytrzymałościowe geosyntetyków odpowiadające pięciu różnym prędkościom odkształcenia z zakresu od: 1,2%/min ( $0,2 \times 10^{-3}$  1/s) do 1200%/min ( $200 \times 10^{-3}$  1/s).

### 2.3. Druga seria doświadczeń

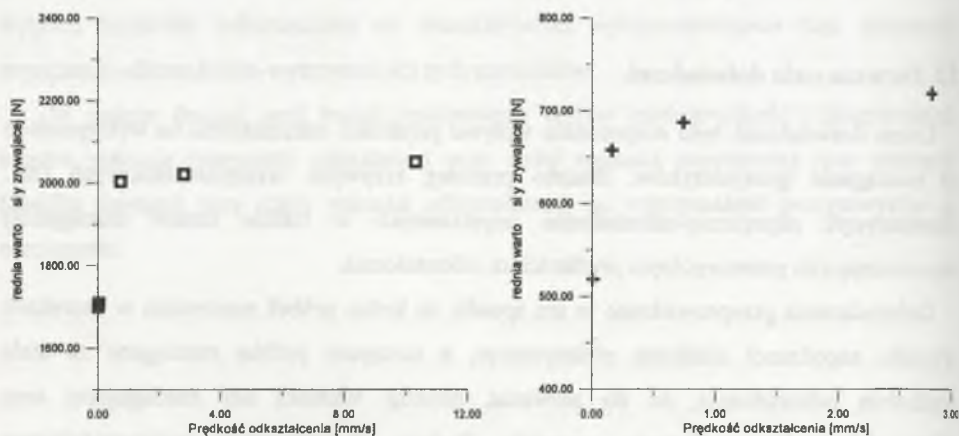
Celem badań było rozpoznanie wpływu krótkotrwałych (1-godzinnych) etapów pełzania (przyrost odkształceń przy stałej wartości naprężenia) i relaksacji (spadek naprężeń przy stałej wartości odkształcenia), wprowadzanych w trakcie rozciągania próbek geosyntetyków, na przebieg ich krzywych wytrzymałościowych.

Wszystkie próbki materiałów rozciągano z jednakową, stałą prędkością odkształcenia odpowiadającą 19,2%/min. Proces rozciągania przerywano poprzez wprowadzenie od jednego do czterech etapów pełzania lub relaksacji, a następnie rozciąganie kontynuowano z tą samą prędkością odkształcenia. Przerwy stosowano w przedziale naprężeń odpowiadających od 20% do 80% wytrzymałości materiału uzyskiwanej w trakcie badań normowych.

Ponadto dla trzech geosyntetyków (W, PT, L) zbadano zmianę podstawowych parametrów mechanicznych (wytrzymałości na rozciąganie oraz wydłużenia względnego przy obciążeniu maksymalnym) po uprzednim poddaniu ich próbek długotrwałym (1000 h) testom pełzania. W trakcie badań pełzania materiały były poddawane obciążeniom z zakresu od 10% do 40% ich wytrzymałości na rozciąganie.

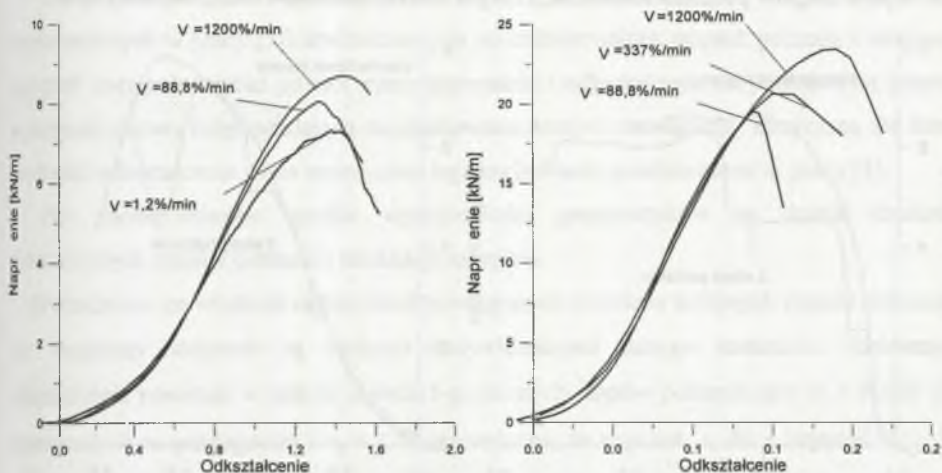
## 3. Wyniki

### 3.1. Wpływ prędkości odkształcenia na przebieg krzywych wytrzymałościowych



Rys.1. Wpływ prędkości odkształcenia na wytrzymałość geosyntetyków: L (a) i ZS (b)

Fig.1. The influence of strain rate on the tensile strength of geosynthetics: L (a) and ZS (b)



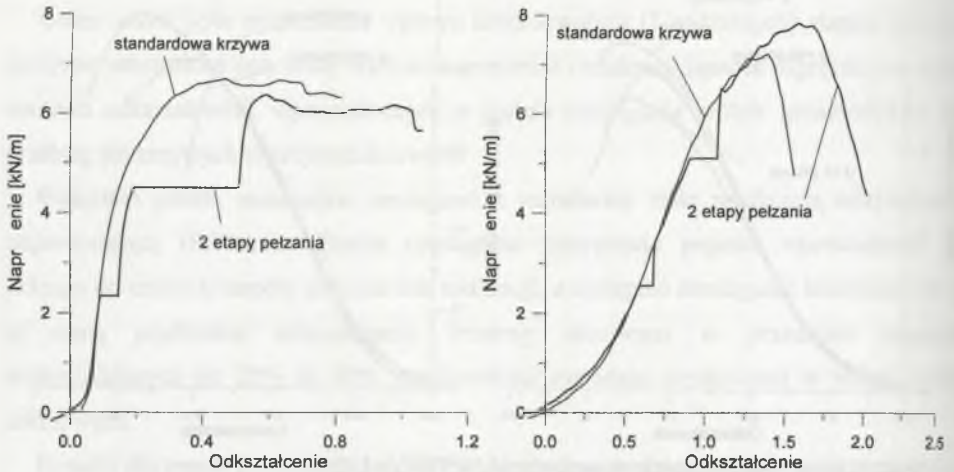
Rys.2. Krzywe wytrzymałościowe geosyntetyków: IW (a); L (b)

Fig.2. Load-strain curves for geosynthetic IW (a) and L (b)

W przypadku wszystkich zbadanych geosyntetyków stwierdzono wpływ prędkości odształcenia na ich wytrzymałość na rozciąganie. Przykładowe wyniki przedstawione na rysunku 1 są zgodne z informacjami zamieszczanymi w literaturze (np. [2]). Wytrzymałość geosyntetyków wzrasta wraz ze wzrostem prędkości odształcenia stosowanej w trakcie badań. Wzrost ten, w przedziale prędkości odształceń objętych badaniami, wahał się w zakresie od 12% (dla geosyntetyku IW) do 28% (dla materiału ZS).

Na rysunku 2 pokazano krzywe wytrzymałościowe uzyskiwane dla próbek geosyntetyków rozciąganych z różną prędkością. Krzywe te mają bardzo zbliżone kształty, a ich przebiegi w znacznym zakresie (do około 60%-70% wytrzymałości) praktycznie pokrywają się ze sobą.

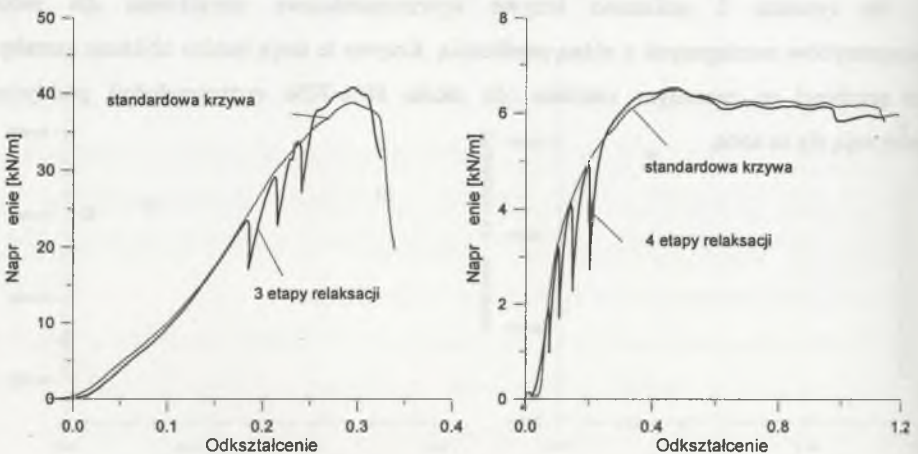
### 3.2. Wpływ etapów pełzania i relaksacji na parametry mechaniczne geosyntetyków



Rys.3. Krzywe wytrzymałościowe geosyntetyków: ZS (a) i IW (b); rozciąganie ze stałą prędkością przerywane etapami pełzania

Fig.3. Load-strain curves for geosynthetics ZS (a) and IW (b); extension at a constant strain rate interrupted by creep

Przykładowe porównanie przebiegu standardowych krzywych wytrzymałościowych geosyntetyków i krzywych uzyskanych podczas rozciągania przerywanego etapami pełzania zamieszczono na rysunku 3. Na rysunku 4 natomiast pokazano przebieg zależności naprężenie-odkształcenie uzyskanych w trakcie testów rozciągania przerywanego 1-godzinnymi okresami relaksacji naprężeń.



Rys.4. Krzywe wytrzymałościowe geosyntetyków: PT (a) i ZS (b); rozciąganie ze stałą prędkością przerywane etapami relaksacji naprężeń

Fig.4. Load-strain curves for geosynthetics PT (a) and ZS (b); extension at a constant strain rate interrupted by stress relaxation

Na podstawie uzyskanych wyników (rys. 3 i 4 oraz danych eksperymentalnych zamieszczonych w pracy [3]) stwierdzono, że po krótkotrwałych etapach pełzania i relaksacji naprężeń następuje szybki powrót stanu naprężenia i odkształcenia na podstawową krzywą wytrzymałościową (odpowiadającą standardowemu testowi rozciągania) otrzymaną dla danej prędkości odkształcenia. Opis teoretyczny tego zachowania przedstawiono w pracy [4].

Nie zaobserwowano spadku wytrzymałości geosyntetyków na skutek działania krótkotrwałych etapów pełzania i relaksacji naprężeń.

Stwierdzono, że wielkość odkształceń powstających w trakcie kolejnych etapów pełzania i ich wzajemny stosunek są cechami indywidualnymi danego materiału. Porównując odkształcenia powstałe w trakcie dwóch 1-godzinnych etapów pełzania, gdy  $\sigma_1 = 0,35R$  ( $R$  – wytrzymałość na rozciąganie) i  $\sigma_2 = 0,7R$  stwierdzono, że stosunek  $\varepsilon_1$  do  $\varepsilon_2$  wynosił: 1:1 (dla materiałów PT, W); 1:2 (geosyntetyki IW, L) oraz 1:6 (materiał ZS). Spadek naprężeń w trakcie etapów relaksacji był proporcjonalny do wartości naprężenia początkowego.

Wyniki testów rozciągania przeprowadzane na próbkach geosyntetyków W, PT, L poddanych uprzednio przez 1000 h działaniu obciążenia z zakresu 10%-40% $R$  wykazały bardzo niewielki spadek ich wytrzymałości na skutek długotrwałego pełzania (średnio o 3%) i wyraźny spadek wydłużenia próbek w chwili zerwania. Przykładowo można podać, że dla materiału W wynosił on od 5,3% (dla  $\sigma = 0,1R$ ) do 27,6% (dla  $\sigma = 0,4R$ ), a dla geosyntetyku PT mieścił się w zakresie od 16,7% do 56,3%.

#### 4. Wnioski

1. Wytrzymałość geosyntetyków na rozciąganie wzrasta wraz ze wzrostem prędkości odkształcenia stosowanej w trakcie doświadczeń. W zakresie objętym badaniami (1000-krotny wzrost prędkości rozciągania) przyrost wytrzymałości geosyntetyków wahał się od 12,2% (dla materiału IW) do 27,9% (dla materiału ZS).
2. Krótkie etapy pełzania i relaksacji naprężeń, występujące w trakcie procesu rozciągania, nie powodują spadku wytrzymałości geosyntetyków. Po ich zakończeniu następuje szybki powrót materiału do stanu naprężenia i odkształcenia odpowiadającego podstawowej krzywej wytrzymałościowej dla danej prędkości odkształcenia.

3. Wielkość odkształceń powstających w próbkach geosyntetyków w trakcie poszczególnych etapów pełzania jest sprawą indywidualną danego materiału. Spadek naprężeń podczas etapów relaksacji jest proporcjonalny do początkowej wartości naprężenia.

## LITERATURA

1. PN-ISO 10319 Geotekstyli. Badanie wytrzymałości na rozciąganie metodą szerokich próbek, 1996.
2. Ingold T.S.: The Geotextiles and Geomembranes Manual, Oxford, Elsevier Science Publishers Ltd., 1994.
3. Kazimierowicz-Frankowska K.: The effect of strain rate and various stress-strain histories on the tensile strength of geosynthetics, Proc. 7-th Int. Conf. On Geosynthetics, Nice-French, September 2002.
4. Sawicki A., Kazimierowicz-Frankowska K.: 2001. Influence of strain rate on the stress-strain characteristics of some geosynthetics, Geosynthetics International, Vol.9, No. 1, 2002, pp.1-19.

Recenzent: Prof. zw. dr hab. inż. Bohdan ZADROGA

## Abstract

The results of laboratory tests of five types of geosynthetics are presented. The effect of strain rate and various stress-strain histories on the tensile strength of these materials is analysed. The specimens of geosynthetics were stretched with constant strain rate in the range from  $0.2 \times 10^{-3}$  1/s (1.2%/min) to  $200 \times 10^{-3}$  1/s (1200%/min). Special attention was paid to experiments performed at constant strain rate, followed by the creep or stress relaxation stages. The influence of short and long periods of creep and stress relaxation on the tensile strength of geosynthetics is discussed in the article.