

*Mariusz Cholewa\**, *Robert Job\*\**

## WYTRZYMAŁOŚĆ NA PRZEBICIE GEOSYNTETYCZNYCH PRZESŁON USZCZELNIAJĄCYCH

---

### 1. Wstęp

Geosyntetyki, których początki wytwarzania i upowszechniania sięgają lat 60. XX wieku, znajdują obecnie szereg zastosowań w inżynierii lądowej i wodnej. Pełnią funkcje takie jak filtracja, drenaż, uszczelnianie (funkcje hydrauliczne), wzmacnianie, separacja i ochrona (funkcje mechaniczne). Stosuje się je m.in. w budownictwie drogowym i kolejowym, w różnego rodzaju nasypach i podłożach, w ścianach oporowych, systemach drenarskich [3, 5].

Jedną z ważnych dziedzin, w której używa się geosyntetyków, jest budowa uszczelnień składowisk odpadów komunalnych czy przemysłowych. Podstawą prawidłowego zaprojektowania tego typu obiektu jest zapewnienie odciążenia składowanych odpadów i produktów ich rozkładu od kontaktu z wodami powierzchniowymi i gruntowymi, a po zakończeniu eksploatacji składowiska — z atmosferą. W tym celu stosuje się obecnie materiały geosyntetyczne — geomembrany, bentomaty i geowłókniny, układane stycznie jako konstrukcja kompozytowa.

Poszczególne materiały składające się na zastosowany pakiet geosyntetyków pełnią różne funkcje. Maty bentonitowe i geomembrany pracują jako bariery nieprzepuszczalne, natomiast geowłókniny zabezpieczają geomembranę przed przebiciem, którego ryzyko stwarzają ostre krawędzie przedmiotów znajdujących się w odpadach, lub w podłożu składowiska.

Celem opisanych w niniejszej pracy badań było uzyskanie odpowiedzi na pytanie, w jakim układzie testowane materiały geosyntetyczne stanowią kompozyt o największej wytrzymałości na przebicie. Równocześnie starano się ustalić, jakie rozwiązanie wydaje się najbardziej optymalne ze względów ekonomicznych, zapewniając bezpieczną eksploatację składowiska przy zachowaniu opłacalności inwestycji.

---

\* Katedra Inżynierii Wodnej i Geotechniki, Wydział Inżynierii Środowiska i Geodezji, Uniwersytet Rolniczy, Kraków

\*\* absolwent, Uniwersytet Rolniczy, Kraków

## 2. Materiały i metody badań

Do badań wykorzystano wybrane geosyntetyki w tym; sześć rodzajów geowłóknin, dwa rodzaje geosyntetycznej bariery polimerowej (geomembrana) oraz jeden rodzaj geosyntetycznej bariery ilowej (mata bentonitowa) (tabela 1).

TABELA 1  
Charakterystyka badanych geosyntetyków

Parametr	Typ geosyntetyku								
	Gm1	Gm2	Bm	Gw1	Gw2	Gw3	Gw4	Gw5	Gw6
Grubość przy nacisku 2 kPa na sucho [mm]	1,0	2,0	4,0	0,7	1,3	2,5	3,1	4,1	5,9
Grubość przy nacisku 2 kPa na mokro [mm]	1,0	2,0	6,5	0,7	1,3	3,0	3,3	4,3	6,3
Charakterystyka wyrobu, procesu wytwarzania	obustronnie gładka, kalandrowanie	obustronnie gładka, kalandrowanie	igłowane włókna ciągłe, włókna tasiemkowe w splocie płóciennym	włókna ciągłe, klejone chemicznie	włókna ciągłe, igłowane	włókna ciągłe, igłowane	włókna ciągłe, igłowane	włókna ciągłe, igłowane	włókna ciągłe, igłowane

Wszystkie badane geowłókniny wytworzone są z włókien polipropylenowych ciągłych. Na geowłókninie o grubości 0,7 mm (Gw1) widać wyraźne włókna ciągłe ułożone w jednym kierunku (wzdłużnie), które są sklejone chemicznie. Pozostałe geowłókniny (Gw2–Gw6) o grubościach od 1,3 do 5,9 mm należą do geowłóknin igłowanych.

Użyte do badań geomembrany z polietylenu o wysokiej gęstości (Gm1 i Gm2) to materiały pod względem technologii wykonania identyczne (obustronnie gładkie). Różnią się jedynie grubością (1,0 i 2,0 mm).

Próbki maty bentonitowej (Bm) badane były po wcześniejszej hydratacji, osiągając grubość 6,5 mm. Badana bariera składa się z 3 warstw: geowłókniny igłowanej o grubości 1,0 mm, warstwy bentonitu sodowego o grubości 2,5 mm (w stanie suchym) oraz geotkaniny o włóknach tasiemkowych w splocie płóciennym o grubości 0,5 mm. Warstwy geotekstylne są połączone ze sobą mechanicznie metoda igłowania, umożliwiającą ścisłe osadzenie bentonitu między geosyntetykami.

Badania przeprowadzono na prasie pionowej Trittech 100 produkcji Wykeham Farrance z zadaną prędkością przesuwu 1,0 mm/min. Służy ona do badania próbek gruntów i innych materiałów na ściskanie i zginanie przy nacisku do 100 kN.

Na maszynie zamontowano zestaw do badania przebicia materiałów geotekstylnych zgodnie z PN-EN 14574 [1, 6]. Zestaw ten składa się z aluminiowej płytki o grubości 3 mm spoczywającej na stalowej płycie, tłołka zakończonego stalową piramidką (o 4 bokach i kącie wierzchołkowym 90°) oraz obwodu elektrycznego sygnalizującego moment przebicia.

Do badań przygotowano próbki materiałów o wymiarach 30×30 mm (geomembrany i geowłókniny) i 100×100 mm (mata bentonitowa). Próbki przeznaczone do badań na mokro umieszczono uprzednio w pojemniku z wodą o temp. 19°C na 72 h przy całkowitym zanurzeniu.

Badania wykonano w czterech seriach:

- w pierwszej serii badano geomembranę o grubości 1 mm (Gm1) oraz tę samą geomembranę osłanianą kolejno sześcioma rodzajami geowłóknin (Gw1 do Gw6). Badania przeprowadzono na sucho i na mokro (ogółem 14 próbek);
- w drugiej serii badano (także na sucho i na mokro) geomembranę o grubości 2 mm (Gm2) oraz tę samą geomembranę osłanianą geowłókninami jak w serii pierwszej (ogółem 14 próbek);
- trzecia seria obejmowała badania kompozycji składającej się z maty bentonitowej i geomembrany o grubości 1 mm (mBm+mGm1, gdzie prefiks m oznacza próbkę badaną na mokro) oraz to samo złożenie w osłonie z każdego rodzaju badanych geowłóknin (mBm + mGm1 + Gw1 itd.). Badania te przeprowadzono na próbkach hydratyzowanych (ogółem 7 próbek);
- czwarta seria badań obejmowała kompozyt składający się z maty bentonitowej i geomembrany Gm2 oraz to samo złożenie w osłonach jak w serii trzeciej. Badania te również przeprowadzono tylko na mokro (7 próbek).

Ogółem sprawdzono wytrzymałość na przebicie 42 próbek i kombinacji geosyntetyków. Każda próbka była badana w pięciu powtórzeniach, co dało po 210 wartości siły przebicia. Dla każdego pięciu powtórzeń otrzymane wartości uśredniono i takie dane przedstawiono w analizie.

### 3. Wyniki i analiza

Otrzymane w wyniku badań średnie wartości sił przebijających dla poszczególnych próbek przedstawiono w postaci graficznej na rysunkach 1–4. Dla celów porównawczych zestawiono wartości siły przebicia dla próbek badanych w stanie suchym oraz hydratyzowanych.

Analizując wyniki badań dla poszczególnych geokompozytów testowanych w serii pierwszej i drugiej (rys. 1, 2), należy stwierdzić wzrost wytrzymałości na przebicie przy zastosowaniu grubszych geowłóknin. Maksymalne wartości otrzymano w badaniach na mokro kombinacji geomembrany Gm1 i geowłókniny Gw6 ( $F_p = 2,88$  kN) oraz geomembrany Gm2 w osłonie z geowłókniny Gw6 ( $F_p = 4,3$  kN).

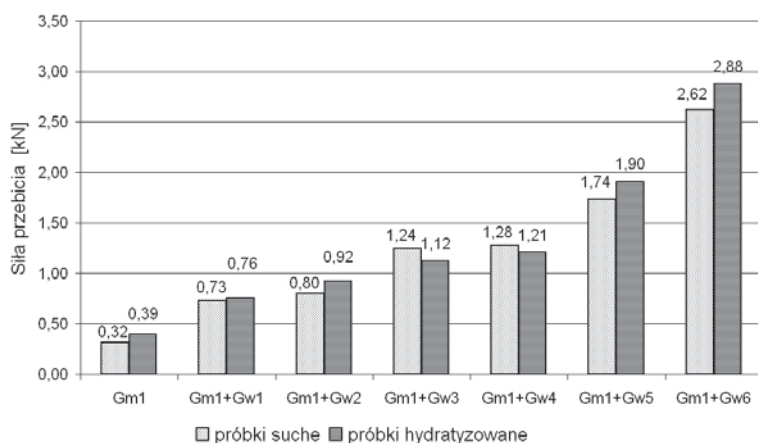
Porównanie wyników badań siły przebicia przeprowadzonych w serii pierwszej wskazują, że:

- siła przebicia zawiera się w przedziale od 0,73 do 2,62 kN w badaniu na sucho oraz od 0,76 do 2,88 kN przy badaniu próbek hydratyzowanych;
- siła potrzebna do przebicia Gm1 osłanianej najcieńszą geowłókniną (Gw1) jest około dwa razy większa od siły przebicia samej geomembrany;
- siła przebicia rośnie wraz z grubością osłaniających geowłóknin, największą wartość osiąga Gm1 osłaniana Gw6 w badaniu na mokro, uzyskując 2,88 kN. Wartość ta jest ponad siedem razy większa od siły przebicia samej Gm1;

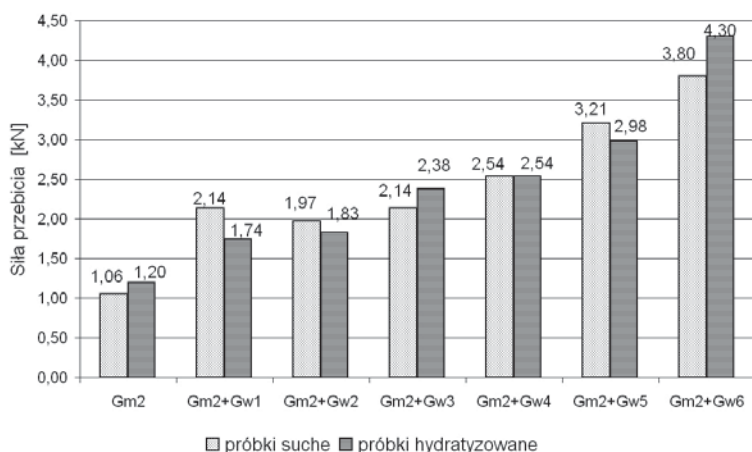
- podczas badania na mokro, siły przebicia samej Gm1 jak też Gm1 osłanianej geowłókninami były większe w porównaniu do tych samych badań prowadzonych na sucho. Wyjątek stanowiły próby z geowłókninai Gw3 i Gw4.

W serii drugiej;

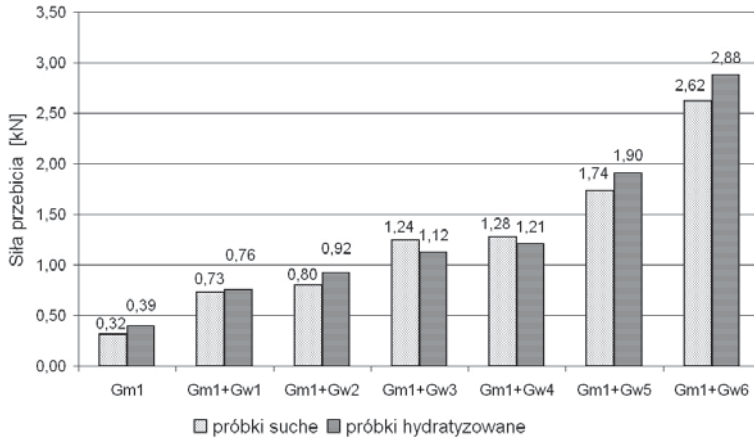
- siła przebicia zawiera się w przedziale od 2,14 do 3,80 kN w badaniu na sucho oraz od 1,74 do 4,30 przy badaniu próbek hydratyzowanych;
- siła potrzebna do przebicia Gm2 osłanianej najcieńszą geowłókniną jest około 70% większa od siły przebicia samej geomembrany;
- siła przebicia rośnie wraz z grubością osłaniających geowłóknin, największą wartość osiąga Gm2 osłaniana Gw6 w badaniu na mokro, uzyskując 4,30 kN. Wartość ta jest ponad trzy i pół razy większa od siły potrzebnej do przebicia samej Gm2.



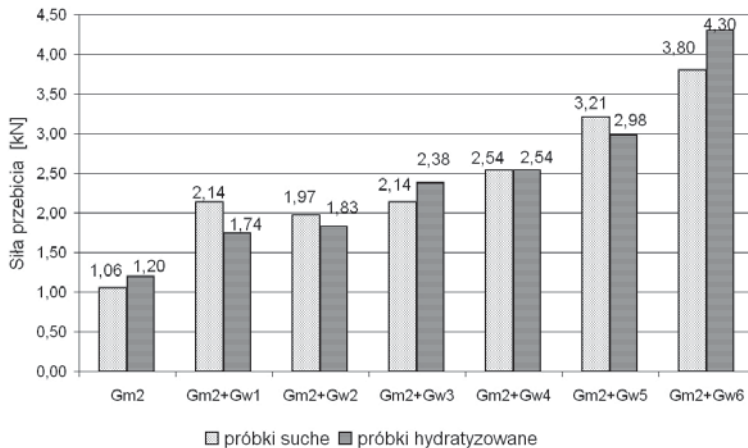
**Rys. 1.** Średnie wartości siły przebicia otrzymane w badaniach geomembrany Gm1 i geowłóknin



**Rys. 2.** Średnie wartości siły przebicia otrzymane w badaniach geomembrany Gm2 i geowłóknin



Rys. 3. Średnie wartości siły przebicia otrzymane w badaniach maty bentonitowej, geomembrany Gm1 i kolejnych geowłóknin



Rys. 4. Średnie wartości siły przebicia otrzymane w badaniach maty bentonitowej, geomembrany Gm2 i kolejnych geowłóknin

Porównując wyniki badań dla próbek testowanych w serii trzeciej i czwartej (rys. 3, 4) stwierdzono, że:

- siła przebicia dla układu składającego się z trzech geosyntetyków zawiera się w przedziale od 1,48 do 3,36 przy badaniu danej kompozycji z Gm1 oraz od 2,81 do 5,19 badaniu kompozycji z Gm2;
- wartości sił przebicia rosną proporcjonalnie do grubości zastosowanych w kompozycji geowłóknin. Największa wartość wynosi 5,19 kN w przypadku geowłókniny Gw6 i geomembrany Gm2.

Zestawiając wyniki badań dla próbek serii trzeciej i czwartej (kombinacji maty bentonitowej, geomembran i geowłóknin) z wynikami dla próbek serii pierwszej i drugiej (kom-

binacji geomembran i geowłóknin), zaobserwowano, że wartości sił przebijających dla kompozytów z użyciem maty bentonitowej są większe średnio o 0,73 kN dla geomembrany Gm1 oraz o 0,89 kN dla geomembrany Gm2 (badania na mokro).

#### 4. Obliczenia wielkości przecieków

W analizie projektu uszczelnienia składowiska należy uwzględnić możliwą wielkość przecieków przez ekran z gruntu mineralnego, geomembrany i maty bentonitowej, ponieważ w praktyce inżynierskiej okazuje się, że materiały te nie są w pełni szczelne na skutek uszkodzeń i błędów wykonawczych powstających podczas wbudowywania i eksploatacji. Dla celów porównawczych w niniejszej pracy obliczono wartości przecieku przez wybrany grunt mineralny, matę bentonitową i geomembranę [2] przy tej samej wysokości słupa wody  $h_w = 0,2$  m i powierzchni uszczelnienia  $A = 11000$  m<sup>2</sup>. Obliczone wielkości zestawiono w tabeli 2.

TABELA 2

##### Wielkości przecieków dla poszczególnych rodzajów uszczelnienia

Rodzaj bariery	Parametr	Jednostka	Wielkość przecieku [m <sup>3</sup> /d]
grunt mineralny	$k_{10} = 4 \cdot 10^{-5}$ $h_{bar} = 0,5$ $h_w = 0,2$ $A = 11000$	m/d m m m <sup>2</sup>	0,62
mata bentonitowa	$k_{10} = 4 \cdot 10^{-7}$ $h_{bar} = 0,0065$ $h_w = 0,2$ $A = 11000$	m/d m m m <sup>2</sup>	0,14
geomembrana	$a = 1 \cdot 10^{-5}$ $n_{jed} = 12$ $k_{10} = 5 \cdot 10^{-7}$ $h_{gr} = 2,0$ $h_w = 0,2$ $A = 11000$	m <sup>2</sup> szt/400m <sup>2</sup> m/s m m m <sup>2</sup>	0,16

$k_{10}$  — współczynnik filtracji gruntu mineralnego, bentonitu lub gruntu pod geomembraną,

$h_{bar}$  — grubość bariery,

$a$  — powierzchnia pojedynczego uszkodzenia w geomembranie,

$n_{jed}$  — średnia liczba uszkodzeń geomembrany na założonej powierzchni,

$h_{gr}$  — grubość warstwy gruntu pod geomembraną.

Mata bentonitowa i geomembrana uzyskały zdecydowanie mniejsze wartości przecieków w porównaniu do gruntu mineralnego (ok. 4 razy mniejsze). Biorąc pod uwagę zdolność maty bentonitowej do samuszczelniania drobnych uszkodzeń, oraz łatwość montażu wydaje się być najkorzystniejszym rozwiązaniem w przypadku braku zalecanego w rozporządzeniu [7] gruntu mineralnego o współczynniku filtracji  $k \leq 1,0 \cdot 10^{-9}$  m/s. Również łączne koszty wykonania uszczelnienia z maty bentonitowej są w wielu przypadkach niższe. Tym

bardziej, jeśli uwzględnione zostaną wszelkie nakłady finansowe, w tym także na realizację programów kontroli, jakie powinny zawsze towarzyszyć wykonywaniu uszczelnień z gruntów ilastych lub geomembrany.

## 5. Wnioski

Przeprowadzone badania i analiza wyników pozwoliły na wyciągnięcie następujących wniosków:

- wraz ze wzrostem grubości badanych geowłóknin igłowanych wzrasta siła przebicia układu: geomembrana + geowłóknina,
- osłona geomembrany różnymi typami geowłóknin powoduje znaczne zwiększenie siły przebicia przez ostre krawędzie elementów znajdujących się w warstwie dennej składowisk (nawet siedmiokrotne zwiększenie siły potrzebnej do przebicia),
- dla próbek hydratyzowanych w wodzie w większości badanych przypadków odnotowano większe wartości siły przebicia w porównaniu do próbek przebijanych na sucho,
- badane geowłókniny nieznacznie pęcznieją w wodzie zwiększając swoją grubość.

## 6. Podsumowanie

Zastosowanie geosyntetyków w kolejności: mata bentonitowa, geomembrana i geowłóknina sprawdziło się w praktyce na składowiskach odpadów jako układ uszczelnienia dennego. Wariant taki daje gwarancję szczelności i odporności na niewielkie przebicia (samouszczelniające właściwości bentonitu). Dobór odpowiednich materiałów geosyntetycznych pełniących funkcje ochronne powinien być oparty na określeniu maksymalnych sił, jakie będą wywierane na kompozyt. Dopiero na tej podstawie można dobierać odpowiednio wytrzymałe geosyntetyki.

Porównując ze sobą dwie kombinacje ułożenia badanych geosyntetyków należy stwierdzić, że oba rozwiązania posiadają swoje zalety. Dla kompozycji typu geomembrana osłaniana różnymi typami geowłóknin uzyskuje się dużą odporność na przebicie przez ostre krawędzie przedmiotów znajdujących się w odpadach. Kompozycja typu bentomata, geomembrana i różne typy geowłóknin uzyskuje większe wartości sił przebijających w porównaniu do kompozycji dwuwarstwowej. Kompozycja trójwarstwowa zabezpiecza geomembranę również przed ostrymi krawędziami podłoża [4], poprzez ułożenie geowłókniny pod geomembraną. Jednocześnie zastosowana mata bentonitowa stanowi pierwszą nieprzepuszczalną barierę dla odcieków, drugą barierą jest geomembrana. Pierwsze i drugie rozwiązanie jest korzystne i ekonomicznie uzasadnione. Przy drugim wariantcie większe koszty poniesione na budowę zwrócą się w przyszłości poprzez zmniejszenie nakładów na realizację programów kontroli i likwidacji ewentualnych przecieków.

## LITERATURA

- [1] Bolt A., Duszyńska A., Piotrkowska M.: Badania laboratoryjne symulujące uszkodzenia mechaniczne geotekstyliów i wyrobów pokrewnych w budowach ziemnych. II problemowa konferencja Geotechniki, Białystok—Białowieża 17–18 czerwca 2004, s. 201–210
- [2] Giroud J. P., Badu-Tweneboah K., Bonaparte R.: Rate of Leakage through a Composite Liner due to Geomembrane defects. *Geotextiles and Geomembranes*, vol. 11, 1992, s. 1–28
- [3] Maślanka K., Pielichowski J.: Geosyntetyki w inżynierii i ochronie środowiska. Wydawnictwo Teza, Kraków, 2006
- [4] Piotrowska M.: Wpływ rodzaju podłoża na uszkodzenia mechaniczne geowłóknin. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej, Zeszyt 29*, 2006, s. 181–189
- [5] Wesółski A., Krzywicz Z., Brandy T.: Geosyntetyki w konstrukcjach inżynierskich. Wydawnictwo SGGW, Warszawa, 2000
- [6] PN-EN 14574 Geosyntetyki. Wyznaczenie oporu na przebicie piramidką geosyntetyków osłonowych
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów. (Dz.U.2003.61.549 z dnia 10 kwietnia 2003 r.)