



## Application of waste materials for the production of innovative geotextiles for soil protection against surface erosion

Jan BRODA<sup>1</sup>, Monika ROM<sup>1</sup>, Joanna GRZYBOWSKA-PIETRAS<sup>1</sup>, Stanisława PRZYBYŁO<sup>1</sup>,  
Ryszard LASZCZAK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Akademia Techniczno – Humanistyczna, Wydział Nauk o Materiałach i Środowisku, Instytut Inżynierii Tekstyliów i Materiałów Polimerowych, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, tel.: +48 33 8279117, fax: +48 33 8279100, e-mail: jbroda@ath.bielsko.pl

### Abstract

For many years, geosynthetics have been used for erosion protection of slopes and embankments. In recent years different efforts to develop new technologies for production and installation of geosynthetics designed for erosion protection were undertaken. The new generation of erosion protective geosynthetics includes geotextiles built from meandrically arranged coarse Kemafil ropes connected with additional linking threads. The paper presents the results of investigations on variety of biodegradable materials, which can be used for the production of Kemafil ropes. During the investigations the basic geometrical and mechanical parameters of the materials were determined. Cotton and sisal cord intended for the manufacture of the sheath and selected non-woven and woven fabric intended to form the cover were investigated. At the same time the tests of production of Kemafil ropes built from the tested materials and various filler materials were performed. During the studies the usefulness of materials for the manufacture of Kemafil ropes was evaluated.

**Keywords:** geotextiles, soil erosion, Kemafil technology

### Streszczenie

Zastosowanie materiałów odpadowych do produkcji innowacyjnych geotekstyliów przeznaczonych do ochrony gruntu przed erozją powierzchniową.

Od wielu lat geosyntetyki są stosowane do ochrony przeciwoerozyjnej skarp i nasypów. W ostatnich latach prowadzone są prace mające na celu opracowanie technologii i montażu nowych geosyntetyków pełniących funkcję ochrony przeciwoerozyjnej. Do nowych geosyntetyków przeciwoerozyjnych należą innowacyjne geotekstyli utworzone przez meandrycznie ułożone sznury Kemafil połączone specjalnymi łącznikami wykonanymi techniką dziewiarską. W pracy zaprezentowano wyniki badań różnych materiałów biodegradowalnych służących do produkcji sznurów Kemafil. W czasie badań wyznaczono podstawowe parametry geometryczne i mechaniczne materiałów przeznaczonych do tworzenia oplotu oraz materiałów pełniących funkcję otuliny. Badano sznurek bawełniany i szałowy przeznaczony do wytwarzania oplotu oraz wybrane tkaniny i włókniny przeznaczone do tworzenia otuliny. Jednocześnie przeprowadzono próby wykonania sznurów z wykorzystaniem badanych materiałów i różnych materiałów wypełniających. W wyniku przeprowadzonych badań oceniono przydatność badanych materiałów do wytwarzania sznurów Kemafil.

**Słowa kluczowe:** geotekstyli, erozja gleby, technologia Kemafil

### 1. Wstęp

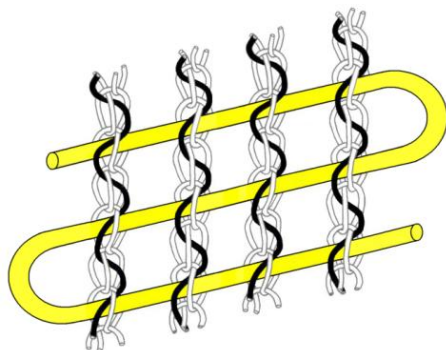
Rolnicza i przemysłowa działalność człowieka mocno ingerująca w środowisko naturalne oraz obserwowane w ostatnich latach klęski żywiołowe połączone z intensywnymi opadami deszczu są przyczyną licznych problemów związanych z powierzchnią erozją gleby. Erozji podlegają naturalne elementy środowiska: brzegi rzek i jezior, wydmy nadmorskie oraz naturalne zbocza, a także elementy wznoszonych konstrukcji inżynierskich: wały przeciwpowodziowe, skarpy nasypów drogowych i kolejowych, przyczółki mostów, kanały oraz rowy melioracyjne.

Ograniczenie erozji powierzchniowej gruntów i obiektów inżynierskich wymaga zastosowania specjalnych środków ochrony przeciwoerozyjnej. Od wielu lat do takiej ochrony są stosowane geosyntetyki [1-3]. Geosyntetyki ograniczają skutki erozji powierzchniowej na skarpach i zboczach oraz wspomagają rozwój roślinności ochronnej. W czasie opadów zapewniają one ochronę powierzchni gruntu przed uderzeniami kropel deszczu, zmniejszają prędkość wody spływającej po stoku i zabezpieczają nasiona traw przed wymywaniem [4-6]. Geosyntetyki rozkładane na powierzchni gruntu ograniczają penetrację promieniowania słonecznego, eliminują gwałtowne skoki temperatury, hamują odprowadzanie wilgoci z gruntu na drodze parowania i utrzymują stałą wilgotność gleby. W wyniku takiego działania zabezpieczają one korzystny mikroklimat dla kiełkujących nasion traw i roślin ochronnych.

Do długotrwałej ochrony przeciwoerozyjnej stosowane są geosyntetyki niebiodegradowalne o długotrwałej żywotności wykonane z materiałów, których skład surowcowy i struktura pozwalają na skuteczne wypełnianie funkcji przeciwoerozyjnej przez okres co najmniej kilkunastu lat. Do takich materiałów należą maty przestrzenne i siatki z włókien syntetycznych, siatki stalowe, panele modułowe oraz geokraty.

Do czasowej ochrony przeciwoerozyjnej stosowane są wyroby wykonane z materiałów biodegradowalnych. Wyroby z tej grupy zapewniają bezpośrednią ochronę przeciwoerozyjną w ograniczonym przedziale czasu (1-5 lat). Najczęściej wyroby te są stosowane jako ochrona inicjacyjna dla skarp o niewielkim nachyleniu zazielenianych metodą hydroobsiewu. Geosyntetyki biodegradowalne chronią skarpy przed erozją powierzchniową we wczesnej fazie rozwoju roślinności ochronnej. W późniejszym okresie ulegają one rozkładowi dostarczając pożywkę dla rozwoju roślinności, która docelowo przejmuje funkcję ochrony przeciwoerozyjnej. Geosyntetyki biodegradowalne mogą zawierać w sobie nasiona lub sadzonki roślin. Do przeciwoerozyjnych geosyntetyków należą maty i włókniny wykonane z włókien naturalnych: bawełny, wełny, juty oraz włókien kokosowych.

Na rynku dostępna jest szeroka paleta wyrobów przeznaczonych do zapobiegania skutkom erozji obejmująca geotkaniny i geowłókniny, gęste geosiatki bezwęzłkowe, geokompozyty przepuszczalne, przestrzenne maty przeciwoerozyjne lub geosiatki komórkowe. Od kilku lat trwają prace mające na celu opracowanie technologii wytwarzania nowych innowacyjnych geotekstyliów przeznaczonych do ochrony skarp i nasypów przed erozją powierzchniową. Do takich geotekstyliów należą wyroby wykonane z grubych sznurów układanych w kształcie meandra, które łączy się ze sobą łańcuszkami wykonanymi techniką dziewiarską (Rys.1.1).



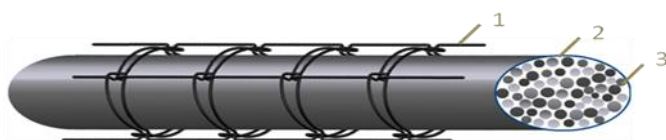
Rys. 1.1. Budowa innowacyjnych geotekstyliów przeznaczonych do zabezpieczenia skarp przed erozją powierzchniową

Pierwsze próby wykorzystania takich geotekstyliów do zabezpieczenia skarp przydrożnych zostały przeprowadzone kilka lat temu (Rys.1.2). W czasie prowadzonych wówczas badań stwierdzono, że geotekstylium ułożone meandrycznie na powierzchni gruntu absorbuje nadmiar wody i tworzą mikrotamy zmniejszające prędkość wody spływającej wzdłuż skarpy. W ten sposób geotekstylium znacznie ogranicza ilość cząstek gruntu spłukiwanych po powierzchni stoku. W czasie eksploatacji geotekstylium mogą przerastać korzeniami traw i roślin ochronnych, co sprzyja integracji świeżego nasypu z gruntem rodzimym. Podczas deszczu geotekstylium magazynują wodę, którą odprowadzają w porze suchej stwarzając tym samym dogodne warunki do rozwoju roślinności ochronnej [7].



Rys. 1.2. Skarpa zbrojona innowacyjnymi geotekstyliami [7].

Meandryczne geotekstyliami mogą być produkowane z wykorzystaniem różnych materiałów i różnych technologii. W ramach projektu Progeo do produkcji geotekstyliów zastosowano surowce odpadowe oraz technologię Kemafil.



Rys. 1.3. Struktura sznurka Kemafil; 1/ oplot; 2/ otulina zewnętrzna; 3/ rdzeń (wypełnienie)

Technologia Kemafil umożliwia produkcję sznurów oplecionych cienką siatką wykonaną techniką dziewiarską. Technologia została opracowana w 1974 roku w ówczesnym Instytucie Tekstyliów Przemysłowych w Dreźnie [8]. Pierwsze maszyny Kemafil umożliwiały produkcję sznurów o średnicy 50 mm. W wyniku kolejnych modyfikacji stworzono możliwość wprowadzenia dodatkowej otuliny zewnętrznej w postaci cienkiej tkaniny czy włókniny ochraniającej materiał wypełniający (Rys. 1.3) oraz produkcję grubszych sznurów o średnicy  $\varphi = 130$  mm.

Technologia Kemafil jest od lat wykorzystywana do produkcji rur drenażowych, sznurów izolacyjnych i uszczelniających stosowanych w budownictwie oraz sznurów ochronnych i zabezpieczających stosowanych w transporcie.

## 2. Dobór materiałów do produkcji sznurów Kemafil.

W trakcie badań wytypowano materiały do wytwarzania sznurów Kemafil. Badano sznur bawełniany i szałowy przeznaczony do tworzenia oplotu (Rys.2.1) oraz tkaninę i siatkę jutową, igłowaną włókninę wełnianą i przesywaną włókninę z włókien ponownych przeznaczone do wytworzenia otuliny (Rys.2.2).

W czasie badań sznurka do tworzenia oplotu wyznaczono masę liniową oraz podstawowe parametry mechaniczne: wytrzymałość na rozciąganie oraz wydłużenie przy obciążeniu maksymalnym. Badania przeprowadzono zgodnie z normami: PN-P-04653:1997 i PN-EN ISO 2062:1997 z wykorzystaniem maszyny wytrzymałościowej Hounsfield KS50. Wartości wyznaczonych parametrów przedstawiono w Tabeli 2.1.



Rys. 2.1. Materiały przeznaczone do wytwarzania oplotu sznurów Kemafil; a/ sznurek bawełniany; b/ sznurek sizalowy

Tabela 2.1. Parametry sznurka przeznaczonego do tworzenia oplotu sznurów Kemafil.

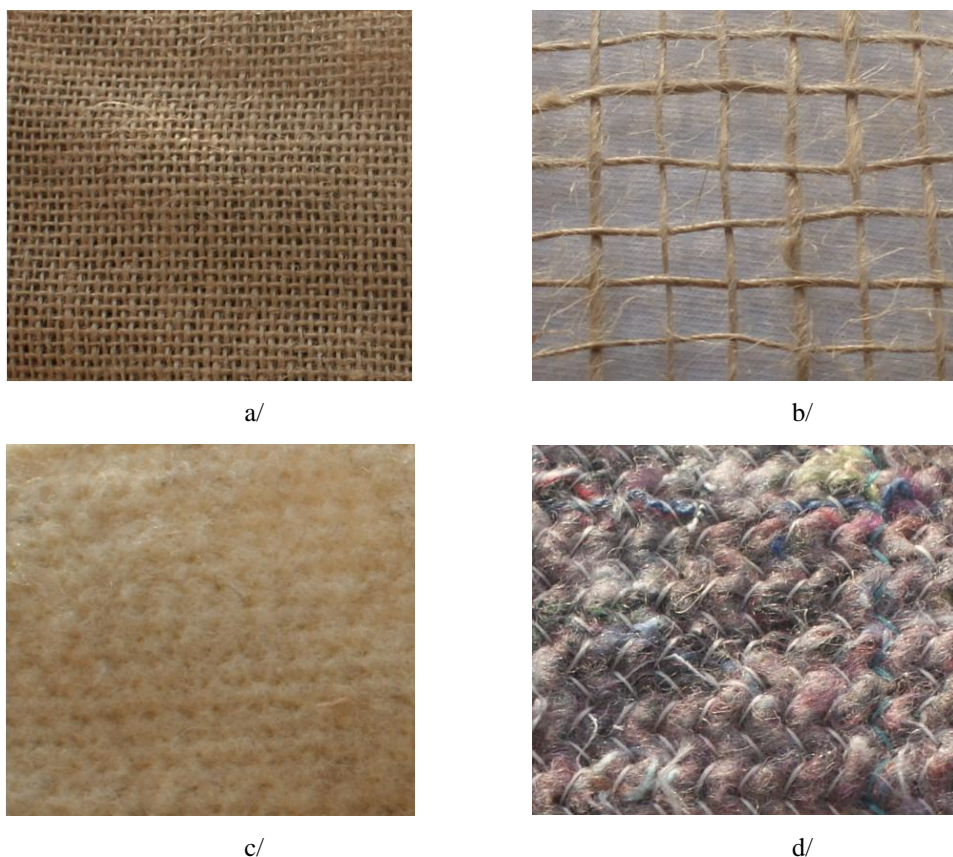
Sznurek	Masa liniowa [tex]	Wytrzymałość na rozciąganie [cN/tex]	Wydłużenie przy obciążeniu maksymalnym [%]
bawełniany	2328	32,0	14,5
sizalowy	3173	13,1	4,4

Sznurek bawełniany stanowi sznurek potrójnie nitkowany skręcony z trzech nitek o masie liniowej 776 tex. Masa liniowa tego sznurka jest niższa od masy liniowej sznurka sizalowego. Mimo mniejszej masy liniowej sznurek bawełniany posiada znacznie większą wytrzymałość na rozciąganie. Zastosowanie tego sznurka jako oplotu sznurka Kemafil gwarantuje otrzymanie produktu o wysokiej wytrzymałości umożliwiającemu jego zastosowanie do zabezpieczenia stromych i długich skarp. Sznurek sizalowy o mniejszej wytrzymałości może być stosowany do produkcji wyrobów eksploatowanych przy mniejszych obciążeniach.

W trakcie badań materiałów przeznaczonych do tworzenia otuliny wyznaczono ich grubość i masę powierzchniową oraz wytrzymałość na rozciąganie i wydłużenie przy obciążeniu maksymalnym. Parametry mechaniczne zostały zmierzone wzdłuż i poprzek wyrobu. Badania przeprowadzono zgodnie z normami: PN-EN ISO 9863-1:2007, PN-EN ISO 9864:2007 i PN-EN ISO 10319:2010 z wykorzystaniem grubościomierza do geotekstyliów ZAN/95 i maszyny wytrzymałościowej Hounsfield KS50 wyposażonej w szerokie uchwyty do próbek o szerokości 0.2 m. Wartości wyznaczonych parametrów przedstawiono w Tabeli 2.2.

Analizowane materiały posiadają różną grubość i charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem masy powierzchniowej. Znaczne zróżnicowanie tych materiałów umożliwia produkcję sznurów Kemafil wypełnionych różnymi materiałami posiadających różne właściwości odpowiednio dostosowane do warunków terenowych. Największą wytrzymałość, kilkakrotnie przewyższającą wytrzymałość innych materiałów wykazuje tkanina jutowa. Tkanina jutowa posiada także najniższą odkształcalność przy obciążeniu maksymalnym. Takie parametry mechaniczne tkaniny jutowej predestynują ją do wytwarzania wyrobów poddanych działaniu znacznych obciążeń mechanicznych.

Dla pozostałych materiałów wytrzymałość na rozerwanie jest znacznie mniejsza. Najmniejszą wytrzymałość w obydwu kierunkach posiadają badane włókny. Przy znacznie mniejszej wytrzymałości wyroby te cechuje wysoka odkształcalność. Takie parametry mechaniczne nie dyskwalifikują tych wyrobów. W sznurach Kemafil włókny mogą zapewnić dobrą ochronę materiałów wypełniających i przy dobrze wykonanym oplotcie zapewniającym dostateczną wytrzymałość mechaniczną mogą być z powodzeniem zastosowane.

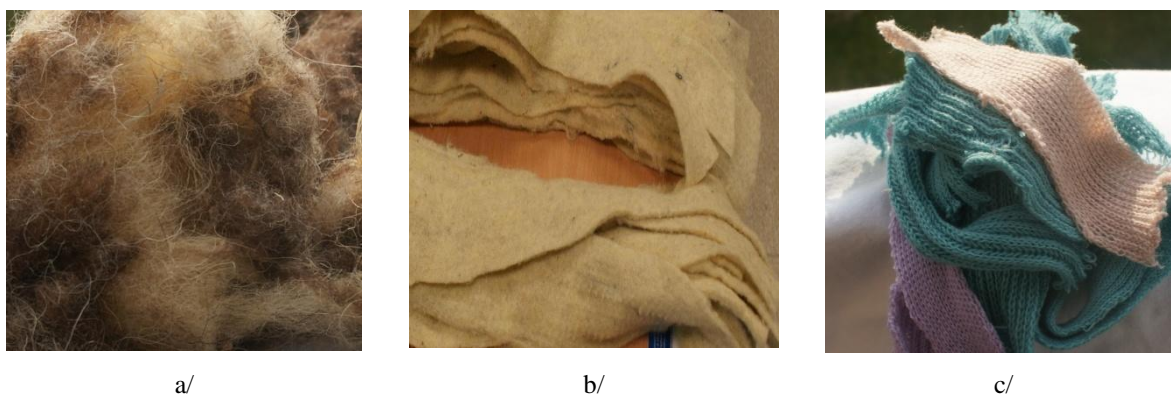


Rys. 2.2. Materiały przeznaczone do wytwarzania otuliny sznurów Kemafil; a/ tkanina jutowa; b/ siatka jutowa; c/ igłowana włóknina wełniana; d/ przesywana włóknina z włókien ponownych.

Tabela 2.2. Parametry materiałów przeznaczonych do tworzenia otuliny sznurów Kemafil.

Otulina	Grubość [mm]	Masa powierzchniowa [g/m <sup>2</sup> ]	Wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż/poprzek [kN/m]	Wydłużenie przy obc. max wzdłuż/poprzek [%]
tkanina jutowa	1,1	287,0	13,1/17,0	4,2/4,0
siatka jutowa	1,1	105,0	3,0/2,8	4,7/4,0
włóknina wełniana	5,8	406,0	0,7/1,9	29,0/56,0
włóknina z włókien ponownych	3,0	265,0	0,7/3,1	19,7/15,0

Badane materiały wykorzystano do produkcji sznurów zawierających różne materiały wypełniające. Do wypełnienia sznurów zastosowano wełnę odpadową, ścinki włókniny wełnianej oraz poszarpane odpady wyrobów odzieżowych (Rys.2.3).



Rys. 2.3. Materiały stosowane do wypełnienia sznurów Kemafil; a/ wełna odpadowa; b/ ścinki włókniny wełnianej; c/ rozdrobnione odpady odzieżowe.

### 3. Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań wykazano, że do produkcji sznurów Kemafil stanowiących podstawowy element innowacyjnych geotekstyliów przeznaczonych do ochrony przeciwoerozyjnej skarp i nasypów mogą być wykorzystane różne materiały z surowców naturalnych. Wszystkie materiały są łatwo dostępne na rynku. Różne materiały mogą być stosowane zarówno do wykonania opłotu jak i otuliny sznurów Kemafil, a także do ich wypełnienia. Poprzez zastosowanie różnych materiałów można uzyskać sznury o różnych właściwościach dostosowane do warunków terenowych.

### Podziękowanie

Niniejsza praca została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach projektu Progeo pt.: Trwała ochrona przeciwoerozyjna za pomocą geotekstyliów z surowców odnawialnych wytwarzanych i montowanych według innowacyjnej technologii – DZP/CORNET-16/628/2014.

### Literatura

1. Ajdukiewicz J., Przegląd geosyntetycznych systemów ochrony i zabezpieczenia obiektów gruntowych przed oddziaływaniem środowiska wodnego, *Gospodarka Wodna*, 2004
2. Ajdukiewicz J., Biodegradowalne geosyntetyczne materiały antyerozyjne i wspomagające zazielenianie obiektów hydrotechnicznych, *Gospodarka Wodna*, 2005
3. Rickson R.J., Controlling sediment at source: an evaluation of erosion control geotextiles, *Earth Surf. Process. Landforms*, 2006, 31, 550–560.
4. Álvarez-Mozos J., Abad E., Giménez R., Campo M.A., Goñi M., Arive M., Casali J., Díez J., Diego I., Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 1: Effects on runoff and soil loss, *Catena*, 2014, 118, 168–178.
5. Álvarez-Mozos J., Abad E., Goñi M., Giménez R., Campo M.A., Díez J., Casali J., Arive M., Diego I., Evaluation of erosion control geotextiles on steep slopes. Part 2: Influence on the establishment and growth of vegetation, *Catena*, 2014, 121, 195–203.
6. Bhattacharya R., Smets T., Fullen M.A., Poesen J., Booth C.A., Effectiveness of geotextiles in reducing runoff and soil loss: A synthesis, *Catena*, 2010, 81, 184–195.
7. Helbig R., Arnold R., Erth H., Roess T., Hevert W., Lischkowitz H., New technologies for manufacturing extra coarse rope-like biodegradable geotextiles, *Technische Textilien*, 2006, 49, 185-187, 244-247.
8. Arnold R., Bartl A.M., Hufnagl E., Production of cord and narrow fabric products with Kemafil technology, *Band- und Flechtindustrie* 1993, 30, 4-10.