

Wykorzystanie odpadowych włókien syntetycznych i wełny do zastosowań w inżynierii lądowej

Dr inż. Joanna Grzybowska-Pietras, dr inż. Anna Juzka, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, dr hab. inż. Giang Nguyen, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, University of Žilina, Faculty of Civil Engineering

1. Wprowadzenie

Odnotowywane w ostatnim czasie zmiany warunków klimatycznych w Polsce wpływają na niestaość stosunków wodnych oraz przyczyniają się do znacznej erozji gruntu. Zjawiska te prowadzą między innymi do usunięcia ze skarp czy zboczy najcenniejszej powierzchniowej warstwy gruntu, pogorszenia struktury skarp, wymywania składników mineralnych oraz niszczenia roślinności ochronnej. Do zabezpieczenia skarp powszechnie stosowane są geosyntetyki, w tym geotekstyli, które pełnią przede wszystkim funkcję powierzchniowego zabezpieczenia przeciwerozyjnego. Geotekstyli są wykorzystywane zarówno do ochrony długotrwałej (niebiodegradowalne) lub tymczasowej (biodegradowalne) [1, 2]. Szczególnie interesującymi rozwiązaniami są zastosowania włókien syntetycznych jako zbrojenia rozproszonego warstwy gruntu oraz włókien naturalnych (np. wełny), które ulegając biodegradacji uwalniają azot i wspierają rozwój skarpowej roślinności ochronnej [3]. Erozja jest procesem naturalnie występującym na świecie, niezależnie od szerokości geograficznej. Przebieg oraz intensywność procesów erozyjnych są uzależnione od rozmaitych czynników, takich jak rodzaj gruntu, ukształtowanie terenu, nawodnienie czy typ pokrywy roślinnej. Przyczyny występowania zjawiska erozji mogą mieć charakter naturalny (wynikają z budowy geologicznej, działalności wody i wiatru) bądź są wynikiem gospodarczej działalności człowieka. Silne nasłonecznienie, powodujące wysychanie gruntu, nagłe i intensywne opady deszczu oraz związane z tym zmiany poziomu wody gruntowej, przyczyniają się do wystąpienia erozji powierzchniowej gruntu, co ma swoje konsekwencje środowiskowe jak i ekonomiczne. Działanie tych czynników, w przypadku braku odpowiedniego zabezpieczenia konstrukcji ziemnej jest początkiem jej niszczenia, które widoczne jest w warunkach budowy w okresie między zakończeniem robót ziemnych a trwałym pokryciem terenu roślinnością.

2. Zastosowanie włókien w przypowierzchniowej warstwie gruntu

Naturalną metodą ochrony przed erozją powierzchniową skarp i zboczy jest zapewnienie rozwoju odpowiedniej

pokrywy roślinnej, która przeciwdziała niszczeniu podłoża gruntowego. Często wystarczającym zabiegiem jest stworzenie powierzchni trawiastej, którą można uzyskać dzięki zastosowaniu hydroobsiewu lub wykorzystaniu geotekstyliów biodegradowalnych (biowłóknin). Dodatkowo można przykryć konstrukcję warstwą gruntu z tzw. zbrojeniem rozproszonym w postaci włókien syntetycznych, które dodatkowo zabezpieczają skarpe przed oddziaływaniem negatywnych zjawisk atmosferycznych lub włókien naturalnych, które ulegając biodegradacji poprawiają warunki do rozwoju roślinności ochronnej [4, 5].

2.1. Materiał badawczy

Do badań zastosowano odcinkowe włókna poliestrowe otrzymane z recyklingu butelek (PET) firmy Elcen z Gdyni oraz włókna wełny ponownej firmy Amanda z Bielska-Białej. Cechy fizyczne i mechaniczne włókien przedstawiono w tabeli 1 [6].

Tabela 1. Wybrane parametry fizyczne i mechaniczne włókien [6]

Rodzaj włókna	Średnica włókna	Długość włókna	Wytrzymałość włókna	Wydłużenie zrywające
	[μm]	[mm]	[cN/tex]	[%]
Włókno poliestrowe PET	37	64	24	71
Wełna ponowna	33	68	15	40

2.2. Stanowisko badawcze

Próby polowe przeprowadzono na terenie znajdującym się na północno-wschodnich przedmieściach Bielska-Białej (w dzielnicy Lipnik). Inwestor przeprowadził prace budowlane polegające między innymi na przesunięciu znacznych mas ziemnych i ich ukształtowaniu w postaci trzech poziomych tarasów, które utwardzono mieszanką kruszywa (klienca) w celu zabezpieczenia gruntu rodzimego przed erozją. W wyniku przeprowadzonych prac budowlanych powstały między tarasami strome zbocza o nachyleniu 1:1,5 ulegające znacznej erozji powierzchniowej, wynikającej zwłaszcza z działania wody opadowej.



Rys. 1. Widok poletek doświadczalnych na skarpie w Lipniku

Podczas prac badawczych wykonano analizę makroskopową gruntu nasypowego, pobierając próbki z poszczególnych warstw tarasów. Analizowana skarpa jest zbudowana z iłów w stanie twaroplastycznym ($I_L=0,08-0,20$), u podnóża zalega ił ze żwirem w stanie półzwartym ($I_L < 0$) [6].

2.3. Instalacja włókien na skarpie

Badania prowadzono na 3 poletkach doświadczalnych o szerokości 2 m i długości ok. 6 m każde (rys. 1). Po wyrównaniu powierzchni skarpy przystąpiono do wykonania warstwy wierzchniej ochrony przeciwozyjnej. Do przykrycia skarpy wykorzystano grunt drobnoziarnisty, pobrany w obrębie prowadzonych robot budowlanych, który stanowił ił ze żwirem w stanie plastycznym ($I_L=0,33$). Grunt ten został wymieszany z włóknami syntetycznymi (PET) oraz włóknami naturalnymi (wełna po praniu) [6].

Na płaskiej powierzchni gruntu (tarasu) rozłożono warstwę gruntu służącą do przykrycia skarpy, na którą ułożono określoną ilość włókien poliestrowych (PET 1% i PET 0,25%) oraz wełny (0,25%), po czym całość przykryto kolejną cienką warstwą gruntu. Po uformowaniu przyzmy grunt dwukrotnie wymieszano za pomocą recyklera drogowego [6].

Następnie uzyskany kompozyt gruntowy rozłożono na powierzchnię skarpy i zagęszczono łyżką koparki (rys. 2).

Po wymieszaniu gruntu z włóknami i obsypaniu powierzchni skarpy powstałym kompozytem gruntowym skarpe wyrównano i obsiano odpowiednio dobraną mieszanką trawy.

2.4. Monitoring skarpy

Po zakończeniu instalacji skarpa była na bieżąco monitorowana. W ciągu kolejnych tygodni pomimo intensywnych opadów oraz zmiennej temperatury nie zaobserwowano uszkodzeń erozyjnych na powierzchni obiektu. Po dwóch miesiącach od rozpoczęcia eksperymentu na powierzchni skarpy zaobserwowano intensywny wzrost trawy (rys. 3). Zauważono, że w różnych miejscach skarpy kolor trawy i jej wysokość są znacząco zróżnicowane i zależne od rodzaju zastosowanego włókna wykorzystanego do jej obsypania. Największy przyrost trawy, w pierwszym sezonie wegetacyjnym, odnotowano w miejscu zabezpieczonym gruntem



Rys. 2. Zagęszczanie gruntu z włóknami na skarpie łyżką koparki



Rys. 3. Widok trawy po dwóch miesiącach po zakończeniu prac instalacyjnych (czerwiec 2017)

z dodatkiem włókien wełnianych. Ponadto w miejscach, gdzie skarpe obsypano gruntem z dodatkiem wełny, trawa miała intensywny, ciemnozielony kolor. Lepszy wzrost trawy można powiązać ze zwiększoną zawartością azotu uwalnianego w czasie rozkładu włókien wełnianych [6].

Na skarpie zaobserwowano również, że syntetyczne włókna poliestrowe z recyklingu butelek PET zmieszane z gruntem zatrzymują nasiona trawy na skarpie oraz wzmacniają stateczność skarpy poprzez ograniczenie odspajania się cząstek gruntu i ich splukiwania w dół skarpy.

3. Sznury Kemafil® jako zabezpieczenie przeciwozyjne SKARP

W celu trwałej ochrony przed erozją często stosuje się trójwymiarowe systemy geokomórkowe, które wykonane są z materiałów nieulegających biodegradacji o długotrwałej żywotności (polietylen). Niezwykle interesujące jest połączenie funkcji przeciwozyjnej z poprawą nawodnienia i odprowadzenia nadmiaru wody z powierzchni skarp i zboczy. W tym celu można wykorzystać istniejącą od końca lat 70. XX wieku technologię Kemafil® do produkcji nowoczesnych geotekstyliów, które zbudowane są najczęściej z grubych sznurów z włókien (syntetycznych oraz naturalnych),

połączonych w całość siatką oplatającą i mocowanych na powierzchni w postaci meandrów lub w postaci kratownicy (tzw. plaster miodu) [7].

3.1. Materiał badawczy

Do badań wykorzystano sznury Kemafil® o średnicy ok. 13 cm, zbudowane z włókniny z odpadów włókienniczych (RKL) oraz włókniny otrzymanej w 100% z wełny wyprodukowanej z włókien ponownych, otrzymanych przez rozwłóknienie wyselekcjonowanych szmat wełnianych (rys. 4). Włókniny wytworzono z wykorzystaniem technologii przesywania (Maliwatt). Parametry fizyczne i mechaniczne włókien zamieszczono w tabeli 2 [8].

Tabela 2. Parametry włókien wykorzystanych do produkcji sznurów Kemafil® [8]

Parametr	Jednostka	Rodzaj włókniny	
		włóknina RKL	włóknina wełniana
Masa powierzchniowa	[g/m ²]	265	322
Grubość 2kPa	[mm]	3,0	2,9
Wytrzymałość na zrywanie wzdłuż w poprzek	[kN/m]	3,8	5,0
		0,9	0,4

3.2. Stanowisko badawcze i instalacja sznurów Kemafil

Próbne poletko wykonano w październiku 2018 r. na terenie Nadleśnictwa Ujsoły w powiecie żywieckim (miejscowość Rycerka Dolna) obejmującej obszary górskie o urozmaiconej rzeźbie terenu położone w zasięgu klimatu górskiego i podgórskiego. W ramach przeprowadzonych prac zabezpieczone osuwisko zlokalizowane wzdłuż leśnej drogi gruntowej o długości podstawy 19 m, wysokości dochodzącej do 7,4 m i nachyleniu ok. 40–45°. Ogólny widok skarpy przed rozpoczęciem robót przedstawiono na rysunku 5.

Zbocze jest zbudowane z fliszu karpackiego. Ze względu na sposób wykonania drogi zbocze nosi ślady erozji i wcześniejszych ruchów masowych. Przed rozpoczęciem prac wykonano analizę makroskopową gruntów. W obrębie zabezpieczenia stwierdzono występowanie gruntów ilastych z domieszką pyłów i żwiru. Podczas badań stan gruntów drobnoziarnistych określono na znajdujący się na granicy plastycznego i twaroplastycznego (IL=0,20–0,35). Stan gruntów w czasie ulega znacznym zmianom z uwagi na budowę geologiczną obszaru oraz znaczne zmiany wilgotności mas ziemnych.

Do zabezpieczenia przeciwoerozyjnego skarpy zastosowano sznury Kemafil®, które ułożono na skarpie w formie kratownicy. W miejscu krzyżowania się sznury połączono opaskami zaciskowymi, po czym przytwierdzono do powierzchni skarpy prętami stalowymi o długości 80 cm. W dolnej części skarpy wzniesiono konstrukcję oporową utworzoną ze sznurów Kemafil® wplecionych pomiędzy prętami stalowymi systemem faszynowym (rys. 6). Sznury przysypano



Rys. 4. Sznury Kemafil® wykorzystane do zabezpieczenia przeciwerozyjnego skarpy



Rys. 5. Widok ogólny stanowiska badawczego

15 cm warstwą rodzimego gruntu wymieszanego z wyczesanymi wełnianymi będącymi produktem ubocznym produkcji dywanów (ok. 0,5% wagowo). Mieszanek gruntu wyrównano i zagęszczono za pomocą łyżki koparki, a następnie obsiano mieszaną traw skarpowych.

3.3. Monitoring skarpy

Od momentu zamontowania do chwili obecnej prowadzony jest monitoring inwestycji. Prowadzone obserwacje wykazały, że erozja zbocza drogi leśnej w Nadleśnictwie Ujsoły jest skutecznie ograniczana dzięki instalacji na skarpie trójwymiarowego układu sznurów Kemafil® w postaci kratownicy. Zdjęcia stanu skarpy w lipcu 2019 r. pokazano na rysunku 7.

Należy zauważyć, że pomimo mroźnej i długiej zimy oraz ulewnych deszczy wiosennych nie odnotowano na skarpie erozji powierzchniowej zbocza. Szczegółowa wizja lokalna obiektu przeprowadzona w lipcu 2019 r. wykazała, że na obszarze wzmocnionym nie ma jakiegokolwiek przemieszczania się mas gruntu. Zainstalowane sznury Kemafil® magazynują i transportują nadmiar wody opadowej, ograniczając tworzenie się wyłobień w skarpie i sprzyjając rozwojowi roślinności oraz zabezpieczając powierzchnię skarpy przed lokalnymi splywami i obrywami.



Rys. 6. Widok skarpy przysypanej kompozytem gruntu z wyczesami wełnianymi



Rys. 7. Widok skarpy w lipcu 2019.; wyraźnie widoczna różnica pomiędzy powierzchnią skarpy wzmocnionej a sąsiednią nieumocnioną

4. Podsumowanie

W inżynierii lądowej odpowiednio stosowane materiały geosyntetyczne mogą pełnić wiele istotnych funkcji jednocześnie. Zastosowanie takich materiałów umożliwia często rozwiązanie trudnych problemów związanych również z zabezpieczeniem przeciwoerozyjnym, magazynowaniem wody, poprawą filtracji i odwodnienia skarpy i zboczy.

Zastosowanie zbrojenia rozproszonego z włókien syntetycznych poprawia stabilność i ochronę erozyjną skarpy, wspiera rozwój roślinności. Dodatkowo włókna wełny są doskonałym nawozem azotowym dla roślinności skarpowej. Podczas deszczu włókna wełny pochłaniają i magazynują nadmiar wody, oddając ją do gruntu podczas suszy, co wpływa pozytywnie na rozwój roślinności ochronnej. Zastosowanie wełny jest interesującą alternatywą dla obecnie stosowanych biodegradowalnych geowłóknin stosowanych w funkcji ochrony antykorozyjnej skarpy.

Wykorzystanie przestrzennych układów sznurów geosyntetycznych wykonanych w technologii Kemafil® pozwala na poprawę warunków wodnych powierzchni zbocza czy skarpy poprzez odprowadzenie wody opadowej do systemu drenażu oraz retencję jej nadmiaru, co sprzyja rozwojowi roślinności. Sznurowe wraz z odpowiednio ulepszoną

i ułożoną warstwą obsypki grunтовой stanowią również zabezpieczenie powierzchni doskonale chroniące przed erozją skarpy i zboczy.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Tauro F., Cornelini P., Grimaldi S., Petroselli A., Field studies on the soil loss reduction effectiveness of three biodegradable geotextiles, *Journal of Agricultural Engineering* 49 (2)2018
- [2] Erickson Paz F., Flor-Paz P., Almanzor N., Marcos M., Performance evaluation of soil erosion control geotextile materials on road cut slope, *The 2018 World Congress on Advances in Civil, Environmental, & Materials Research (ACEM18)*, 2018
- [3] Broda J., Grzybowska-Pietras J., Nguyen G., Gawłowski A., Laszczak R., Przybyło S., Application of recycled fibres and geotextiles for the stabilisation of steep slopes, *Materials Science and Engineering* 254/2017
- [4] Hejazi S. M., Sheikhzadeh M., Abtahi S., Zadhoush A., A simple review of soil reinforcement by using natural and synthetic fibers, *Construction and Building Materials* 30/2012
- [5] Nguyen G., Hrubešová E., Voltr A., Soil improvement using polyester fibres, *Procedia Engineering* 111/2015
- [6] Grzybowska-Pietras J., Nguyen G., Przybyło S., Rom M., Broda J., Application of fibres for the stabilisation of steep slopes, *E3S Web of Conferences* 49/2018
- [7] Grzybowska-Pietras J., Broda J., Przybyło S., Rom M., Laszczak R., Mitka A., Zastosowanie innowacyjnych geotekstyliów z surowców odpadowych do zabezpieczenia gruntu przed erozją, *Inżynieria morska i geotechnika* 4/2015
- [8] Grzybowska-Pietras J., Nguyen G., Przybyło S., Rom M., Broda J., Properties of meandrical geotextiles designed for the protection of soil against erosion, *E3S Web of Conferences*, tom 49, 2018

Koło nr 1 przy Politechnice Wrocławskiej
Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa

Koło 1 PZITB przy PWr serdecznie zaprasza na:
I CYK BUDOWA
II EDYCJA
konkurs fotograficzny o tematyce budowlanej

PRACE PROSIMY PRZESYŁAĆ NA
E-MAIL: pzitb.wroclaw@gmail.com DO 31.10.2018

WIĘCEJ INFORMACJI I SZCZEGÓŁOWY REGULAMIN ZNAJdziesz NA
stronie: www.pzitb.pwr.wroc.pl/IIedycja
facebook: [PZITB Koło Nr 1 przy PWr](https://www.facebook.com/PZITB.Koło.Nr.1.przy.PWr)

Politechnika Wrocławska Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego