

ZASTOSOWANIE GEOTEKSTYLIIÓW DO STABILIZACJI STROMYCH SKARP W KOPALNIACH ŻWIROWYCH

Jan Broda¹, Andrzej Gawłowski¹, Joanna Grzybowska-Pietras¹, Monika Rom¹,
Stanisława Przybyło¹, Ryszard Laszczak¹

¹ Instytut Inżynierii Tekstyliów i Materiałów Polimerowych, Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała, e-mail: jbroda@ath.bielsko.pl

STRESZCZENIE

Innowacyjne geotekstylia utworzone z meandrycznie ułożonych sznurów zastosowano do zabezpieczenia stromej skarpy nieczynnego wyrobiska żwirowni Niebozowy. Wykorzystano geotekstylia wyprodukowane z włókienniczych materiałów odpadowych. Segmenty geotekstyliów zamontowano na skarpie w okresie zimowym. Po zamontowaniu geotekstyliów stan skarpy monitorowano przez okres sześciu miesięcy. Stwierdzono, że geotekstylia bezpośrednio po zainstalowaniu zapobiegają zsuwaniu się gruntu. Sznury poprzecznie ułożone na skarpie wchłaniają znaczne ilości wody i tworzą mikrotamy spowalniające spływ powierzchniowy. W okresie wiosennym geotekstylia sprzyjają rozwojowi szaty roślinnej. Bujna roślinność pokrywająca równomiernie całą powierzchnię skarpy wspomaga działanie stabilizujące geotekstyliów. Zastosowane geotekstylia skutecznie chronią skarpe przed osuwaniem i skutkami erozji powierzchniowej. Geotekstylia mogą być z powodzeniem zastosowane w procesie rekultywacji nieczynnych wyrobisk żwirowych.

Słowa kluczowe: żwirownia, skarpa, erozja, osuwisko, stabilizacja, geotekstylia

APPLICATION OF GEOTEXTILES FOR THE STABILIZATION OF STEEP SLOPES IN GRAVEL PITS

ABSTRACT

Innovative geotextiles formed from meandrically arranged ropes were used for the protection of the steep slope in the gravel pit Niebozowy. The geotextiles from textile wastes were produced. Segments of geotextiles were mounted on the slope in winter. After installing for six months the slope condition was monitored. It was found that immediately after installation the geotextiles prevent the ground sliding. Ropes laterally arranged on the slope absorb significant amounts of water and create microdam system, which slow down a runoff. In spring the geotextiles accelerate the development of vegetation. Lush vegetation covering the entire surface of the slope supports the stabilizing effect of geotextiles. Geotextiles effectively protect the embankment against landslides and the consequences of surface erosion. Geotextiles can be successfully applied in the process of reclamation of disused gravel pits.

Keywords: gravel pit, slope, erosion, landslide, stabilisation, geotextiles

WPROWADZENIE

Od wielu lat żwir stanowi cenny i niezbędny kruszec do budowy dróg i produkcji betonu towarowego. W ostatnich latach zapotrzebowanie na kruszywa żwirowe systematycznie wzrasta.

Wydobycie kruszyw żwirowych jest prowadzone metodą suchą lub mokrą spod lustra wody. W metodzie suchej złoża zlokalizowane na lądzie

pod cienką warstwą nakładu są eksploatowane metodą odkrywkową. Eksploatacja złoża jest związana ze znaczną ingerencją w środowisko naturalne i często prowadzi do istotnej zmiany różnych jego elementów: litosfery, hydrosfery, atmosfery, biosfery i antroposfery.

Eksploatacja złoża żwirowego metodą odkrywkową prowadzi do utworzenia głębokich wyrobisk. W rezultacie zdejmowania nakła-

du brzegi wyrobiska są pozbawione naturalnej roślinności. Skarpy pomiędzy wierzchołką a dnem wyrobiska posiadają duże pochylenie i zróżnicowaną rzeźbę powierzchni. W niektórych przypadkach są one uformowane z gruntu macierzystego o zmniejszonej spoistości odsponowanego podczas niwelacji. Wymienione czynniki naruszają stateczność skarp, sprzyjają uruchomieniu i aktywizacji osuwisk, a także sprzyjają erozji powierzchniowej.

Wspomniane zjawiska stwarzają poważne zagrożenie dla prawidłowej i bezpiecznej eksploatacji złoża i wymuszają konieczność podjęcia działań naprawczych mających na celu zapewnienie stateczności skarp. Właściwe zabezpieczenie skarp stanowi także jedno z najważniejszych zadań rekultywacji wyrobisk po zakończeniu ich eksploatacji.

Do stabilizacji i zabezpieczenia skarp stosowane są metody naturalne z wykorzystaniem materiałów naturalnych i prostych robót ziemnych, metody konstrukcyjne z zastosowaniem żelbetonu, murów oporowych, gabionów, kotew i siatek stalowych oraz metody geosyntetyczne z wykorzystaniem geosyntetyków [Stryczek et al. 2008]. Geosyntetyki stosowane do zbrojenia i zabezpieczenia skarp poprawiają parametry fizykochemiczne gruntów, zmieniają wartość współczynnika filtracji wody, wytwarzają bariery wodoszczelne i wzmacniają konstrukcję skarpy, a także służą jako materiały izolacyjne i rozdzielające kolejne warstwy gruntów [Wysokiński 2001a, Wysokiński 2001b].

Geosyntetyki zainstalowane na skarpie zapewniają skuteczną i natychmiastową ochronę. W porównaniu do innych materiałów stosowanych do zabezpieczenia skarp są one lekkie i łatwe w montażu. Ponadto są one stosunkowo tanie, a ich duża różnorodność umożliwia wybór odpowiedniego wyrobu dostosowanego do warunków terenowych [Horrocks and Anand 2000].

Od wielu lat znane są różne wyroby geosyntetyczne przeznaczone do zbrojenia i ochrony przeciwozyjnej skarp. Szeroki asortyment wyrobów obejmuje geomaty, geotekstylię, geosiatki, geomembrany i systemy geokomórkowe. Oprócz wymienionych wyrobów na rynku pojawiają się inne nowe wyroby o nieznanym wcześniej właściwościach.

Kilka lat temu do zabezpieczenia skarp zastosowano innowacyjne geotekstylię utworzone z meandrycznie ułożonych sznurów kemafilewych. Po raz pierwszy meandryczne geotekstylię

zostały zastosowane do ustabilizowania osuwającej się stromej skarpy nieczynnej kopalni odkrywkowej węgla brunatnego Restloch Zechau w Turynii (Niemcy). W pracach naprawczych wykorzystano geotekstylię utworzone ze sznurów wytworzonych z włókniny poliestrowej. Dodatkowo w celu wyeliminowania samozapłonu resztek węgla do wnętrza sznurów wprowadzono plastikowe rurki, do których pompowano wodę chłodzącą. W następnych latach meandryczne geotekstylię zastosowano do stabilizacji skarpy przydrożnej w Chemnitz (Niemcy) [Seeger 2009], a następnie do ochrony rowu przydrożnego i stromych skarp głębokiego rowu melioracyjnego w obrębie terenów inwestycyjnych w Międzyrzeczu Dolnym koło Bielska-Białej w województwie śląskim [Grzybowska-Pietras et al. 2015, Broda et al. 2016, Broda et al. 2017].

Zadawalające rezultaty uzyskane podczas poprzednich prób skłoniły do podjęcia dalszych badań mających na celu ocenę możliwości wykorzystania meandrycznych geotekstyliów w innych warunkach terenowych. W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących zastosowania takich geotekstyliów na terenie żwirowni Nieboczowy zlokalizowanej w dolinie górnej Odry bogatej w złoża żwirowo-piaskowe o dużej miąższości.

MATERIAŁY I METODY

W badaniach zastosowano segmenty geotekstyliów utworzone z meandrycznie ułożonych grubych sznurów o średnicy 120 mm. Do produkcji sznurów wykorzystano technologię Kemafil umożliwiającą tworzenie siatkowego opłotu wokół rdzenia sznurów [Arnold et al. 1993]. Do wypełnienia sznurów zastosowano odpadowe pasy igłowanej włókniny wełnianej o grubości 5.8 mm i masie powierzchniowej 406 g/m² oraz przesywanej włókniny z włókien ponownych o grubości 3 mm i masie powierzchniowej 265 g/m². Włókninę z włókien ponownych wytworzono z wykorzystaniem technologii Maliwatt z mieszanki włókien naturalnych i syntetycznych otrzymanych przez rozwłóknienie odpadów włókienniczych. Część sznurów wykonano z włókniny z dodatkiem nasion trawy. Grubość i masę powierzchniową włókien wyznaczono zgodnie z normami PN-EN ISO 9863-1:2007 i PN-EN ISO 9864:2007. Rdzeń sznurów utworzony z materiałów włókninowych opleciono siatką ze sznurka polipropylenowego o grubości 2 mm.

Wytworzono segmenty geotekstyliów o szerokości 2 m i długości 6–7 m. Kolejne zwoje sznurów oddalone od siebie o 0,5 m połączone łącznikami wykonanymi ze sznurka polipropylenowego z włókien fibrylizowanych o masie liniowej 310 dtex.

MONTAŻ GEOTEKSTYLIÓW

Geotekstylia zastosowano w żwirowni Niebochowy położonej w obrębie budowanego obecnie suchego zbiornika retencyjnego Racibórz Dolny stanowiącego zabezpieczenie przeciwpowodziowe doliny Odry. Teren żwirowni znajduje się w pobliżu granicy polsko-czeskiej w województwie śląskim w powiecie wodzisławskim w gminie Lubomia. Segmenty geotekstyliów zainstalowano na stromej skarpie nieczynnego wyrobiska narażonej na działanie erozji powierzchniowej i zjawisk osuwiskowych (rys. 1a). Segmenty geo-

tekstyliów wykorzystano do zabezpieczenia najbardziej zagrożonego fragmentu brzegu wyrobiska o szerokości ok. 25 m. Zabezpieczono skarpe o długości 4–6 m i zróżnicowanym stopniu nachylenia od 1:0,9 do 1:1,8 o łącznej powierzchni ok. 150 m².

Wykorzystując sprzyjające warunki pogodowe, wyjątkowo ciepłą i bezśnieżną zimę, prace montażowe przeprowadzono w lutym w roku 2016 (rys. 1b).

Przed przystąpieniem do montażu geotekstyliów skarpe odpowiednio wyprofilowano i wyrównano (rys. 2). Po wyrównaniu powierzchni przystąpiono do instalacji geotekstyliów (rys. 3a). Zrolowane segmenty geotekstyliów złożone na koronie skarpy odwijano i po zakotwieniu pierwszych zwojów stopniowo rozkładano na powierzchni skarpy (rys. 3b).

Kolejne segmenty geotekstyliów rozkładano koło siebie zapełniając całą chronioną powierzchnię skarpy (rys. 4a).

a)



b)



Rys. 1. Brzegi wyrobiska żwirowni:

a) skarpa wytypowana do zainstalowania geotekstyliów; b) skarpa przed zainstalowaniem geotekstyliów

a)

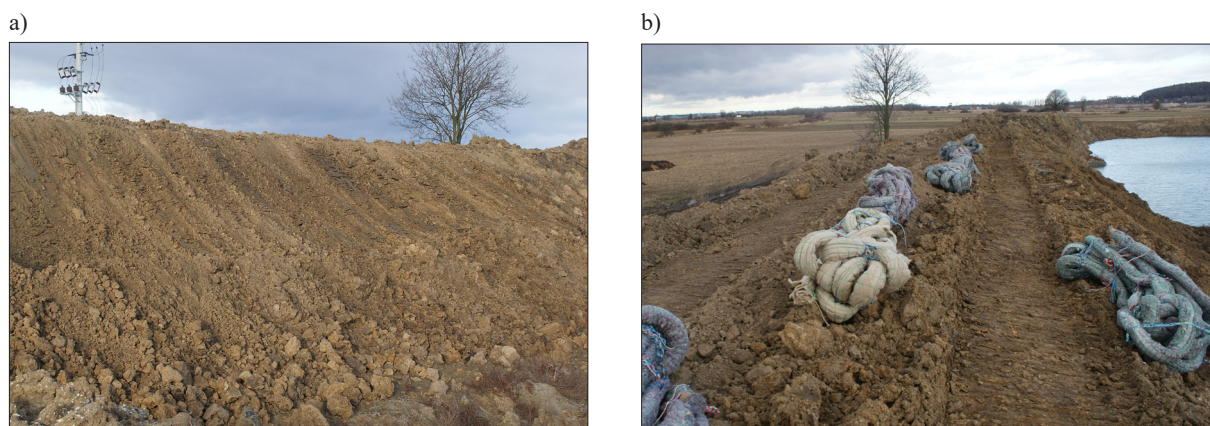


b)

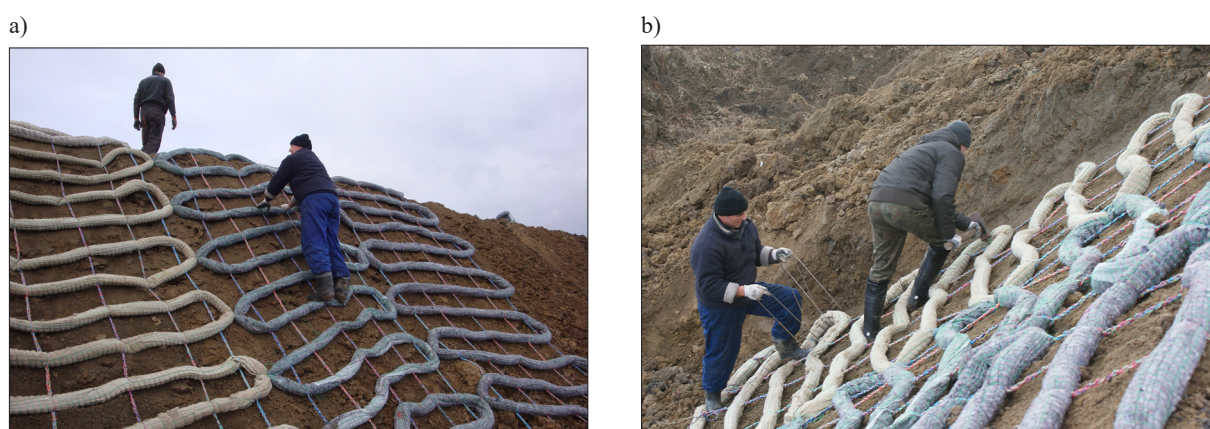


Rys. 2. Prace przygotowawcze poprzedzające zainstalowanie geotekstyliów:

a) profilowanie skarpy; b) wyrównywanie skarpy



Rys. 3. Montaż geotekstyliów na skarpie:
a) skarpa przygotowana do montażu; b) zrolowane geotekstylium rozłożone w koronie skarpy



Rys. 4. Rozkładanie segmentów geotekstyliów na powierzchni skarpy:
a) rozwijanie kolejnych segmentów; b) mocowanie segmentów do podłoża

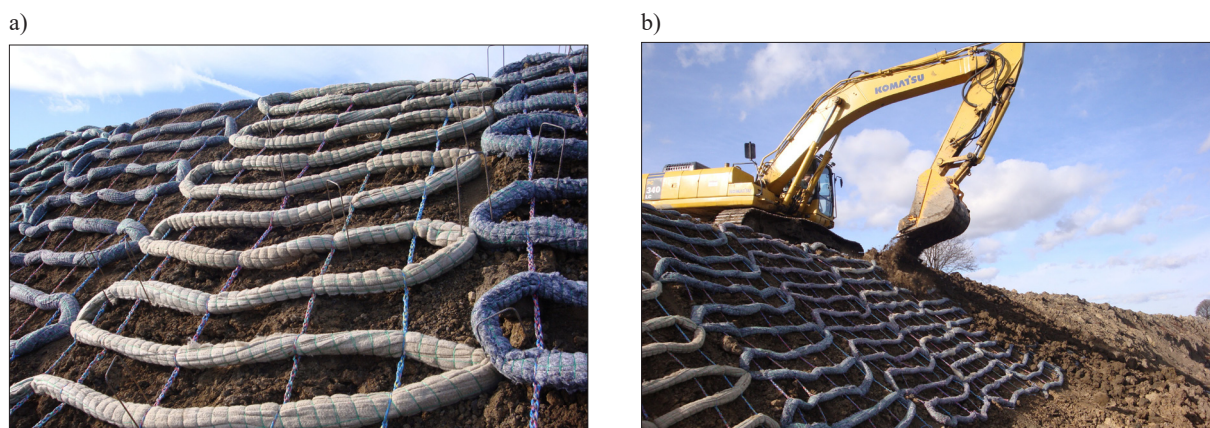
Po rozłożeniu segmentów na powierzchni skarpy geotekstylium przytwierdzono do podłoża za pomocą szpilek typu „U” (rys. 4b). Zastosowano szpilki wykonane z prętów stalowych żebrowanych o grubości $\varphi = 8$ mm. Szpilki wbijano ręcznie na głębokość ok. 40 cm.

Po rozłożeniu i przytwierdzeniu geotekstyliów do podłoża skarpe obsypano ziemią nadkładową (rys. 5a i b). W czasie zasypywania zainstalowanych geotekstyliów, w przypadku fragmentów skarpy o największym nachyleniu, obserwowano przesypywanie się gruntu ponad sznurami i zsuwanie się części gruntu. Odslonięte wskutek zsuwania się gruntu fragmenty geotekstyliów obserwowano w pasie o szerokości ok. 2 m w górnej części skarpy (rys. 6a). W przypadku skarpy o mniejszym nachyleniu zsuwanie się gruntu nie było obserwowane. Grube sznury przymocowane poziomo dobrze zapobiegły zsuwaniu się gruntu, a nasypa ziemia utworzyła równomierną warstwę dobrze zakrywającą zamocowane geotekstylium (rys. 6b).

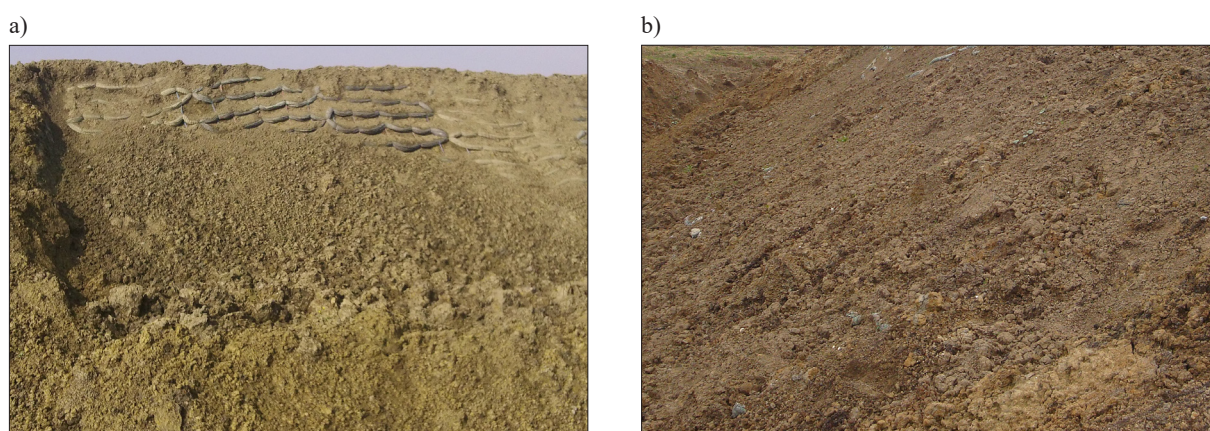
EKSPLOATACJA ZABEZPIECZONEJ SKARPY

W następnych kilku tygodniach po zainstalowaniu geotekstyliów pomiędzy kolejnymi zwojami sznurów obserwowano osiadanie i konsolidację gruntu. Podczas obserwacji prowadzonych w czasie deszczu stwierdzono, że sznury tworzą poprzeczne mikrotamy zmniejszające prędkość wody spływającej po powierzchni skarpy. Jednocześnie stwierdzono, że sznury łatwo nasiakają wodą absorbując znaczne ilości wody. W czasie prostego testu w warunkach laboratoryjnych wykazano, że sznury mogą wchłonąć ponad 500% wody w stosunku do własnej masy. Woda nagromadzona w sznurach jest wolno oddawana w czasie suszenia. Czas swobodnego suszenia do całkowitego wyschnięcia sznurów przekracza okres jednego miesiąca.

W wyniku utworzenia systemu mikrotam i wysokich zdolności sorpcyjnych geotekstylium



Rys. 5. Zabezpieczenie skarpy: a) segmenty geotekstyliów zamocowane na skarpie; b) obsypywanie zainstalowanych geotekstyliów



Rys. 6. Skarpa po obsypaniu warstwą gruntu: a) odsłonięte zwoje geotekstyliów na skarpie o największym nachyleniu; b) warstwa nasypanego gruntu zakrywająca segmenty geotekstyliów

zmniejszając prędkość i intensywność spływu powierzchniowego. W ten sposób geotekstyliia zapobiegają spłukiwaniu gruntu i tworzeniu się wyłobień erozyjnych na powierzchni skarpy.

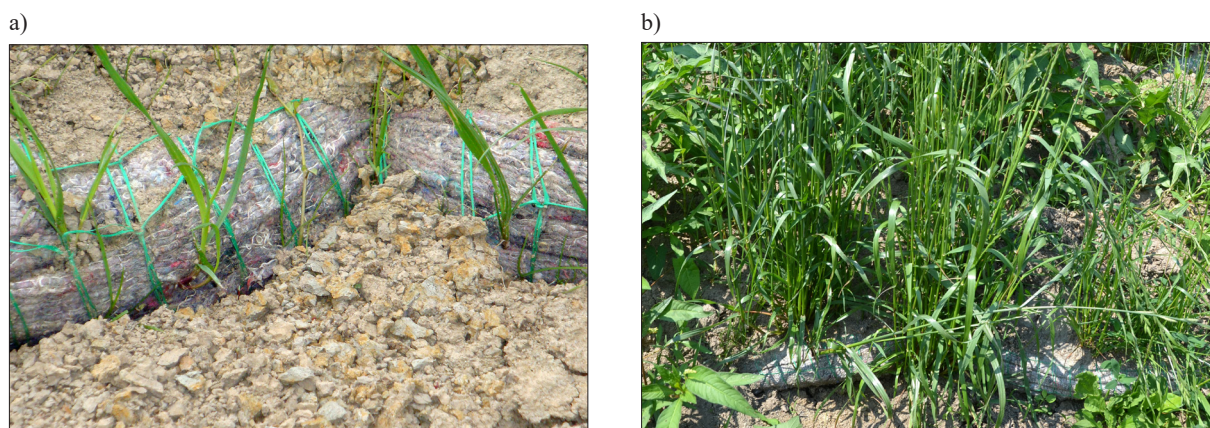
Po kilku tygodniach eksploatacji wczesną wiosną na powierzchni skarpy zauważono pierwsze oznaki wegetacji. W pierwszej kolejności zarejestrowano wzrost trawy na sznurach wyprodukowanych z włókniny z włókien ponownych z dodatkiem nasion traw (rys. 7a). W miejscu ułożenia takich sznurów na skarpie uwidoczniono zostały poprzeczne pasy trawy. W następnych tygodniach trawa rosnąca na sznurach osiągnęła wysokość ok. 0,5 m (rys. 7b).

W okresie wiosennym oprócz pasów trawy wyrosniętej na sznurach na całej powierzchni skarpy pojawiły się samosiejki innych roślin. Wyrastające rośliny stanowiły mieszankę traw i innych pospolitych lokalnie występujących roślin zielnych. W kolejnych tygodniach obserwowano ich dalszy intensywny rozwój prowadzący

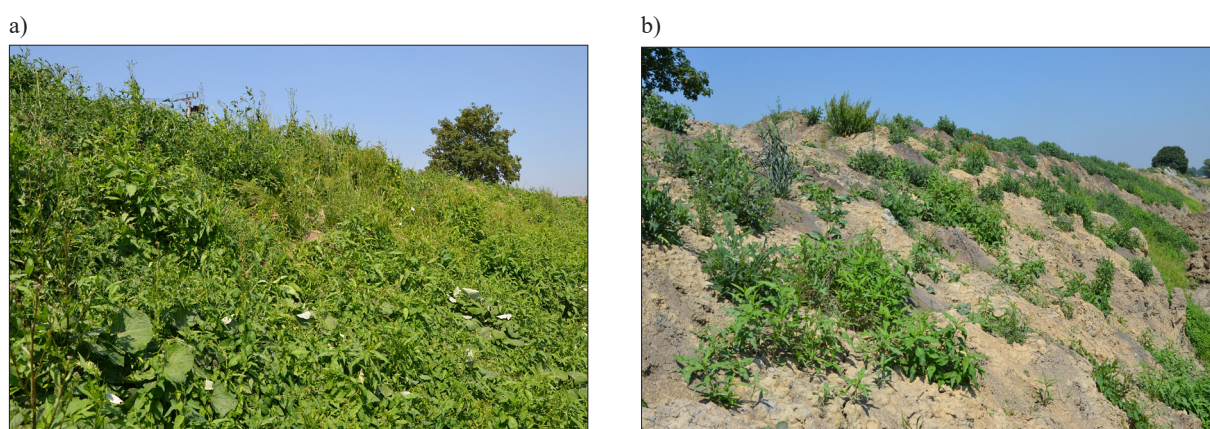
do utworzenia gęstej szaty roślinnej o wysokości przekraczającej miejscowo 0,5 m (rys. 8a).

W czerwcu bujna szata roślinna pokrywała całą powierzchnię zabezpieczonej skarpy. Równomiernie zazieleniona skarpa mocno kontrastowała z obok położoną skarpią niezabezpieczoną przez geotekstyliia, na której obserwowano jedynie lokalne, dosyć rzadkie i porozrzucane przypadkowo skupiska roślinne (rys. 8b).

Intensywny wzrost roślinności na zabezpieczonej skarpie był wynikiem pozytywnego oddziaływania geotekstyliów. Meandrycznie ułożone sznury bezpośrednio po zainstalowaniu ograniczyły spływ powierzchniowy wody po powierzchni skarpy zmniejszając tym samym ryzyko wypłukiwania nasion. Podczas eksploatacji sznury magazynowały wodę, którą następnie wolno uwalniały stwarzając tym samym dogodne warunki do kiełkowania nasion. W późniejszym okresie poprzez stopniowe oddawanie wody sznury zapewniły wilgotne środowisko w części



Rys. 7. Wegetacja na sznurach zawierających nasiona trawy: a) początek wzrostu w okresie wiosennym; b) trawa wyrosnięta na sznurach w okresie letnim



Rys. 8. Skarpa w czasie eksploatacji po trzech miesiącach od zainstalowania sznurów: a) skarpa zabezpieczona geotekstylami; b) skarpa niezabezpieczona

korzeniowej roślin, przyczyniając się w ten sposób do ich intensywnego wzrostu.

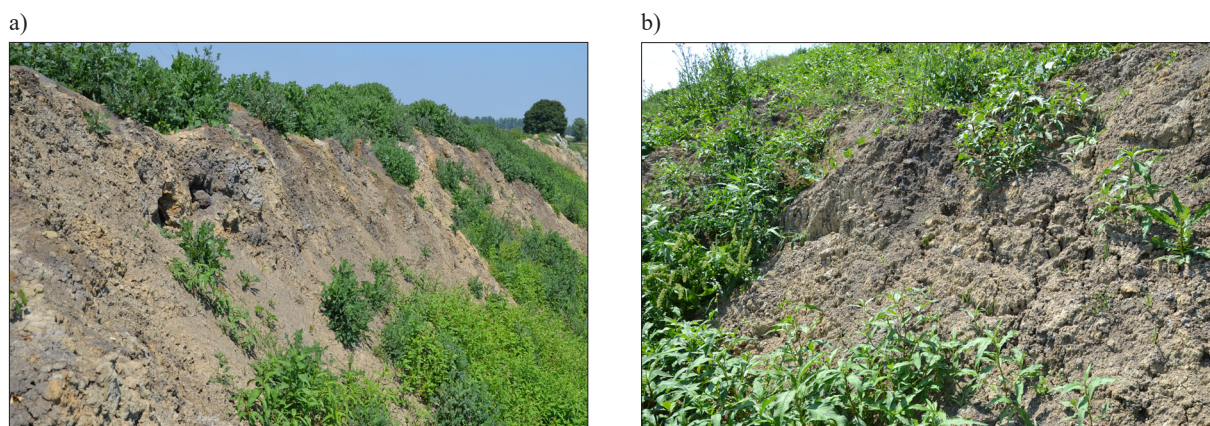
Dobrze rozwinięta szata roślinna zagwarantowała stabilizację skarpy i skuteczne zabezpieczenie antyerozyjne. Liście i kwiatostany roślin zakryły znaczącą część powierzchni skarpy chroniąc ją przed bezpośrednimi uderzeniami kropeł deszczu. Elementy roślin zmniejszyły energię kinetyczną opadających kropeł redukując tym samym intensywność odpajania cząstek gruntu. Części naziemne roślin spowolniły spływ powierzchniowy, a rozwinięty system korzeniowy sprzyjał infiltracji wody w głębiej położone warstwy gruntu. Korzenie wrastające w głąb gruntu utworzyły dodatkowo zbrojenie skarpy i zapobiegły jej osuwaniu.

W okresie letnim pół roku po zainstalowaniu geotekstyliów nie stwierdzono oznak osuwania się skarpy i nie zauważono występowania uszkodzeń erozyjnych. Taki obraz kontrastuje z fragmentem skarpy niezabezpieczonej przez geo-

tekstylią, gdzie obserwowano lokalne osuwiska, a także zaobserwowano występowanie uszkodzeń erozyjnych (rys. 9).

WNIOSKI

Meandryczne geotekstylią wytworzone z odpadów włókienniczych mogą być z powodzeniem zastosowane do zabezpieczenia stromych brzegów wyrobisk żwirowych. Geotekstylią zapobiegają wodnej erozji powierzchniowej i zwiększają stateczność skarp ograniczając zjawiska osuwiskowe. Bezpośrednio po zamocowaniu geotekstylią zamontowane na skarpie ograniczają zsuwanie się luźno związanego z podłożem gruntu, a poprzez utworzenie systemu poprzecznych mikrotam i retencję znacznej ilości wody redukują spływ powierzchniowy. Geotekstylią dobrze spełniają swoją funkcję natychmiast po zainstalowaniu przed rozwojem roślinności



Rys. 9. Skarpa niezabezpieczona w czasie eksploatacji: a) lokalne osuwisko; b) uszkodzenia erozyjne

ochronnej. W trakcie eksploatacji w trakcie sezonu wegetacyjnego geotekstyli sprzyjają szybkiemu zazielenieniu skarpy. Roślinność wyrastająca na skarpie wspomaga ochronne działanie geotekstyliów i przyczynia się do skutecznego i trwałego zabezpieczenia brzegów wyrobiska. Szybki wzrost roślinności eliminuje konieczność stosowania hydroobsiewu, a także umożliwia odtworzenie naturalnej różnorodności biologicznej.

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. Arnold R., Bartl A.M. and Hufnagl E.. 1993. Production of cord and narrow fabric products with Kemafil technology, Band- und Flechtindustrie, 30(4–10), 76–81.
2. Broda J., Gawłowski A., Rom M., Laszczak R., Mitka A., Przybyło S. and Grzybowska-Pietras J. 2016. Innovative Geotextiles for Reinforcement of Roadside Ditch. *Tekstilec*, 59 (2), 115–120.
3. Broda J., Gawłowski A., Laszczak R., Mitka A., Przybyło S., Grzybowska-Pietras J. and Rom M. 2017. Application of innovative meandrically arranged geotextiles for the protection of drainage ditches in the clay ground. *Geotextiles and Geomembranes*, 45(1), 45–53.
4. Grzybowska-Pietras J., Broda J., Przybyło S., Rom M., Laszczak R. and Mitka A. 2015. Zastosowanie innowacyjnych geotekstyliów z surowców odpadowych do zabezpieczenia gruntu przed erozją. *Inżynieria Morska i Geotechnika*, 4, 615–620.
5. Horrocks, A.R. and Anand, S.C. 2000. *Handbook of technical textiles*. Cambridge. Woodhead Publishing.
6. Seeger M. 2009. Preventing erosion. *Knitting International*, 115, 28–33.
7. Stryczek S., Gonet A. and Wiśniowski R. 2008. Geoinżynierskie metody stabilizacji skarp i zboczy. *Nowoczesne Budownictwo Inżynierskie*, 6 (21), 78–81.
8. Wysokiński L. 2001. Funkcje i zasady układania geosyntetyków. *Materiały Budowlane*, 7, 2–6.
9. Wysokiński L. 2001. Skuteczność stosowania geosyntetyków. *Materiały Budowlane*, 7, 27–29.