

# ZASTOSOWANIE FITOMAT DO OGRANICZENIA ZAPYLENIA I STABILIZACJI PODŁOŻA W ODKRYWKOWYCH ZAKŁADACH GÓRNICZYCH

## APPLYING PHYTOMATS TO LIMIT DUSTINESS AND STABILIZE SOIL IN OPEN PITS

Maria Brych, Arkadiusz Grześkowiak - „Poltegor – Instytut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego, Wrocław

*Zmniejszenie zapylenia pochodzącego z pryzm materiałów sypkich w kopalniach odkrywkowych stanowi jeden z problemów minimalizacji niekorzystnych oddziaływań związanych z produkcją i gromadzeniem kruszyw bądź składowaniem mas nadkładowych. Stosowane powszechnie zraszanie ma krótkotrwałą i ograniczoną skuteczność ochrony przed migracją drobnych frakcji mineralnych, co wiąże się szeregiem niekorzystnych oddziaływań zarówno na zakład górniczo-przeróbczy jak i na środowisko naturalne. Zastosowanie w zakładach górniczych mat okrywowych, stanowiących podłoże biologiczne dla wyselekcjonowanych odmian roślin, pozwala na zabezpieczanie pryzm składowanych materiałów, ograniczanie pylenia oraz stabilizację skarp zwałowisk.*

**Słowa kluczowe:** przeciwdziałanie zapyleniu, składowanie kruszyw, stabilizacja skarp

*Limiting dustiness coming from heaps of loose material in open pits is one of the problems of minimizing unfavorable effects connected with production and storage of aggregates or overburden material. With respect to protection against fine material migration, the effectiveness of commonly used spraying is temporary and limited, and causes many unfavorable influences on mining and processing facilities and natural environment. Applying phytomats, which form biological base for selected variety of plants, enables protection of heaps of materials stored in open pits, reduction of dustiness and stabilization of heap slopes.*

**Keywords:** dustiness counteraction, storage of aggregate materials, stabilization of slopes

### PROBLEM ZAPYLENIA W ODKRYWKOWYCH ZAKŁADACH GÓRNICZYCH

Wielkość emisji pyłu powiązana z wydobyciem, przeróbką i składowaniem kamienia w odkrywkowych zakładach górniczych jest ograniczana głównie poprzez stosowanie hermetyzacji procesów przeróbczych (zamknięcie linii przeróbczej w zabudowaniach, zadaszenia przenośników oraz użycie różnego rodzaju osłon i uszczelnień) oraz wykorzystanie instalacji odpylających i zraszających. Zastosowania te dotyczą jednak miejsc zrzutowych kruszywa, urządzeń krusząco-sortujących oraz dróg nieutwardzonych i przenośników. Niezabezpieczone przed aeromigracją drobne części materiału skalnego, pozostają na zwałowiskach (do momentu ich rekultywacji) oraz na pryzmach produktów gotowych (do momentu ich sprzedaży). Wiąże się to z szeregiem niekorzystnych oddziaływań zarówno na zakład górniczo-przeróbczy jak i na środowisko naturalne. Unoszenie przez wiatr lotnych części mineralnych pogarsza skład jakościowy powietrza, przyczyniając się także do szybszego zużycia elementów ruchomych maszyn i urządzeń. W przypadku składowania drobnych frakcji produktów następuje ubytek ich masy, a w przypadku produktów gotowych, zmienia się ich skład ziarnowy. Przemieszczanie i gromadzenie drobnych frakcji na składowiska gotowych produktów, obniża ich jakość i cenę. Pyłące pryzmy i hałdy w dużym stopniu

pogarszają walory przyrodnicze i krajobrazowe otoczenia oraz wpływają niekorzystnie na przyległe uprawy. Pogarszają przede wszystkim jakość życia mieszkańców przyległych miejscowości oraz obniżają wartość rynkową nieruchomości. Stanowią powód częstych konfliktów środowiskowych i społecznych, co skutkuje w następstwie utrudnieniami w procesach legislacyjnych uzyskania lub przedłużenia koncesji na działalność górniczą oraz karami i restrykcjami administracyjnymi.

### STOSOWANE ROZWIĄZANIA ZAPOBIEGAJĄCE EMISJI PYŁÓW

Zgodnie z zapisami legislacyjnymi przedsiębiorca powinien rozpoznawać i usuwać zagrożenia środowiskowe na stanowiskach pracy oraz oddziałujące na otaczające zakład tereny. Dotychczasowe rozwiązania minimalizujące zapylenie w odkrywkowych zakładach górniczych, dotyczą głównie punktów powstawania i kumulowania się frakcji pylastych. Zraszaniem objęte są miejsca zrzutu kruszyw na pryzmy, drogi transportowe, czasami na rekultywowane zwałowiska oraz składowiska drobnych frakcji kruszyw. Problem zapylenia ograniczany jest najczęściej poprzez:

- dalekosiężne zraszacze wodne instalowane w miejscach zrzutu, przesypach i na przenośnikach oraz wzdłuż dróg transportowych,

- mgłowe systemy zraszania głowicami dyspergującymi (dociążanie cząstek pyłu mikrocząsteczkami wody i koagulacja cząstek pyłu),
- systemy zraszania wodą wzbogacaną o środek wiążący,
- systemy mechanicznego odpylania,
- nasadzenia drzew i krzewów na kierunkach największego zagrożenia zapyleniem,
- tworzenie wałów chroniących przed migracją pyłów,
- zrzuty teleskopowe ograniczające rozprzestrzenianie się pyłów ze strumienia produktu spadającego z przenośnika na pryzmę.

W celu minimalizacji zapylenia wtórnego ze zwałowisk (czy hałd pokopalnianych) oraz dodatkowo w celu zwiększenia nośności gruntów i stabilizacji podłoża na skarpach stałych stosuje się:

- iniekcje skarp i nasypów środkami zawierającymi plastyfikatory,
- iniekcje lub zraszanie środkami zawierającymi bitumeny (Stabicol CE),
- wtlaczanie hydrożelu (potasowego lub sodowego) wzbogaconego o nawozy i minerały poprawiające jakość gleby,
- zraszanie wodą wzbogacaną o chlorek wapnia będącym bezpiecznym środkiem wiążącym,
- zraszanie środkiem na bazie włókien celulozowych z dodatkiem komponentów wiążących i użyźniających,
- biomaty plecione z włókien kokosowych i słomianych stabilizujące powierzchnie zwałowisk, skarp.

Jedynym zabezpieczeniem przed emisją pyłów z hałd i stożków produktów gotowych jest stosowane dotychczas zraszanie. Ponieważ jednak sumaryczna powierzchnia narażona na erozję jest znaczna, zraszanie jest technologicznie utrudnione, a efekty, szczególnie w okresie letnim, krótkotrwałe. Zraszanie wiąże się ponadto z dużym zużyciem wody i kosztami utrzymania i konserwacji instalacji. Często są to urządzenia prowizoryczne i awaryjne.

## KONCEPCJA MAT WZBOGACANYCH MATERIAŁEM BIOLOGICZNYM

W związku ze zidentyfikowanym problemem, przeprowadzono wstępne badania oraz wdrożenie projektu zastosowania mat okrywowych wzbogaconych w materiał biologiczny. koncepcja mat okrywowych zakłada możliwość ich zastosowania jako mobilne elementy zabezpieczające powierzchnie stożków produktów gotowych przed pyleniem oraz ostateczne elementy pokrycia skarp stałych ograniczających pylenie oraz poprawiających stabilizację. Fitomaty opracowano pod kątem ograniczenia niekorzystnego oddziaływania pyleniem składowisk i zwałowisk zawierających drobne, lotne frakcje kruszywa.

Innowacyjność proponowanego rozwiązania polega na dużej skuteczności w zapobieganiu przed unoszeniem się drobnych, lotnych cząstek mineralnych, szybkiego i stosunkowo prostego sposobu umiejscowienia na pryzmach z wykorzystaniem maszyn będących na wyposażeniu kopalni.

Idea mat okrywowych zakłada wykorzystanie naturalnych materiałów organicznych – włókniny jutowej, kokosowej lub geowłókniny, z naniesioną mieszanką nasion roślinnych uwzględniającej rodzaj podłoża. Gotowy produkt będzie składał się z trzech głównych elementów: podkładu, mieszanki nasion roślin i substancji odżywczych. Podkład stanowi bazę dla nasączenia składnikami odżywczymi i przyklejenia nasion roślin.

W przypadku mat nie ulegających biodegradacji, możliwe jest zdjęcie fitomaty np. ze składowiska i powtórne zastosowanie. Odpowiedni dobór roślin i niedługi okres pokrycia, zapobiega nadmiernej penetracji systemu korzeniowego w głąb powierzchni kruszywa. W przypadku stosowania fitomat do osłony produktów gotowych, system korzeniowy powinien być na tyle krótki i mocny, aby przy zdejmowaniu fitomaty nie uległ zerwaniu. Włóknina jutowa charakteryzuje się odpowiednią nasiąkliwością, zapewniającą utrzymanie wilgoci niezbędnej do wegetacji składników roślinnych oraz przyczepnością dla zawiesziny mieszanki nasion i substancji odżywczych. Podstawę flory stanowi odpowiednio wyselekcjonowana mieszanka nasion roślinnych, zapewniająca gęste pokrycie podkładu warstwą wegetatywną, z system korzeniowym, umożliwiającym wiązanie maty z podłożem. Trzecim składnikiem fitomaty jest substancja odżywcza w formie żelu, którym przytwierdzone są nasiona roślin i substancje nawozowe.

Opracowywany jest również system rozwijania oraz kotwienia fitomat do pryzm i innych powierzchni. Oprzyrządowanie może być montowane na wysięgnikach ładowarek lub innych maszyn będących na wyposażeniu kopalni. System pozwala na stosunkowo szybkie i łatwe rozwijanie i zwijanie mat oraz ponowne zastosowanie ich w innej lokalizacji. Mobilność fitomat jest cechą stanowiącą o dodatkowych korzyściach związanych z zabezpieczeniem powierzchni przy zmiennym kierunku wiatru, przy konieczności udostępnienia części pryzmy oraz szybkiego zabezpieczenia skarp przed erozją czy obsuwaniem.

## WYNIKI DOTYCHCZASOWYCH BADAŃ

Ze względu na dużą różnorodność deponowanych kruszyw i odpadów przerobczych, konieczne było dostosowanie składu ilościowego i jakościowego mieszanek nasiennych do podłoża, na którym przewidywane było ułożenie fitomat. Do badań wykorzystano próby kruszywa bazaltowych, piaszczowców, wapiennych oraz materiał pochodzący ze zwałowiska kopalni granitu.

### *Dobór składu roślinnego*

Przedmiotem wstępnych prac były badania mieszanek nasiennych przewidzianych do zastosowania w fitomatach. Przy wyborze materiału biologicznego do nanoszenia na maty uwzględniano cechy roślin stanowiące o ich możliwościach wzrostu w trudnych warunkach pogodowych i na podłożach ubogich w substancje odżywcze oraz spełniające inne założenia koncepcji fitomat [1, 2, 4]. Kryteriami selekcji były następujące warunki:

- zimotrwałość roślin,
- tworzenie gęstej darni korzeniowej,
- odporność na suszę, zraszanie jedynie na etapie kiełkowania i wzrostu,
- preferowany przez rośliny rodzaj gleb związany z lokalizacją mat,
- koegzystencja gatunków roślin zapewniająca ich wzajemne współdziałanie i nie wykluczanie się,
- rośliny szybko kiełkujące, osiągające pełny rozwój w krótkim okresie po wysiewie,
- rozrastanie się siatki roślinnej np. rozrastanie się od pędów generatywnych pokładających się u podstawy i zakorzeniających się w dolnych węzłach.

Przykładem gatunku, który spełnia powyższe oczekiwania jest kostrzewa owcza (*Festuca ovina*). Cechami decydującymi o jej przydatności jest występowanie na suchych i piaszczystych

glebach, preferowanie stanowisk dobrze nasłonecznionych, odporność na ostre zimy. W korzystnych warunkach może być nawet zimozielona.

Cechą charakterystyczną dla innego gatunku - jastrzębca kosmaczka (*Hieracium pilosella* L.), jest jego występowanie na stanowiskach suchych, piaszczystych i słabo nawożonych, co spowodowało włączenie gatunku do stosowanej mieszanki nasiennej. Pod ziemią wytwarza zgrubiałe, pełzające kłącza, które wzmacniają darń wytworzoną przez inne rośliny. Kolejnym wyselekcjonowanym gatunkiem jest życica trwała (*Lolium perenne* L.). Rozwija ona gęsty system korzeniowy o płytkim zasięgu, co zapewnia szybki i równomierny wzrost. Jest to gatunek światłolubny, bardzo szybko wschodzący po siewie, szybko rozpoczynający wegetację na wiosnę i bardzo szybko odrastający. Polecany do zastosowania na żwirach i frakcjach grysowych.

Badania przeprowadzone nad przydatnością poszczególnych gatunków traw i ich odmian, pozwoliły na wyselekcjonowanie mieszanek nasiennych najlepiej znoszących trudne warunki wzrostu na ubogich podłożach skalnych oraz wskazały w niektórych przypadkach na konieczność prowadzenia dodatkowych zabiegów pielęgnacyjnych. Do rozproszania na 1 m<sup>2</sup> maty użyto przeciętnie 20-25 g mieszanki nasiennej.



Fot. 1. Widok ukorzenia fragmentu fitomaty w podłożu  
Fig. 1. A view of the rooting of a phytomata fragment in the substrate

### Stabilizacja nasion

Istotnym problemem okazał się sposób stabilizacji nasion na macie lub w macie i trwale ich umiejscowienie na powierzchni jednowarstwowej lub wewnątrz maty dwuwarstwowej. Czynniki pogarszającymi utrzymanie nasion na macie były warunki atmosferyczne, w szczególności wiatr i opady deszczu. Przy dużych opadach i silnym wietrze wysiane nasiona migrowały w zagłębienia i rejony osłonięte lub były całkowicie zmywane strugami wody lub wywiewane. Celem poszukiwania metod pozwalających na dostatecznie trwałe związanie nasion z matą i podłożem był dobór środków posiadających właściwości klejące. Jednym z założeń było zastosowanie prostego i taniego środka oraz jego pełna biodegradowalność w procesie rozkładu maty. Uśredniona gęstość środka wiążącego rozproszona na 1 m<sup>2</sup> maty wynosiła 15-35 g /0,5 dm<sup>3</sup> wody lub w proporcji 7,5-15 g na 1 dm<sup>3</sup> wody w zależności od środka wiążącego.

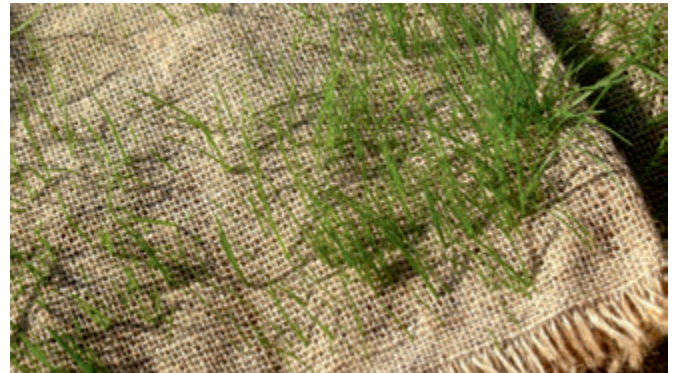
Początkowe badania wskazały, iż fitomaty przewidziane do zastosowania w warunkach kopalnianych muszą być tworzone z dwóch części mocnej tkaniny jutowej (dolnej i górnej), które powinna być połączone (zszywane, klejone), by substancje odżywcze nie wysypywały się i nie przemieszczały, a nasiona chronione były przed działaniem warunków zewnętrznych. Wyniki obserwacji i doświadczeń prowadzonych w warunkach

rzeczywistych (zwałowisko w kopalni granitu), wskazały na porównywalne efekty utrzymania nasion na macie jednowarstwowej lub w macie dwuwarstwowej.

### Badania próbek na zróżnicowanych podłożach

Ponieważ problem zapylenia dotyczy kopalń niezależnie od rodzaju eksploatowanej na kruszywo kopaliny, do badań wykorzystano próby pobrane na zwałowiskach w kopalniach bazaltu, piaskowca, wapieni oraz materiał pochodzący ze zwałowiska kopalni granitu. Próby wykonano na podłożach z kruszyw oraz na podłożach materiału zwałowanego z domieszką warstwy humusowej.

Na stanowiskach badawczych w „Poltegor-Instytut” testowano różne typy mat. Sprawdzano maty z geowłókniny jako osnowę do umieszczania na nich nasion, nawozu i czynnika stabilizującego. Sprawdzano maty jutowe o zróżnicowanej gramaturze i gęstości siatki (od 150 do 350 g/m<sup>2</sup>). Na matach o niskiej gramaturze, materiał roślinny nie utrzymywał się mimo zastosowania środka stabilizującego o wysokiej gęstości.



Fot. 2. Rozwój roślin w warunkach laboratoryjnych  
Fig. 2. Plant development in laboratory conditions

Stanowiska badawcze umieszczono w zróżnicowanych warunkach nasłonecznienia i prowadzono obserwacje przy zróżnicowanym stopniu zraszania mat. Uzyskane efekty były monitorowane i utrwalane w formie fotografii. Badania wykazały, że dla wykiełkowania nasion i wzrostu roślin niezbędna jest minimalna ilość warstwy humusowej. W próbkach, gdzie zastosowano nawet niewielką ilość humusu, zaobserwowano szybkie kiełkowanie nasion, gęste źdźbła i lepsze ukorzenie. Najlepsze efekty otrzymano każdorazowo przy wzbogacaniu maty w warstwę humusową i nawóz.

Ostatecznie określono, że badania terenowe zostaną przeprowadzone na przyzmacach, hałdach albo zwałowiskach. Fitomaty zostały zamocowane do podłoża kołkami, zastosowano maty z włókna o grubości w zakresie od 0,5 mm do 2,2 mm. Maty takie przed ułożeniem zostały pokryte zawiesiną środka klejącego, humusu oraz mieszanką nasienną roślin wiechlinowatych, dzwonkowych lub astrowatych, a w kilku przypadkach także nasączone mieszanką nawozu.

### WDROŻENIE

Wdrożenie w warunki rzeczywiste przeprowadzono w październiku i listopadzie 2015 r. na zwałowisku Kopalni Granitu „Gniewków”. Stok skarpy pokryto fitomata zawierającą mieszankę nasion roślin, humusu i środka wiążącego. W innych miejscach zwałowisk ułożono maty o zróżnicowanym składzie mieszanki nasion i nawozów. Stały monitoring wykazał kiełkowanie nasion



w okresie 10-15 dni od momentu rozłożenia fitomaty. Po 25 dniach roślinność była zwarta, źdźbła traw osiągały wysokość około 2 cm, a korzenie tworzyły gęstą lecz płytką darń. Dawało to możliwość ich podniesienia i ewentualnego przeniesienia lub usunięcia. W pierwszych 20. dniach stosowano zraszanie fitomat urządzeniami stosowanymi w kopalni do ograniczania zapylenia powodowanego przez pojazdy transportowe na drogach kopalnianych. Adaptacja tych urządzeń do nawadniania mat umożliwiła szybsze wykiełkowanie i wzrost roślin. Część mat pozostawiono bez wspomagania nawadnianiem. Wynikiem tego było opóźnione kiełkowanie roślin w okresie późnej jesieni i wolniejszy wzrost. Jednak, mimo skrajnie niedogodnych warunków, nasiona te zdołały wykiełkować i utrzymać wzrost do okresu prowadzenia ostatniej obserwacji. Rozwijanie mat w chłodniejsze, deszczowe dni w okresie wiosennym lub jesiennym powoduje ograniczone zapotrzebowanie roślin na wodę i sporadyczne zraszanie. Po wykiełkowaniu rośliny odznaczają się dużą żywotnością i nie potrzebują dodatkowych zabiegów pielęgnacyjnych czy nawożenia.



Fot. 3. Rozwój roślin na zwałowisku kopalni granitu  
Fig. 3. Plant development on a granite mine dumping site

Opracowane i sprawdzone rozwiązanie ochrony przed pyleniem i stabilizacją powierzchni za pomocą fitomat, jest chronione patentem nr 226780 udzielonym przez Urząd Patentowy RP na rzecz „Poltegor-Institut” Instytut Górnictwa Odkrywkowego.

## PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Efekt ograniczenia pylenia z powierzchni zwałowisk nie został osiągnięty ze względu na jedynie częściowe zastosowanie mat na skarpach, natomiast po początkowym etapie kiełkowania uzyskano efekt stabilizacji roślin w warstwie powierzchniowej zwałowiska. Po etapie kiełkowania roślin wymagającego skutecznego zraszania, fitomaty nie wymagały

dotychczasowej pielęgnacji. Umieszczenie nasion roślin na włókninie oraz dobór roślin do szczególnych warunków podłoża oraz funkcjonalności sprawiło, że fitomaty z powodzeniem mogły być przetransportowane w inny, bardziej narażony na pylenie rejon. Zastosowanie modułowego pokrycia przyzmy umożliwia zabezpieczenie przyzmy na ich pełnej wysokości. Uzyskuje się również całkowitą biodegradowalność elementów fitomat, co jest szczególnie przydatne w działaniach rekultywacyjnych.

Deponowanie drobnych, aerobilnych frakcji kruszyw stanowi szereg utrudnień dla zakładu górniczego, środowiska i najbliższego otoczenia. Pyłące przyzmy i zwałowiska w dużym stopniu pogarszają walory przyrodnicze i krajobrazowe okolicy oraz wpływają niekorzystnie na produkty rolne. Pogarszają ewidentnie jakość życia mieszkańców przyległych miejscowości i osiedli oraz obniżają wartość rynkową nieruchomości. Stanowią powód częstych konfliktów środowiskowych i społecznych. Przemieszczanie się natomiast drobnych frakcji na składowiska gotowych produktów obniżają ich jakość i cenę. Aktualne rozwiązania problemu pylenia z powierzchni stożków materiałów gotowych ograniczają się do ich zraszania lub stosowania hermetyzacji procesów przerobczych. Działania te są krótkotrwałe i nie zapobiegają w pełni unoszeniu się cząstek pyłu, szczególnie w warunkach pogodowych sprzyjających unoszeniu się drobnych frakcji materiału (wiatr, wysoka temperatura). Zastosowanie fitomat chroni przyzmy produktów drobnociązkowych przed ubytkiem masy oraz zanieczyszczeniem materią organiczną. Mobilność rozwiązania umożliwia transport i ułożenie fitomat w miejscach najbardziej narażonych na działanie wiatru. Zapobieganie pyleniu z powierzchni zwałowisk poprzez prowadzenie nasadzeń drzew i krzewów jest procesem długotrwałym. Zastosowanie fitomat daje natychmiastowy efekt braku zapylenia oraz poprawia stabilność skarp zwałowisk. Początkowy okres (kiełkowanie), wymaga nawadniania roślin, jednak w późniejszym czasie fitomaty nie wymagają dodatkowej pielęgnacji. Zastosowane mieszanki nasion mogą być modyfikowane i wzbogacane o nasiona innych roślin podnosząc efektywność w zakresie zabiegów rekultywacyjnych i rewitalizujących tereny przemysłowe i zdegradowane działalnością wydobywczą lub do zabezpieczania skarp i zboczy przed osuwaniem czy erozją. Kontynuacja badań i monitoring skuteczności zastosowanych rozwiązań, pozwolą na dalszą korektę składu materiału roślinnego i efektywnego podnoszenia jakości fitomat. Szersze wdrożenie opracowanych rozwiązań powinno przynieść wymierne efekty ekonomiczne przedsiębiorcom prowadzącym działalność górniczą lub budowlaną oraz pozwoli na ograniczenie zasięgów niekorzystnego oddziaływania na środowisko i otoczenie.

## Literatura

- [1] Falkowski M. i in.: *Trawy polskie*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. Warszawa, 1982
- [2] Chaber M., Bzowski Z.: *Rekultywacja składowisk odpadów powęglowych*. Wiadomości Górnicze nr 3, 2002
- [3] Krzaklewski W., Pietrzykowski M.: *Wstępne wyniki badań nad nową metodą stabilizacji techniczno-biologicznej fitotoksycznych odpadów po flotacji rud metali nieżelaznych*. WUG: Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie, nr 5, 2002
- [4] Jarczewski W.: *Przestrzenne aspekty rewitalizacji – śródmieścia, blokowiska, tereny przemysłowe, pokolejowe i powojkowe*. IRM, Kraków, 2009
- [5] Stefanička M.: *Techniczne metody ograniczania zapylenia w zakładach kruszyw i ocena ich skuteczności*, Mining Science, vol. 20, 2013
- [6] Broda J., Gawłowski A., Grzybowska-Pietras J., Rom M., Przybyło S., Laszczak R.: *Zastosowanie geotekstyliów do stabilizacji stromych skarp w kopalniach żwirowych*, Inżynieria Ekologiczna, Vol. 18, 2017