

Anna NAPORA, Anna GROBELAK, Agnieszka PLACEK, Kamil NOWAK,
Małgorzata KACPRZAK*

WPLYW BAKTERII PGPR I DODATKÓW DOGLEBOWYCH NA PROMOWANIE WZROSTU ROŚLIN

W niniejszej publikacji opisano wpływ skojarzonego oddziaływania bakterii promujących wzrost roślin (PGPR) oraz dodatków doglebowych w postaci: wapna nawozowego, osadów ściekowych o niskiej zawartości metali ciężkich oraz stymulatora wzrostu (4-nitrofenolanu sodu) na promowanie wzrostu kostrzewy czerwonej (*Festuca rubra* L.). Doświadczenie wykazało, że wydajną stymulację wzrostu traw na terenach zanieczyszczonych metalami ciężkimi zapewnia kombinacja dodatków doglebowych zawierająca osady ściekowe, które wpływają na poprawę parametrów chemicznych, fizycznych i biologicznych gleby. Łączne działanie wapna, osadów ściekowych, stymulatora wzrostu oraz konsorcjum bakteryjnego okazało się najskuteczniejszą kombinacją promującą wzrost roślin na terenach zdegradowanych.

1. WSTĘP

W procesie fitoremediacji, wykorzystuje się naturalne właściwości roślin do magazynowania metali ciężkich w tkankach [1, 2]. Przykładem takich roślin są trawy z rodzaju kostrzew, które są wykorzystywane do stworzenia okrywy wegetatywnej na terenach pokopalnianych i hałdach. Rośliny te kumulują metale główne w tkankach podziemnych, co ogranicza ryzyko spożycia metali przez zwierzęta. Trawy te wytwarzają stosunkowo rozbudowany system korzeniowy, który zabezpiecza glebę przed erozją i wypłukiwaniem metali z podłoża [3, 4].

Skażenie gleby metalami ciężkimi może skutecznie ograniczać proces rekultywacji gruntów poprzez zmniejszenie zdolności roślin do wzrostu i tym samym uzyskanie mniejszej biomasy. W tym przypadku należy zastosować dodatkową promocję wzrostu roślin. Bakterie ryzosferowe (ang. PGPR - plant growth promoting rhizobacteria), zdolne są do namnażania nawet przy wysokich stężeniach metali ciężkich, mogą bezpośrednio ograni-

* Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Środowiska i Biotechnologii, ul. Dąbrowskiego 69, 42-201 Częstochowa, a.napora@is.pcz.pl.

czać toksyczność szkodliwych dla roślin jonów poprzez ich wewnątrzkomórkowe wiązanie. Ryzobakterie mogą też pośrednio zwiększać wartość adaptacyjną roślin zasiedlających tereny skażone poprzez stymulację ich wzrostu i rozwoju [5, 6]. Stymulacja ta polega na: syntezie związków wykorzystywanych przez rośliny - fitohormonów, takich jak: auksyny, gibbereliny, cytokininy, kwas abscysynowy oraz inhibitorów syntezy etylenu (rhizobitoksyna, deaminaza 1-aminocyklopropano-1-karboksylowa). Bakterie PGPR mogą zwiększać też zdolność roślin do pobierania składników odżywczych, np. azotu (redukcja azotu pod wpływem enzymatycznego kompleksu nitrogenazy), fosforu (wzrost rozpuszczalności form nieorganicznych, mineralizacja form organicznych pierwiastka) i żelaza (siderofory) oraz mogą hamować i zapobiegać rozwojowi chorób roślin przy udziale metabolitów bakterio- i grzybobójczych, w tym antybiotyków [3, 7].

Dobre rezultaty w zwiększeniu biomasy roślin można też uzyskać poprzez zastosowanie odpowiednich dodatków doglebowych takich jak osady ściekowe czy stymulatorów wzrostu m.in. 4-nitrofenolan sodu [4, 8].

Osady przeznaczone do wykorzystania nieprzemysłowego powinny spełniać wymagania dotyczące ich stanu sanitarnego (zawartość czynników chorobotwórczych: grzybów i bakterii, jaj pasożytów i wirusów) oraz chemicznego (m.in. zawartości metali ciężkich ze względu na ich toksyczne oddziaływanie na organizmy żywe i możliwości bioakumulacji). Z tego względu najbardziej racjonalne wydaje się wykorzystanie osadów ściekowych pochodzących z przemysłu spożywczego. W osadach tych zawartość wymienionych substancji i niepożądanych mikroorganizmów jest na ogół niższa od normatywnych wyników dla osadów z innych źródeł. Bogate w azot, fosfor, mikroelementy oraz łatwo rozkładalną substancję organiczną osady ściekowe uwalniają podczas procesu mineralizacji składniki pokarmowe. Ponadto, osady ściekowe, a dokładniej materia organiczna w nich zawarta, wpływają korzystnie zarówno na fizyczne, chemiczne, jak i mikrobiologiczne właściwości gleb [2, 9, 10].

Związki fenolowe stanowią natomiast zróżnicowaną grupę wtórnych metabolitów roślinnych aktywowanych przez różne stresy biotyczne i abiotyczne. Biorą one udział w wielu reakcjach obronnych, w tym: chelatowaniu metali oraz obronie przed niekorzystnymi warunkami pogodowymi. Mechanizmy te równoważą negatywne oddziaływania środowiska i pozwalają utrzymać produktywność roślin nawet w warunkach stresowych.

Celem niniejszych badań była ocena łącznego wpływu mikroorganizmów ryzosferycznych oraz dodatków doglebowych w postaci: osadów ściekowych oraz stymulatora wzrostu (4-nitrofenolan sodu) na optymalizację wzrostu roślin w glebach skażonych metalami ciężkimi.

2. ZAKRES I METODYKA BADAŃ

Materiał roślinny stanowiły nasiona kostrzewy czerwonej (*Festuca rubra* L.) pochodzące z Zakładu Hodowlań-Produkcyjnego w Nieznanicach.

Jako podłoże wykorzystano silnie zanieczyszczoną glebę pochodzącą z terenów przyległych do huty cynku w Miasteczku Śląskim, położonej w centralnej części województwa śląskiego, w powiecie tarnogórskim (tabela 1). Glebę przesiano przez sита o średnicy otworów 1 mm. Ze względu na niskie pH do tak przygotowanego podłoża dodano wapna nawozowego (0,8% procent wagowy). Zastosowano 4 kombinacje podłoża z dodatkami (tabela 2). Jako dodatek organiczny wprowadzono ustabilizowane tlenowo osady ściekowe z przemysłu spożywczego charakteryzujące się niską zawartością metali ciężkich (odpowiednio: Cd - 0,49 mg/kg s.m.; Pb - 17,5 mg/kg s.m.; Zn - 193,6 mg/kg s.m.) [4, 11]. Jako stymulator wzrostu zastosowano 0,6% wodny roztwór 4-nitrofenolanu sodu. Doświadczenie wazonowe prowadzono w doniczkach o wymiarach: średnica 10 cm; wysokość 12 cm. Dla każdej kombinacji dodatków wykonano trzy powtórzenia. Kontrolę stanowiły rośliny nie szczepione izolatami bakterii (tabela 3).

Tabela 1. Charakterystyka gleby pobranej z Miasteczka Śląskiego [12]

Skład granulometryczny	Piasek słabo gliniasty
pH	Kwaśne <3,94-4,46>
Średnia zawartość Zn	117,43 ppm
Średnia zawartość Cd	2,93 ppm
Średnia zawartość Pb	176,64 ppm

Tabela 2. Rodzaj podłoża i dodatków (% m/m),
(„+” rośliny szczepione konsorcjum bakteryjnym; „-” kontrola bez bakterii)

Lp.	Rodzaj podłoża	Dodatek bakterii	
P1	Gleba+ wapno nawozowe (0,8% m/m)	+	-
P2	Gleba + wapno nawozowe (0,8% m/m) + osady ściekowe (0,8% m/m)	+	-
P3	Gleba + wapno nawozowe (0,8% m/m) + stymulator wzrostu (0,6% m/v)	+	-
P4	Gleba+ wapno nawozowe (0,8% m/m) + osady ściekowe (0,8% m/m) + stymulator wzrostu (0,6% m/v)	+	-

Materiał mikrobiologiczny stanowiło 10 izolatów bakterii (tabela 3) wyizolowanych ze środowiska naturalnego terenu oddziaływania huty cynku w Miasteczku Śląskim z korzeni 3 roślin:

- kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.) - „K”,
- mietlica pospolita (*Agrostis capillaris* L.) - „M”,
- rzodkiewnik pospolity (*Arabidopsis thaliana* L. Heynh) - „R”.

Do konsorcjum wybrano izolaty, które w testach biochemicznych wykazywały wysoką zdolność do promowania wzrostu roślin.

Zastosowano także dwa szczepy pochodzące z kolekcji Instytutu Inżynierii Środowiska: *Bacillus subtilis* (11), *Azospirillum brasiliense* (12), wykazujące właściwości promowania wzrostu roślin w warunkach stresowych.

Tabela 3. Charakterystyka izolatów bakterii wybranych do inokulacji roślin

Roślina donorowa	Barwienie Grama	Morfologia kolonii izolatu	Pożądana cecha
K1	-	okrągła, żółta, matowa, wypukła	przyswajanie fosforu
K3	-	okrągła, wypukła, mleczno biała, błyszcząca	aktywność deaminazy ACC
M2	-	okrągła, mleczno biała, nieregularne brzegi, błyszcząca	aktywność proteolityczna
M6	-	okrągła, mleczno biała, błyszcząca	aktywność proteolityczna, produkcja hormonu wzrostu (IAA)
R3	-	żółta, okrągła, błyszcząca	aktywność deaminazy ACC
R10	-	okrągła, nieregularne brzegi, żółta, przezroczysta, błyszcząca	produkcja hormonu wzrostu (IAA)
R12	+	żółta, okrągła, błyszcząca	produkcja hormonu wzrostu (IAA)
R14	-	jasnożółta, okrągła, wypukła, błyszcząca	aktywność proteolityczna, przyswajanie fosforu
11	+	matowa, biała, okrągła	aktywność deaminazy ACC
12	-	błyszcząca, pomarańczowa	przyswajanie fosforu

Kolejny etap obejmował immobilizację wybranych szczepów w alginianie sodu. Doświadczenie obejmowało przygotowanie roztworu alginianu sodu o stężeniach 2% m/v z dodatkiem pożywki LB (*Luria Bertani*) (0,8 g na 40 ml ddH₂O) i roztworu chlorku wapnia o stężeniu 2,5% m/v. Odczynniki przygotowano poprzez rozpuszczenie w wodzie dejonizowanej.

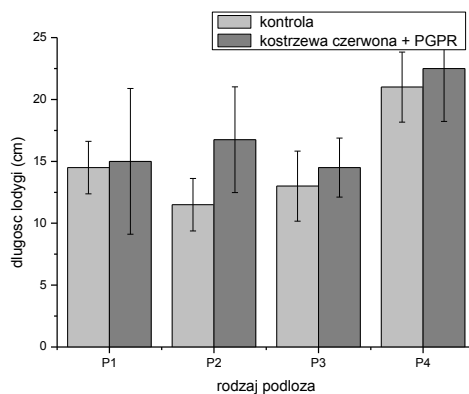
Do tak otrzymanego roztworu alginianu sodu dodano pellet bakterii (bakterie namnożono w 10 ml płynnej pożywki LB do wartości OD 600 nm = 1, następnie odwirowano uzyskując pellet) i mieszano do uzyskania jednorodnej zawiesiny. Tak uzyskaną zawiesinę przeniesiono do cylindra i wkraplano do roztworu chlorku wapnia. Uzyskano złożę w postaci kulek 1,5–3 mm. Po czasie 10 minut kondycjonowania odsączono złożę kulkowe na

leju Buchnera i przemyto wodą destylowaną [13]. Kolejnym etapem doświadczenia było rozprowadzenie zimmobilizowanych bakterii do wcześniej przygotowanej gleby. Stężenie komórek bakterii obliczono dla OD 600 nm = 1,0 i wynosiło ono $60 \cdot 10^{7,6}$ do $10^{8,2}$ komórek na doniczkę [14]. Do gleby kontrolnej wprowadzono także złożę alginianu bez bakterii. W kombinacjach P3 i P4 (tabela 2) rośliny podlewano 0,6% wodnym roztworem stymulatora wzrostu, cyklicznie co 2 tygodnie w objętości 10 ml na doniczkę. Doświadczenie było prowadzone w komorze fitotronowej w warunkach kontrolowanych, optymalnych dla wzrostu i rozwoju traw (temperatura: 21 °C w dzień i 18 °C w nocy; wilgotności ok. 85%). Wzrost roślin zakończono po 3 miesiącach trwania doświadczenia. Po tym czasie określono morfologię roślin i przeprowadzono analizę uzyskanej biomasy względem kontroli. Nadziemną część oddzielono od korzenia, a następnie zważono. Korzenie roślin zostały wypłukane pod bieżącą wodą w celu pozbycia się resztek gleby, a następnie przepłukane wodą dejonizowaną. Po wysuszeniu w temperaturze 50 °C uzyskana biomasa została zważona.

3. WYNIKI I WNIOSKI

Ocenę właściwości promowania wzrostu roślin na glebie z dodatkami (tabela 2) określono na podstawie pomiaru biomasy roślin oraz wzrostu wydłużeniowego roślin szczepionych konsorcjum, w porównaniu do próby kontrolnej (kontrola z roślinami bez bakterii). Doświadczenie wykazało, że zaszczepienie roślin konsorcjum bakteryjnym wpłynęło w znaczny sposób na masę i wzrost wydłużeniowy zarówno korzenia jak i pędu nadziemnego kostrzewy czerwonej (rys. 1–4). W doświadczeniu przeprowadzonym przez Sheng i in. (2008) [15] badano zdolność 2 izolatów bakterii (*Pseudomonas fluorescens* G10, *Microbacterium sp.* G16 (EN) do promowania wzrostu roślin (rzepaku ozimego). Izolaty te odznaczały się zdolnością do produkcji ACC deaminazy, hormonu wzrostu IAA, oraz produkcji sideroforów. Stwierdzono, iż po zaszczepieniu rzepaku ozimego (*Brassica napus*), wybranymi szczepami bakterii *P. fluorescens* G10 oraz *Microbacterium sp.* G16 (EN) odnotowano dla roślin wzrost długości i biomasy korzenia oraz długości łodygi. Zaobserwowano wzrost biomasy części nadziemnej i podziemnej o 59% [15]. W przypadku wzrostu wydłużeniowego łodygi kostrzewy czerwonej (rys. 1) najlepsze rezultaty uzyskano dla kombinacji dodatków P4 (wapno nawozowe + osady ściekowe + 4-nitofenolanu sodu), zarówno dla kombinacji z konsorcjum bakteryjnym jak i bez. W przypadku gleby P2 (wapno nawozowe + osady ściekowe) zaobserwowano znaczną różnicę we wzroście łodygi po zaszczepieniu roślin konsorcjum bakteryjnym. Różnica ta może świadczyć o tym, iż wraz z osadami ściekowymi do gleby wprowadzono mikroorganizmy patogeniczne dla roślin. W literaturze przedmiotu [10] znaleźć można doniesienia, iż aplikacja osadów do gleby wpływa nie tylko na wzrost populacji bakterii, ale także i grzybów. Badania prowadzone przez Nowaka i inni (2010) wykazały, że osady ściekowe zwiększają

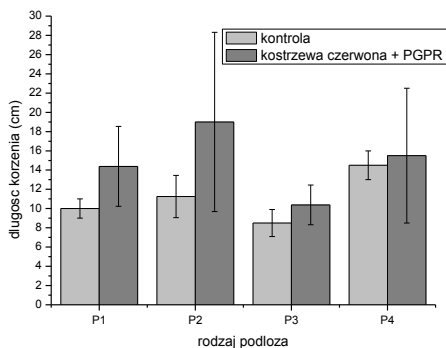
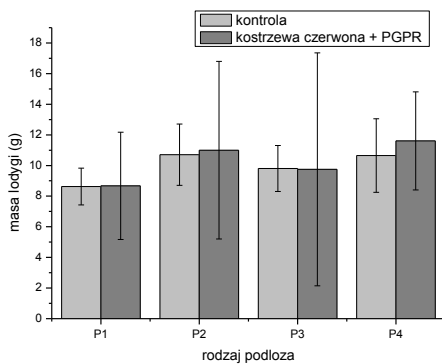
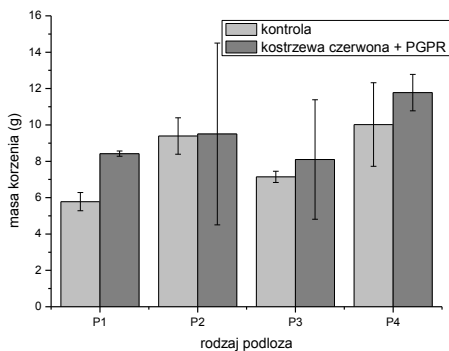
w glebach populację grzybów, takich jak: *Mucor* czy *Fusarium*, które są mikroorganizmami patogenicznymi dla roślin [10]. W przeprowadzonym doświadczeniu, w skład konsorcjum bakteryjnego wchodziły bakterie o właściwościach przeciwgrzybiczych. Prawdopodobnie bakterie PGPR w postaci konsorcjum hamowały rozwój grzybów, potencjalnych patogenów roślin. Wyniki przeprowadzonych badań są podobne do uzyskanych przez Cho i inni (2007) i potwierdzają, że bakterie PGPR mają przeciwgrzybicze właściwości [16], a dodatek osadów ściekowych wpływa pozytywnie na wzrost roślin [4].



Rys. 1. Kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.) – wzrost wydłużeniowy lodygi

W przypadku wzrostu wydłużeniowego korzenia (rys. 2) najlepszy efekt zaobserwowano dla kombinacji dodatków P2 (wapno nawozowe + osady ściekowe) ze szczepieniem roślin konsorcjum bakteryjnym. W skład zastosowanego konsorcjum (tabela 3) wchodziły bakterie odznaczające się wysoką aktywnością deaminazy ACC. Badania na psiance czarnej (*Solanum nigrum* L.) przeprowadzone przez Long'a i inni (2008) wykazały, że gdy aktywność bakteryjnej deaminazy ACC jest większa, to korzenie roślin są dłuższe. Drugim zaobserwowanym faktem był spadek poziomu etylenu wraz ze wzrostem aktywności deaminazy ACC [17]. Najmniejszy wzrost wydłużeniowy zaobserwowano dla kombinacji dodatków P3 (wapno nawozowe + 4-nitrofenolan sodu), co może świadczyć o tym iż związek ten uległ flokulacji w zbyt niskim pH gleby [8].

Dla kostrzewy czerwonej najlepsze rezultaty dla przyrostu biomasy lodygi (rys. 3) zaobserwowano dla kombinacji dodatków P2 (wapno nawozowe + osady ściekowe) oraz P4 (wapno nawozowe + osady ściekowe + 4-nitrofenolan sodu). Badania prowadzone przez innych autorów [4] potwierdziły, że na plon uzyskanej biomasy w dużym stopniu miała wpływ zasobność gleby w składniki biogenne oraz poziom wilgotności. Ponadto badania te wykazały bardzo korzystny wpływ nawożenia osadami ściekowymi na wzrost i funkcjonowanie roślin w procesie fitoremediacji na terenach zanieczyszczonych metalami ciężkimi [4].

Rys. 2. Kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.) – wzrost wydłużeniowy korzeniaRys. 3. P Kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.) – biomasa łodygiRys. 4. Kostrzewa czerwona (*Festuca rubra* L.) – biomasa korzenia

Na rys. 4 przedstawiono przyrost biomasy korzenia dla różnych kombinacji dodatków glebowych ze szczepieniem roślin konsorcjum bakteryjnym i bez szczepienia.

Uzyskane wyniki potwierdzają, iż najskuteczniejsza w promowaniu wzrostu roślin okazała się kombinacja dodatków P4 (wapno nawozowe + osady ściekowe + 4-nitrofenolan sodu) zarówno z wariantem szczepienia roślin bakteriami jak i bez bakterii. W tym przypadku dodatek osadów ściekowych miał wpływ na poprawę parametrów glebowych oraz podwyższenie pH gleby [4], co wpłynęło na lepsze przyswajanie 4-nitrofenolanu sodu, który nie uległ flokulacji [8].

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania potwierdziły, że wykorzystane w doświadczeniu konsorcjum bakteryjne posiada zdolność do naturalnego promowania wzrostu roślin. Można przypuszczać iż zastosowane konsorcjum bakteryjne wpływa na poprawę wzrostu roślin poprzez:

- wydzielanie enzymów proteolitycznych,
- zwiększenie przyswajania fosforu,
- zmniejszenie skutków stresu roślin (deaminaza ACC rozkładająca prekursor etylenu),
- produkcję hormonu wzrostu (IAA),
- wydzielanie substancji przeciwrzybiczych [3].

Tereny zdegradowane na ogół są pozbawione okrywy roślinnej, to wpływa na ich podatność na erozję i może prowadzić do przedostawania się zanieczyszczeń do kolejnych elementów środowiska [18]. Dlatego ważne jest promowanie wzrostu roślin tak aby powstała zwarta okrywa roślinna zabezpieczająca grunty.

Dodatki glebowe w procesie wspomaganej fitoremediacji były stosowane w celu zainicjowania wzrostu roślin oraz poprawy stabilizacji metali [4]. Skuteczna w promowaniu wzrostu kostrzewy czerwonej (*Festuca rubra* L.) okazały się kombinacje dodatków zawierające osady ściekowe: P2 i P4. Uzyskane wyniki potwierdzają, iż bardzo racjonalne wydaje się wykorzystanie osadów ściekowych (o niskiej zawartości metali ciężkich) do użytkowania i rekultywacji gleb słabych biologicznie i zdegradowanych.

Autorki A. Napora oraz A. Placek otrzymały stypendium w ramach projektu DoktoRIS – Program stypendialny na rzecz innowacyjnego Śląska współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Źródło finansowania: Projekt NCN-DEC-2011/03/N/NZ9/02034

LITERATURA

- [1] ALI H., KHAN E., SAJAD M.A., *Phytoremediation of heavy metals-concepts and applications*, Chemosphere, 2013, Vol. 91, No7, 869–881.
- [2] KACPRZAK M., *Wspomaganie procesów remediacji gleb zdegradowanych*. Monografie, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2007, 25–56.
- [3] NAPORA A., KACPRZAK M., *Wspomaganie fitoremediacji gleb zanieczyszczonych metalami ciężkimi przez mikroorganizmy ryzosferowe*, Nowe trendy w naukach przyrodniczych, Creative Time, 2013, Vol. 3, 43–48.
- [4] GROBELAK A., KACPRZAK M., GROSSER A, NAPORA A., *Chemofitostabilizacja gleby zanieczyszczonej kadmem, cynkiem i ołowiem*, Rocznik Ochrona Środowiska, 2013, Vol. 15, 1982–2002.
- [5] DĄBROWSKA G., HRYNKIEWICZ K., KŁOSOWSKA K., GOC A., *Selekcja bakterii ryzosferycznych usprawniających procesy fitoremediacji gleb zawierających związki metali ciężkich*, Ochrona Środowiska, 2011, Vol 30, No. 2, 33–58.
- [6] MA Y., PRASAD M.N.V., RAJKUMAR M., FREITAS H., *Plant growth promoting rhizobacteria and endophytes accelerate phytoremediation of metalliferous soils*, Biotechnology Advances, 2011, Vol. 29, No. 2, 248–258.
- [7] KACPRZAK M., *Fitoremediacja gleb skażonych metalami ciężkimi*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2013.
- [8] http://pl.sweve.net/word_show.htm/?1727864_3&Nitrofenolanu_sodu (10.02.2015).
- [9] ROSIKOŃ K., *Osady ściekowe w nawożeniu wybranych roślin energetycznych*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, 2014, Vol. 17, No. 2, 339–348.
- [10] NOWAK M., KACPRZAK M., GROBELAK A., *Osady ściekowe jako substytut glebowy w procesach remediacji i rekultywacji terenów skażonych metalami ciężkimi*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, 2010, Vol. 13, No. 2, 121–131.
- [11] BIEŃ J., NECZAJ E., WORWAĞ M., GROSSER A., NOWAK D., MILCZAREK M., JANIK M., *Kierunki zagospodarowania osadów ściekowych w Polsce po roku 2013*, Inżynieria i Ochrona Środowiska, 2011, Vol. 14, No.4, 375–384.
- [12] PAJAŁ M., JASIK M., *Poziom akumulacji cynku, kadmu i ołowiu w wierzchniej warstwie gleb leśnych w sąsiedztwie huty cynku „Miasteczko Śląskie”*, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego: Inżynieria środowiska, 17, 112–122.
- [13] WÓJCIK M., GRUBECKI I., *Ocena efektywności pulapkowania katalazy Terminox Ultra w żelu alginianu wapnia*, Inżynieria i Aparatura Chemiczna, 2012, Vol. 51, No. 4, 195–196.
- [14] SHIN S.J., HAN J.H., MANNING E.J., COLLINS M.T., *Rapid and reliable method for quantification of Mycobacterium paratuberculosis by use of the BACTEC MGIT 960 System*, Journal of Clinical Microbiology, 2007, Vol. 45, No. 6, 1941–1948.
- [15] SHENG X.F., HE L.Y., WANG Q.Y., YE H.S., JIANG C., *Effects of inoculation of biosurfactant producing Bacillus sp. J119 on plant growth and cadmium uptake in a cadmium amended soil*, J Hazard Mater, 2008, 155, 17–22.
- [16] CHO K.M., HONG S.Y., LEE S.M., KIM Y.H., KAHNG G.G., LIM Y.P., KIM H., YUN H.D., *Endophytic bacterial communities in ginseng and their antifungal activity against pathogens*, Microbial Ecology, 2007, Vol. 54, No. 2, 341–351.
- [17] LONG H.H., SCHMIDT D.D., BALDWIN I.T., *Native bacterial endophytes promote host growth in a species-specific manner, phytohormone manipulations do not result in common growth responses*, 2008, PLoS ONE, Vol. 3, No.7, 1–10.
- [18] PAWŁOWSKI L., *How Heavy Metals Affect Sustainable Development*, Rocznik Ochrony Środowiska (Annual Set of The Environment Protection), 2011, Vol. 13. 51–64.

INFLUENCE OF PGPR BACTERIA AND SOIL ADDITIVES ON PLANT GROWTH PROMOTION

This publication describes the impact of combined impact of plant growth-promoting bacteria (PGPR) and soil additives: lime, sewage sludge with a low content of heavy metals and organic plants growth stimulator (4-nitrophenol sulfate), on the promotion of the growth of red fescue (*Festuca rubra* L.). This study has shown that the effective promotion of the growth of grass on areas degraded by heavy metals provides a combination of soil additives containing sewage sludge. The soil amendments improve the chemical, physical and biological parameters of the soil.

Cumulative impact of the lime, sewage sludge, growth stimulator and a consortium of bacteria proved the most effective combination of plant growth promotion on degraded areas.