

**URSZULA WYDRO, ELŻBIETA WOŁEJKO, AGATA
JABŁOŃSKA-TRYPUĆ**

Politechnika Białostocka, Katedra Chemii, Biologii i Biotechnologii, ul. Wiejska 45E, 15-351 Białystok,
e-mail: e.wolejko@pb.edu.pl

**AKTYWNOŚĆ AMYLOLITYCZNA GLEB ZDEGRADOWANYCH
PO APLIKACJI OSADÓW ŚCIEKOWYCH**

Celem pracy była analiza wpływu odwodnionych i termicznie przetworzonych osadów ściekowych na aktywność amylolityczną gleb zdegradowanych. Aktywność amylazy oraz liczebność bakterii amylolitycznych w ryzosferze traw monitorowano dwukrotnie w sezonie wegetacyjnym; w czerwcu i październiku w pierwszym roku po aplikacji osadów ściekowych. Najwyższą średnią liczbę bakterii amylolitycznych odnotowano w próbkach pobranych w październiku z wariantów, do których aplikowano osad granulowany w dawce 29 t s.m./ha i wynosiła ona $44,62 \times 10^6$ jtk/g s.m. gleby. Aktywność amylaz w glebie traktowanej osadem odwodnionym najwyższą średnią wartość osiągnęła w czerwcu (2,12 mg Glc/g s.m. $\times 24$ h), podczas gdy w glebie traktowanej osadem granulowanym była stabilna w badanym okresie (od 1,65 do 2,18 mg Glc/g s.m. $\times 24$ h).

Słowa kluczowe: amylaza, osad granulowany, osad odwodniony mechanicznie, bakterie amylolityczne

I. WSTĘP

Gleby miejskie według Niedbała i in. [2010] należą do najbardziej zdegradowanych gleb ze względu na niewielką ilość składników pokarmowych i małą pojemność wodną oraz niską zawartość materii organicznej i próchnicy. Taki stan rzeczy związany jest z jej strukturą, która jest niejednolita i często składa się z różnych odpadów budowlanych. Dodatkowo gleby te charakteryzują się zwartą strukturą co jest wynikiem stosowania ciężkiego sprzętu, a co za tym idzie zostają zaburzone stosunki powietrzno-wodne. Ponadto gleby położone wzdłuż szlaków komunikacyjnych narażone są na zanieczyszczenia pochodzące z transportu [Nawaz i in. 2013]. Sarkodie i in. [2022] stwierdzili, że zarówno chemiczne jak i mechaniczne przekształcenia gleby na terenach miejskich będą wpływać negatywnie na zmiany aktywności biologicznej, co w konsekwencji wpływa na upośledzenie funkcjonowania biocenozy. Zanieczyszczenia występujące w ciągach komunikacyjnych mogą wpływać na ich wzajemne relacje i zaburzając aktywność mikroorganizmów glebowych [Sarkodie i in. 2022].

Podstawowym elementem terenów zurbanizowanych są trawniki ze względu na proste i najbardziej naturalne pokrycie powierzchni gleb. Ta struktura roślinna odgrywa istotną rolę jako gatunek najczęściej brany pod uwagę przy projektowaniu na terenach miejskich. Trawniki pełnią w miastach funkcje ochronne tj. pochłanianie zanieczyszczeń czy

stabilizację podłoża wpływając istotnie na mikroklimat miast [Wolski i in. 2006]. Dlatego powinno się zwrócić szczególną uwagę aby zapewnić odpowiedniej jakości gleby dla aktywności mikrobiologicznej co przełoży się na prawidłowy rozwój i wzrost traw [Napora i Grobelak 2014].

Rozwój miast, a tym samym wzrost liczby mieszkańców, powoduje przyrost ilości odpadów zarówno przemysłowych jak i komunalnych. Powstające osady ściekowe stanowią materię organiczną, którą powinno się zagospodarować środowiskowo jako nawóz lub substrat rekultywacyjny do gleb zdegradowanych. Osady ściekowe posiadają bogatą matrycę składającą się z makro- (azot, fosfor) i mikroelementów, które mogą wpływać na poprawę chemicznych, fizycznych i biologicznych właściwości gleby [Kominko i in. 2022, Jezierska-Tyś i Frąc 2008]. Przemawia to za wykorzystaniem osadów ściekowych w rekultywacji zdegradowanych gleb przestrzeni miejskiej do tworzenia trawników.

Po wprowadzeniu osadu ściekowego do gleb obserwuje się wzrost aktywności mikroorganizmów, co jest związane również ze wzrostem zawartości materii organicznej [Napora i Grobelak 2014]. Bakterie amylolityczne przy użyciu amylaz rozszczepiają wewnętrzne wiązania glikozydowe w cząsteczkach skrobi, wytwarzając cukry. Biorąc pod uwagę miejsce rozszczepienia wiązania glikozydowego, można je podzielić na endoamylazy i egzoamylazy. Endoamylaza katalizuje wiązania w łańcuchu, co prowadzi do upłynnienia skrobi i tworzenia oligosacharydów, podczas gdy egzoamylazy rozrywają co drugie wiązanie glikozydowe [Kucharski i in. 2000]. Mikroorganizmy posiadające zdolność rozkładu glikogenu i skrobi to m.in.: *Clostridium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Bacteroides* [Błaszak 2013]. Powstające produkty degradacji skrobi są wykorzystywane przez mikroorganizmy glebowe jako cenne źródło węgla i energii, a roślinom dostarczają związków pokarmowych niezbędnych do wzrostu [Kucharski i in. 2000]. Jak zauważył Nannipieri i in. [2012], rozwijające się rośliny mogą modyfikować populację mikroorganizmów jakie występują w strefie korzeniowej. Związane jest to z faktem, że w trakcie rozwoju roślin, wydzieliny korzeniowe mogą modyfikować populację mikroorganizmów, dostosowując tę aktywność do własnych potrzeb [Xu i in. 2017].

Celem pracy było zbadanie wpływu różnie przetworzonych osadów ściekowych na zmiany aktywności amylolitycznej w glebach zdegradowanych. Aktywność była wyrażona liczbą bakterii amylolitycznych i aktywnością amylaz glebowych. Ponadto na podstawie uzyskanych wyników aktywności enzymatycznej i mikrobiologicznej porównano wybrane właściwości fizyko-chemiczne gleby.

II. MATERIAŁY I METODY

Eksperyment został założony wzdłuż ciągu komunikacyjnego w Białymstoku. Zastosowano dwa rodzaje osadu ściekowego (odwodniony - S1 i termicznie przetworzony - S2). Powierzchnię doświadczalną podzielono na dwie części po 45 m² a następnie każdą część podzielono na 9 poletek o powierzchni 5 m² każde. Przed aplikacją osadów glebę pobrano do badań i określono właściwości fizyczno-chemiczne oraz zawartość metali ciężkich. Gleba, na której założono eksperyment była glebą lekką o pH w przedziale od 7,6 do 7,9; o zawartości fosforu od 12,2 do 14,6 mg P₂O₅/100 g. Na podstawie rozporządzenia [Dyrektywa...2015] ustalono dawki osadu (0 – kontrola, 14,5 i 29 t s.m./ha). Zostały one zaaplikowane na przygotowane poletka jesienią. Wysiano wtedy także mieszankę traw gazonowych składającą się z kostrzewy czerwonej, życicy trwałej i wiechliny łąkowej. Osady ściekowe wzięte do badań spełniały wymagania ujęte w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych [Dz.U. 2015 poz. 257].

Analiza mikrobiologiczna i enzymatyczna gleb

Glebę do oznaczenia liczby bakterii amyloリティcznych i aktywności amylaz pobrano z głębokości 0-10 cm i włożono do specjalnie przygotowanych pojemników. Oznaczenie bakterii amyloリティcznych w strefie ryzosferowej wykonano zgodnie z metodą opisaną przez Rodina [1968]. Bakterie inkubowano w temperaturze 27°C na pożywce zawierającej 2% skrobi, przez 96 h. Po tym czasie wyrosłe kolonie na płytkach Petriego pokryto płynem Lugola i policzono tylko te bakterie, które tworzyły żółtą strefę. Liczbę kolonii wyrażono jako jtk (jednostki tworzące kolonie) na 1 g suchej masy gleby i korzeni (jtk/g s.m.).

Aktywność amylaz określono na podstawie metody opisanej przez Schinner i Mercı [2005] opartej na analizie ilości cukrów redukujących powstałych po enzymatycznej hydrolizie skrobi. Ilość wytworzonych cukrów redukujących oznaczono metodą kolorymetryczną i wyrażono w mg uwolnionej glukozy (Glc).

Analiza statystyczna

Dla uzyskanych parametrów fizycznych i chemicznych wykonano podstawowe statystyki (wartości minimalne i maksymalne, medianę, średnie i odchylenie standardowe) i przedstawiono jako wykresy ramka-wąsy oraz wykresy kolumnowe. Korelację między cechami obliczono za pomocą korelacji Pearsona (przy poziomie istotności ustalonym na poziomie $p < 0,05$). W obliczeniach i wykresach użyto pakietu R (R Studio, wersja 2024.09.0+375).

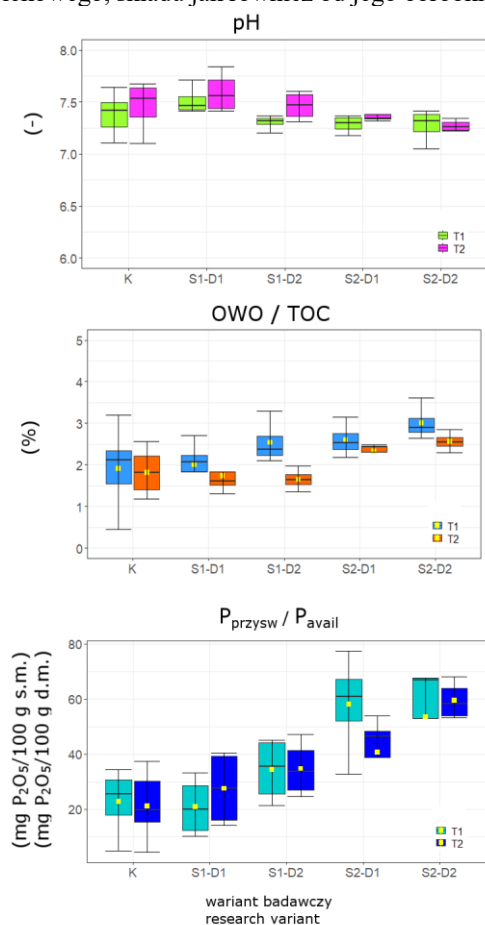
III. WYNIKI I DYSKUSJA

Osady ściekowe ze względu na zawartość składników odżywczych w swoim składzie i ich pozytywny wpływ na właściwości gleb nie powinny być ignorowane. Jak zauważyła Kaźmierczak i Milian [2011] ważnym aspektem osadu ściekowego jest jego skład chemiczny, gdyż po wprowadzeniu go do gleb zdegradowanych powoduje tam przywrócenie życia, tj. mikroorganizmów, fauny glebowej i roślin wyższych. W badaniach własnych po wprowadzeniu S1 i S2 do gleby, dominującą frakcją granulometryczną w glebach był piasek, a jego ilość wahała się od 52 do 68%, podczas gdy zawartość gliny wynosiła od 20 do 39%, a części spławialnych - od 5 do 11%. Wartość pH w czerwcu wynosiła od 7,1 (dla S2 - w dawce 29 t s.m./ha) do 7,7 (S1 w dawce 29 t s.m./ha). Ponadto w październiku wartości pH gleby były podobne do tych w czerwcu i wynosiły od 7,1 (w kontroli) do 7,8 (S1-D1). Gleby w aglomeracjach miejskich charakteryzują się odczynem obojętnym lub zasadowym. Taki stan rzeczy spowodowany jest obecnością pyłów alkalicznych, wapiennych materiałów budowlanych oraz zanieczyszczeń [Michalski 2020]. W badaniach przeprowadzonych przez Szymków i Świtecką [2013] odnotowano wzrost pH gleby po nawożeniu osadami ściekowymi, co związane było z zastosowaniem do stabilizacji i higienizacji osadów, związków wapnia.

Średnia zawartość ogólnego węgla organicznego (OWO) w glebie po zastosowaniu S1 i S2 została przedstawiona na rysunku (rys. 1). Najwyższe średnie wartości OWO w glebie pobranej w czerwcu zaobserwowano na poletkach z S2 w dawce 29 t DM/ha i wynosiły 3,01% s.m., podczas gdy najniższe stwierdzono dla kontroli (1,91% s.m.). W próbkach gleby pobranych w październiku uzyskane wyniki wskazały, że średnia zawartość OWO była niższa niż w czerwcu we wszystkich wariantach badawczych i wynosiła od 1,65 do 2,56% s.m., odpowiednio dla S1-D2 i S2-D2. Średnie zawartości przyswajalnego fosforu w glebie dla próbek pobranych w czerwcu wahały się od 20,90 do 58,06 mg P₂O₅/100 g s.m., odpowiednio w S1-D1 i S2-D1. W drugim terminie pobrania próbek najwyższą średnią zawartość P_{przysw} w glebie odnotowano w S2-D2 (59,46 mg P₂O₅/100 g s.m.), natomiast najniższą w kontroli

(21,09 mg P₂O₅/100 g s.m.). Generalnie wyższą średnią zawartość dostępnego P odnotowano w glebie wzbogaconej S2 w porównaniu do S1.

Podobne zmiany we właściwościach chemicznych i biologicznych w glebach po aplikacji osadów ściekowych były obserwowane w badaniach prowadzonych przez Napora i Grobelak [2014]. Mohamed i in. [2018] wskazują, że zmiany jakie zachodzą w glebach zależą głównie od pochodzenia osadu ściekowego, składu jak również od jego obróbki.



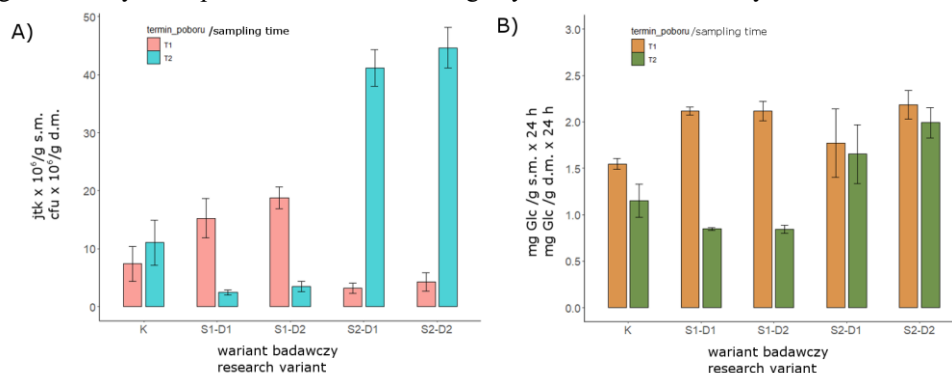
Rys. 1. Główne właściwości fizykochemiczne próbek gleb pobranych w czerwcu (T1) i październiku (T2) z wariantów kontrolnych (K), nawożonych osadami odwodnionymi (S1-D1, S1-D2) i osadami granulowanymi (S2-D1, S2-D2)

Fig. 1. Main physico-chemical properties of soil samples collected in June (T1) and October (T2) from control (K) and variants fertilized with dewatered sludge (S1-D1, S1-D2) and granular sludge (S2-D1, S2-D2)

Jeśli chodzi o zawartość składników odżywczych w glebie, wyniki pokazują, że po zastosowaniu do gleb zarówno osadów ściekowych odwodnionych jak i granulowanych wzrosła zawartość OWO i dostępnego P_{przysw}, ale w przypadku S1 taki wzrost zaobserwowano tylko w lipcu. Różnice w oddziaływaniu badanych substratów mogą być spowodowane różnicą tempa mineralizacji surowego i termicznie przetworzonego osadu ściekowego. Wiater i in.

[2003] podają, że mineralizacja termicznie wysuszonego granulowanego osadu ściekowego zachodzi z mniejszą intensywnością niż w przypadku osadu nieprzetworzonego. Według Mohameda i in. [2018] nawożenie gleby leśnej osadem ściekowym wpłynęło istotnie jedynie na wzrost zawartości fosforu ogólnego. W badaniach Kitzaka i Czyża [2009] wzbogacenie piaszczystej gleby osadem ściekowym w doświadczeniu poletkowym spowodowało wzrost zawartości materii organicznej (o 40%) i fosforu (od 0,1 do 0,5%). Marando i in. [2011] przeprowadzili badania w eksperymencie lizymetrycznym, w którym zastosowali różne rodzaje osadów ściekowych (osady kompostowane i suszone termicznie w temperaturze 80-90°C) do rekultywacji gleby z czynnego kamieniołomu wapiennego, położonego w Hiszpanii. Po 13 miesiącach dodawania osadów zaobserwowali znaczący wzrost zawartości C (z 0,5 do 1,7% i z 0,5 i 1,9% odpowiednio dla osadów kompostowanych i suszonych) oraz zawartości N (z 0,07 do 0,14% i z 0,07 do 0,11% odpowiednio dla osadów kompostowanych i suszonych). Ponadto autorzy stwierdzili, że zastosowanie osadów kompostowanych w glebie spowodowało znacznie wolniejszy rozkład w porównaniu z osadami suszonymi termicznie. Podobne rezultaty uzyskano w obecnym eksperymencie, w którym zastosowano osady odwodnione charakteryzujące się wyższą intensywnością mineralizacji oraz osady granulowane przetworzone termicznie o niższym stopniu rozkładu.

Wpływ czynników doświadczalnych na średnią liczbę bakterii amylolitycznych w strefie ryzosfery przedstawiono na rysunku (rys. 2A). Średnia liczba badanych bakterii była zróżnicowana, a istotnie najmniejszą wartość odnotowano w październiku w S1-D1 ($2,48 \times 10^6$ jtk/g s.m. korzeni i gleby), natomiast największą również w październiku w S2-D2 ($44,62 \times 10^6$ jtk/g s.m. korzeni i gleby). Istniały istotne różnice w średniej liczbie bakterii amylolitycznych związane z zabiegami i czasem pobierania próbek. Średnia liczba bakterii amylolitycznych była istotnie wyższa w próbkach pobranych w październiku z poletek, do których aplikowano osad granulowany S2 w porównaniu do kontroli i gleby z osadem odwodnionym S1.



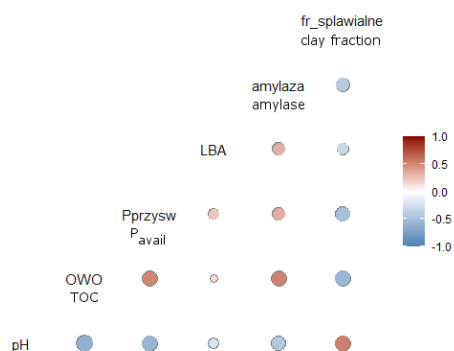
Rys. 2. A) Liczebność bakterii amylolitycznych (LBA) oraz B) aktywność amylazy w próbkach gleb pobranych z wariantów kontrolnych (K), nawożonych osadami odwodnionymi (S1-D1, S1-D2) i osadami granulowanymi (S2-D1, S2-D2)

Fig. 2. A) Amylolytic bacteria numbers (LBA) and B) amylase activity in soil samples collected from control (K) and variants fertilized with dehydrated sludge (S1-D1, S1-D2) and granular sludge (S2-D1, S2-D2)

Średnia aktywność amylaz wahała się od 0,85 do 2,18 mg Glc/(g s.m. × 24 h) odpowiednio w S1-D2 w październiku i S2-D2 w lipcu. Aktywność badanych enzymów różniła się istotnie w zależności od zabiegu i czasu pobierania próbek. Wykazano, że aktywność amylazy była istotnie wyższa w próbkach gleby pobranych w lipcu z S1-D1, S1-D2 oraz S2-D1

w porównaniu do pozostałych wariantów badawczych. Należy wspomnieć, że aktywność amylazy w S1 znacząco spadła w październiku około dwukrotnie w porównaniu do lipca, podczas gdy aktywność amylaz glebowych w S2 była na podobnym poziomie w obu terminach.

Analiza korelacji przedstawiona na rys. 3, wykazała negatywne zależności między aktywnością amylaz glebowych i pH. Ponadto odnotowano pozytywną korelację między aktywnością amylazy i zawartością OWO w glebie. Liczba bakterii amylolitycznych (LBA) była dodatnio skorelowana z zawartością fosforu przyswajalnego w glebie, natomiast ujemnie z pH gleby.



Rys. 3. Korelacja między głównymi właściwościami fizykochemicznymi gleby oraz liczbą bakterii amylolitycznych i aktywnością amylazy w próbkach gleby

Fig. 3. Correlation between the main soil physicochemical properties and the number of amylolytic bacteria and amylase activity in soil samples

Aktywność amylolityczna w glebie jest ważną częścią obiegu węgla i energii w środowisku. W opisanych badaniach zastosowanie odwodnionego i termicznie przetworzonego osadu ściekowego do gleby nasiliło aktywność bakterii i enzymów rozkładających skrobię. Dane literaturowe wskazują, że dodatek osadu ściekowego stymulował wzrost mikroorganizmów i zmieniał aktywność enzymów. Kierunek i intensywność modyfikacji zależą od rodzaju substratów, dawki i badanych enzymów [Napora i Grobelak 2014]. Ponadto aktywność mikrobiologiczna gleby jest związana z innymi czynnikami, tj. pH gleby, wilgotnością, temperaturą gleby, zawartością głównego składnika odżywczego w glebie, temperaturą powietrza i opadami atmosferycznymi [Galus-Barchan i Paśmionka 2014].

W prowadzonych badaniach uzyskano ujemną istotną korelację pomiędzy pH a aktywnością amylaz. Odczyn gleby jest ważnym parametrem, który decyduje o procesach biologicznych gleby, zdolności mikroorganizmów do wzrostu, dostępności składników odżywczych i zanieczyszczeń [Rousk i in. 2009]. Jak podają Galus-Barchan i Paśmionka [2014], bakterie tolerują głównie pH gleby w zakresie od 6,5 do 7,5, dlatego wysoka zasadowość gleby może hamować wzrost i aktywność bakterii amylolitycznych. W badaniu uzyskano dodatnią istotną korelację między OWO a aktywnością amylaz, podczas gdy nie stwierdzono istotnej korelacji między liczbą bakterii amylolitycznych a OWO. Według Jorge-Mardomingo i in. [2013] mikroorganizmy mogą zachowywać się inaczej w glebie wzbogaconej osadem ściekowym. Zastosowanie bardzo dużej dawki osadu może zmniejszyć liczbę bakterii. Zależy to od efektywności wykorzystania węgla z osadów ściekowych przez mikroorganizmy oraz ilości nietrwalej i mineralizowalnej frakcji materii organicznej

w mieszaniu gleba-osad. Ponadto rodzime mikroorganizmy mogą lepiej adaptować się w glebie o mniejszej zawartości węgla, podczas gdy duża dawka substratu organicznego może powodować stres. Jurkowski i Błaszczak [2012] wskazują, że największy wzrost poszczególnych grup mikroorganizmów występuje w określonej temperaturze i wilgotności, gdzie procesy metaboliczne przebiegają najefektywniej. W naszych badaniach aktywność mikroorganizmów amylolitycznych w związku z obróbką osadów ściekowych była zróżnicowana w zależności od okresu wegetacji. Temperatury powietrza i opady deszczu wraz z rodzajem osadu ściekowego mogą modyfikować liczbę bakterii i aktywność enzymów. Walczak i in. [2013] wskazali, że temperatura powietrza reguluje aktywność biologiczną bakterii. Jednak zbyt wysoka temperatura może hamować wzrost i powodować uszkodzenia komórek. Woda jest również ważnym czynnikiem wpływającym na liczbę i aktywność bakterii, a ich wzrost jest hamowany, gdy zawartość wody w glebie wynosi mniej niż 30%. Mikroorganizmy są wrażliwe na suszę glebową, nawet niewielka ilość wody poniżej wartości optymalnej powoduje zahamowanie ich rozwoju.

Aktywność amylolityczna może zależeć od transportu zanieczyszczeń, takich jak metale ciężkie i zanieczyszczenia organiczne. Niektóre metale, np. Ponieważ Cd, Hg nawet w minimalnym stężeniu mają silne działanie bakteriobójcze na wzrost mikroorganizmów. Jednak dostępność mikro- i makroelementów z gleby wzbogaconej jest funkcją warunków klimatycznych w okresie wegetacji, dawki osadu ściekowego i stosunku węgla do azotu [Gondek 2012]. Podsumowując, gleba na terenach zurbanizowanych charakteryzuje się specyficznymi warunkami siedliskowymi dla mikroorganizmów. Jak podają Frączak [2010] i Tyszkiewicz [2014], wszelkie zmiany właściwości gleby wpływają na relacje biotyczne między mikroorganizmami. Dlatego mikroorganizmy glebowe i aktywność enzymów są uważane za najbardziej podatne czynniki na zmianę parametrów środowiskowych.

IV. PODSUMOWANIE

Aplikacja do gleb odwodnionych i termicznie wysuszonych osadów ściekowych spowodowała zmiany w zawartości OWO oraz przyswajalnego fosforu. Zaobserwowano wyższe wartości OWO, i przyswajalnego P w glebie po aplikacji osadów odwodnionych w czerwcu, natomiast wzrost przyswajalnego P w glebie z osadami granulowanymi w październiku.

Czas pobierania próbek wpłynął na liczbę bakterii amylolitycznych i aktywność amylaz w glebie. W przypadku gleby z odwodnionymi osadami ściekowymi stwierdzono istotnie wyższą aktywność amylolityczną w czerwcu, natomiast w glebie z osadami termicznie wysuszonymi parametry te były wyższe w październiku.

Stwierdzono istotną ujemną korelację między aktywnością amylaz a pH gleby oraz dodatnią korelację między OWO i P przyswajalnym i aktywnością amylaz. Liczba bakterii amylolitycznych korelowała dodatnio z P przyswajalnym i ujemnie z pH.

BIBLIOGRAFIA

1. Błaszak M. 2013. Rozprzestrzenienie w środowisku mikroorganizmów biodegradujących symazynę. Szczecin, Wydawnictwo Uczelniane Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego. 87 ISBN 978-83-7663-164-6 <https://hdl.handle.net/20.500.12539/1725>.
2. Frączek K. 2010. Skład mikrobiocenotyczny drobnoustrojów biorących udział w procesach przemian azotu w glebie w otoczeniu składowiska odpadów komunalnych. Woda-środowisko-Obszary Wiejskie. 10 (2). 61-71.

3. Galus-Barchan A, Paśmionka I. 2014. Występowanie wybranych mikroorganizmów w glebie na obszarze Puszczy Niepołomickiej ze szczególnym uwzględnieniem grzybów pleśniowych. *Polish Journal of Agronomy*. 17. 11-17.
4. Gondek K. 2012. Wpływ nawożenia nawozami mineralnymi, obornikiem od trzody chlewnej i komunalnymi osadami ściekowymi na plon i niektóre wskaźniki jakości ziarna pszenicy jarej (*Triticum aestivum* L.). *Acta Agrophysica*. 19(2). 289-302.
5. Jezierska-Tyś S., Frąc M. 2008. Effect of sewage sludge on selected microbiological and biochemical indices of soil fertility in view of domestic and world wide studies: a review. *Acta Agrophysica*. 12(2). 393-407.
6. Jorge-Mardomingo I., Solver-Rovira P., Casermeiro M.A., de la Cruz M.T., Polo A. 2013. Seasonal changes in microbial activity in a semiarid soil after application of a high dose of different organic amendments. *Geoderma*. 206. 40-48.
7. Jurkowski M., Błaszczuk M. 2012. Charakterystyka fizjologiczno-biochemiczna bakterii fermentacji mlekowej. *Kosmos. Problemy nauk biologicznych*. 61(3), 493-504.
8. Kaźmierczak U., Milian A. 2011. Możliwości i uwarunkowania wykorzystania komunikacji osadów ściekowych do odtwarzania warstwy urodzajnej w procesie rekultywacji. *Górnictwo Odkrywkowe*. 52(1-2). 116-121.
9. Kitczak T., Czyż H. 2009. Przydatność osadów komunalnych i mieszanek trawnikowych do zadarniania gruntów bezglebowych. *Rocznik Ochrona Środowiska*. 11. 465-472.
10. Kominko H., Gorazda K., Wzorek Z. 2022. Effect of sewage sludge-based fertilizers on biomass growth and heavy metal accumulation in plants. *Journal of Environmental Management*. 305. 114417. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114417>.
11. Marando G., Jiménez P., Hereter A., Julià M., Ginovart M., Bonmati M. 2011. Effects of thermally dried and composted sewage sludges on the fertility of residual soils from limestone quarries. *Applied Soil Ecology*. 49. 234-241.
12. Michalski K. 2020. Post-industrial areas management and evaluation with a view to redevelopment - case study. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie / Politechnika Śląska*. 148. 483-495. <https://doi.org/10.29119/1641-3466.2020.148.35>.
13. Mohamed B., Olivier G., François G., Laurence A. S., Bourgeade P., Badr A.S., Lotfi A. 2018. Sewage sludge as a soil amendment in a *Larix decidua* plantation: Effects on tree growth and floristic diversity. *The Science of the total environment*. 621. 291-301. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.283>.
14. Nopora A., Grobelak A. 2014. Wpływ osadów ściekowych na aktywność mikrobiologiczną i biochemiczną gleby. *Inżynieria i Ochrona Środowiska*. 4. 619-630.
15. Nawaz M.F., Bourrié G., Trolard F. 2013. Soil compaction impact and modelling. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. 33. 291-309. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0071-8>.
16. Niedbała M., Smolińska B., Król K. 2010. Zanieczyszczenia gleb miejskich miasta Łodzi wybranymi pierwiastkami śladowymi. *Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej. Chemia Spożywcza i Biotechnologia*. 74. 29-38.
17. Rodina A. 1968. *Mikrobiologiczne metody badania wód*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. Warszawa.
18. Rousk J., Brookes P.C., Baath E. 2010. Investigating the mechanisms for the opposing pH relationships of fungal and bacterial growth in soil. *Soil Biology & Biochemistry*. 42. 926-934.
19. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Dz.U. 2015 poz. 257).

20. Sarkodie E.K., Jiang L., Li K., Yang J., Guo Z., Shi J., Deng Y., Liu H., Jiang H., Liang Y., Yin H., Liu X. 2022. A review on the bioleaching of toxic metal(loid)s from contaminated soil: Insight into the mechanism of action and the role of influencing factors. *Frontiers in microbiology*, 13. 1049277. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.1049277>.
21. Schinner F., Mersi von W. 1990. Xylanase-, CM-cellulase- and invertase activity in soil, an improved method. *Soil Biology and Biochemistry*. 22. 511-515.
22. Szymków J., Świtecka M. 2013. Granulacja zhygienizowanych osadów ściekowych. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*. 3. 262-263.
23. Tyszkiewicz Z. 2014. Zróżnicowanie zbiorowisk grzybów wybranych gleb odwodnionych siedlisk bagiennych w dolinie rzeki Biebrzy. *Inżynieria Ekologiczna*. 40. 55-64.
24. Walczak M., Burkowska A., Brzezinska M., Kalwasińska A. 2013. Podstawy mikrobiologii w teorii i praktyce. Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Toruń.
25. Wiater J., Łukowski A., Fitko H., Stelmach S., Sobolewski A., Figa J. 2003. Wstępne badania aplikacyjne granulowanych nawozów organiczno-mineralnych na bazie osadów ściekowych. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Inżynieria Środowiska*. 16(2). 233-237.
26. Wolski K., Kotecki A., Spik Z., Chodak T., Bujak H. 2006. Ocena wstępna możliwości wykorzystania kilkunastu gatunków traw w stabilizacji skarp obwałowań składowiska „Żelazny Most” w Rudnej. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu. Rolnictwo*. 545. 293-299.

AMYLOLYTIC ACTIVITY OF SOIL DEGRADED AFTER SEWAGE SLUDGE APPLICATION

Summary

The aim of this study was to analyse the effect of dehydrated and thermally treated sewage sludge on the amylolytic activity of degraded soils. Amylase activity and amylolytic bacterial abundance in the rhizosphere of grasses were monitored twice during the growing season in June and October in the first year after sludge application. The highest number of amylolytic bacteria was observed in October from variants to which S2 was applied at a rate of 29 t DM/ha and was 44.62×10^6 cfu/g DM of soil. The amylolytic activity in soil treated with S1 the highest average value has been reached in June - 2.12 mg Glc/g d.m. \times 24 h, while in soil treated with S2 it was stable during in studied period from 1.65 to 2.18 mg Glc/g d.m. \cdot 24 h.

Keywords: amylase, granular sludge, mechanically dehydrated sludge, amylolytic bacteria

