

WPŁYW ŚMIETNIKÓW MIEJSKICH NA WŁAŚCIWOŚCI CHEMICZNE I BIOCHEMICZNE GLEB

Barbara Futa¹

¹ Instytut Gleboznawstwa, Inżynierii i Kształtowania Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin, e-mail: barbara.futa@up.lublin.pl

STRESZCZENIE

W pracy podjęto próbę oceny oddziaływania śmietników miejskich na wybrane właściwości chemiczne i biochemiczne gleb. Oceny tej dokonano na podstawie wybranych wskaźników chemicznych i biochemicznych odzwierciedlających specyficzne procesy zachodzące w środowisku glebowym. Badaniami objęto pięć osiedlowych śmietników miejskich zlokalizowanych na terenie miasta Łęczna w województwie lubelskim. Odniesieniem były próbki glebowe pobrane z terenu trawnika usytuowanego w odległości około 800–1200 m od wytypowanych śmietników. W glebach wokół wszystkich testowanych śmietników stwierdzono kilkakrotnie większą aktywność dehydrogenaz, fosfataz i ureazy oraz kilkakrotnie większą zawartość azotu amonowego i przyswajalnych form fosforu niż w glebie z trawnika. Wiązało się to z dopływem do środowiska glebowego odpadów pochodzenia organicznego. Wykazano również tendencję do nagromadzania metali ciężkich w glebach otaczających wytypowane śmietniki.

Słowa kluczowe: śmietniki miejskie, gleba, aktywność enzymatyczna, właściwości chemiczne.

EFFECTS OF MUNICIPAL REFUSE CONTAINER SHEDS ON ECOCHEMICAL CONDITION OF SOILS

ABSTRACT

In this study, an attempt was made to assess the effects of municipal refuse container sheds on some chemical and biochemical properties of soils. This assessment was made on the basis of selected chemical and biochemical indicators reflecting specific processes of the soil ecosystem. The study covered five residential district refuse sheds located within the town of Łęczna in Lubelskie Voivodeship. Soil samples from a plot located 800–1200 m from the selected refuse sheds served as reference. The activity of dehydrogenases, phosphatases and urease and content of ammonia nitrogen and absorbable forms of nitrogen were observed to be several times higher in soils around the studied sheds than in the reference soil. This was related to the flow of waste of organic origin into the soil environment. Tendencies of heavy metal accumulation in soils surrounding the studied sheds were also demonstrated.

Keywords: municipal refuse container, soil, enzymatic activity, chemical properties.

WSTĘP

Wytwarzanie odpadów jest charakterystyczną cechą działalności człowieka. Znowelizowana ustawa o utrzymaniu czystości i porządku w gminach [Dz.U. 2011 nr 152 poz. 897] wprowadza zmiany w zasadach gospodarowania odpadami. Jednym z głównych celów tej ustawy jest upowszechnienie prowadzenia selektywnego zbierania odpadów komunalnych „u źródła”. Mimo obowiązującego prawa, postępu wiedzy i wzrostu świadomości ekologicznej społeczeństwa odpady składowane są często chaotycznie, bez se-

gregacji. Do osiedlowych śmietników nadal trafiają odpady niebezpieczne tj.: przeterminowane leki, zużyte świetlówki, baterie, akumulatory, środki owadobójcze i dezynfekcyjne stosowane w gospodarstwach domowych i wiele innych. Odpady te stanowią szczególne zagrożenie dla środowiska [Bielińska, Mocek-Płóćciniak 2009; Juda-Rezler, Manczarski 2010; Barabasz i in. 2013]. Depozycja zanieczyszczeń w środowisku glebowym często wywołuje niepożądane zmiany w naturalnych procesach biochemicznych. Odpady spożywcze: roślinne i zwierzęce oraz odpady tzw. zielone są podatne na niekontrolo-

wane procesy biochemicznego rozkładu (gnicie), w wyniku których do środowiska emitowane są substancje toksyczne i odoroczynne (złownone), o bardzo niskim progu wyczuwalności [Juda-Rezler, Manczarski 2010]. Na oddziaływanie substancji toksycznych zawartych w odpadach narażona jest przede wszystkim powierzchniowa warstwa gleby [Niedźwiecki i in. 2004].

Aktywność enzymów glebowych odzwierciedla antropogeniczne zmiany w środowisku wywołane przez czynniki stresogenne oraz poziom zanieczyszczenia środowiska, który zagraża organizmom żywym [Bielińska i in. 2014]. Biomonitoring gleb terenów zurbanizowanych z wykorzystaniem analiz biochemicznych oraz wskaźników chemicznych pozwala na kompleksową ocenę zmian zachodzących w środowisku glebowym pod wpływem czynników antropogenicznych [Bielińska i in. 2009, 2014; Bielińska 2012].

Celem pracy była ocena oddziaływania śmietników miejskich na właściwości chemiczne i aktywność enzymatyczną gleb. Oceny tej dokonano na podstawie wybranych wskaźników chemicznych i biochemicznych, które odzwierciedlają specyficzne procesy zachodzące w środowisku glebowym i opisują aktualny ekochemiczny stan gleb.

METODYKA BADAŃ

Badaniami objęto gleby w bezpośrednim sąsiedztwie pięciu osiedlowych śmietników miejskich zlokalizowanych na terenie miasta Łęczna (powiat łęczyński, województwo lubelskie): S1 – śmietnik przy ulicy Staszica 13 funkcjonujący od około 25 lat, S2 – śmietnik przy ulicy Wierzbowej 11 funkcjonujący od około 20 lat, S3 – śmietnik przy ulicy Wiosennej 3 funkcjonujący od około 15-18 lat, S4 – śmietnik przy ulicy Jaśminowej 3 funkcjonujący od 15 lat, S5 – śmietnik przy ulicy Szkolnej 10 funkcjonujący od około 10 lat. Odniesieniem były próbki glebowe pobrane z terenu trawnika usytuowanego w odległości kilkuset metrów (około 800-1200 m) od wytypowanych śmietników: K 6 – obiekt kontrolny. W miejscach objętych badaniami przez ostatnie 10–25 lat stały kontenery przeznaczone do zbiórki zmieszanych odpadów komunalnych, a od 1 lipca 2013 roku śmietniki przeznaczone na tzw. „frakcję mokrą”.

Skład morfologiczny odpadów składowanych w analizowanych śmietnikach był zróżnicowany, ale frakcją dominującą były odpady organiczne,

głównie kuchenne, a także papier, tektura, tworzywa sztuczne, szkło, w tym: opakowania po detergentach, kosmetykach i lekach oraz metale, tekstylia, odpady sanitarne.

Gleby z terenów osiedlowych śmietników miejskich oraz powierzchni kontrolnej są to gleby płowe typowe o składzie granulometryczny pyłu gliniastego oraz zawartości węgla organicznego $9,1 \text{ g kg}^{-1}$.

Do oceny stopnia oddziaływania śmietników miejskich na właściwości chemiczne i biochemiczne gleby posłużyły zbiorcze próbki pobrane z powierzchniowej (0-20 cm) warstwy gleb w ich pobliżu oraz ze środkowej części trawnika. Analizowana próbka glebowa była średnią z 5 próbek pobranych z każdego obiektu.

W badanych próbkach glebowych oznaczono odczyn gleb – pH w H_2O i w 1 mol dm^{-3} KCl oraz zawartości azotu amonowego i azotu azotanowego, przyswajalnych form fosforu wg Egnera-Riehma. Oznaczenia właściwości chemicznych gleb wykonano według metodyki przyjętej w opracowaniach gleboznawczych [Mocek, Drzymala 2010]. Ponadto określono całkowitą zawartość metali ciężkich (Zn, Pb, Cd, Cu) metodą spektrometrii emisyjnej na aparacie Leeman Labs (PS 950) ze wzbudzeniem ICP w argonie. W ramach analiz biochemicznych oznaczono aktywność dehydrogenaz [Thalman 1968], fosfataz [Tabatabai, Bremner 1969] i ureazy [Zantua, Bremner 1975]. Aktywność dehydrogenaz, fosfataz i ureazy analizowano w glebie o naturalnej wilgotności, a wyniki przeliczano na suchą masę gleby, oznaczając wilgotność badanej gleby.

Wszystkie oznaczenia wykonywano w trzech równoległych powtórzeniach. Uzyskane wyniki poddano ocenie statystycznej [Maliński 2004; StatSoft 2006]. Przyjęto poziom istotności stosowany najczęściej w badaniach przyrodniczych, tj. $\alpha = 0,05$ (przy prawdopodobieństwie zdarzenia $p = 0,95$).

WYNIKI I DYSKUSJA

Badane gleby charakteryzowały się odczynem obojętnym i zasadowym, z pH w H_2O od 7,01 do 8,07 oraz w 1 mol dm^{-3} KCl od 6,78 do 7,82. Gleby w sąsiedztwie śmietników (obiekty S1–S5) cechowały się wyższymi wartościami pH niż gleba pochodząca z terenu trawnika (obiekt K6), (tab. 1). Stwierdzona alkalizacja gleb w bezpośrednim otoczeniu śmietników mogła się wią-

zać z obecnością węgla wapnia pochodzenia antropogenicznego. Węgiel wapnia jest składnikiem zaprawy murarskiej, która mogła zostać wprowadzona do gleb wraz z gruzem budowlanym [Greinert 2000; Gąsiorek, Niemyska-Łukaszyk 2004; Lis, Pasieczna 2005]. Zdaniem Greinerta [2000] obecność odpadów budowlanych w glebach miejskich powoduje ich wzbogacenie w tzw. węgiel wtórny. Podwyższenie wartości pH gleb w sąsiedztwie śmietników mogło być również spowodowane dopływem do gleb odpadów zawierających metale ciężkie i pyły alkaliczne, co potwierdzają niniejsze badania (tab. 2) oraz dane z literatury przedmiotu [Olszowska 1997; Januszek 1999].

Zawartość azotu amonowego w badanych glebach wahała się w szerokich granicach od 18,69 do 72,45 mg·kg⁻¹ (tab. 1). Ilość N-NH₄⁺ w glebach usytuowanych w bezpośrednim sąsiedztwie wytypowanych śmietników była wyższa niż glebie pochodzącej z trawnika. Statystycznie istotne różnice stwierdzono w wyłącznie przypadku gleb pochodzących z otoczenia obiektów S1-S3. Największą zawartością N-NH₄⁺ cechowała się gleba w pobliżu obiektu S1 – śmietnika funkcjonującego od około 25 lat. Mogło to być związane z dużą niejednorodnością składu morfologicznego i chemicznego odpadów dostających się do badanych gleb, a także z czasem funkcjonowania poszczególnych śmietników i ilością zdeponowanych zanieczyszczeń w glebie [Bielińska, Mocalek-Płociniak 2009]. Zawartość tego składnika w glebie położonej w sąsiedztwie śmietnika S1 była prawie czterokrotnie większa niż w glebie z terenu trawnika (tab. 1).

Ilość azotu azotanowego w glebach otaczających śmietniki wahała się w szerokich granicach: 5,71–11,73 mg·kg⁻¹ i była istotnie mniejsza

niż w glebie z terenu trawnika (tab. 1), co wiązało się w dużej mierze z stanem ekochemicznym środowiska glebowego determinującym aktywność mikroorganizmów i poziom sorpcji biologicznej. Przyczyną niskiej zawartości N-NO₃⁻ w glebach przy śmietnikach mogły być czynniki wpływające negatywnie na proces nityfikacji. Proces nityfikacji jest zaliczany do szczególnie wrażliwych na działanie antropogenicznych czynników stresowych, np. zanieczyszczenia metalami ciężkimi [Kucharski 2000; Wyszowska 2002]. Zdaniem Kotowskiej i Włodarczyk [2005] azotany (V) są znacznie bardziej narażone na straty niż związki amonowe. Poza stratami w postaci gazowej (NO, N₂O i N₂) znaczną rolę odgrywa wymywanie z gleby przez wody opadowe oraz łatwość migracji dyfuzyjnej [Kotowska, Włodarczyk 2005].

Zawartość przyswajalnego fosforu, wg Egnera-Riehma, w glebach usytuowanych w bezpośrednim sąsiedztwie śmietników była istotnie wyższa niż glebie pochodzącej z trawnika. Ilość tego składnika w badanych glebach kształtowała się w zakresie zawartości bardzo niskich do średnich: od 15,25 mg P·kg⁻¹ (obiekt K6 – trawnik) do 48,65 mg P·kg⁻¹ (obiekt S1), (tab. 1). Wykazany w niniejszych badaniach wzrost zawartości przyswajalnych form fosforu w glebach w bezpośrednim sąsiedztwie śmietników wiązał się z wprowadzaniem tego składnika do środowiska glebowego wraz z odpadami. Fosfor jest uznawany za wskaźnik bytowania człowieka i jednocześnie wskaźnik antropogenizacji gleby [Greinert 2003].

Zawartość metali ciężkich w glebach badanych obiektów kształtowała się następująco: od 20,3 do 47,8 mg Zn·kg⁻¹, od 7,5 do 17,1 mg Pb·kg⁻¹, od 0,11 do 0,45 mg Cd·kg⁻¹ oraz od 4,5

Tabela 1. pH, zawartość azotu amonowego (N-NH₄⁺) i azotanowego (N-NO₃⁻) oraz przyswajalnych form fosforu (P) w badanych glebach

Table 1. pH, content of ammonium nitrogen (N-NH₄⁺), nitrate nitrogen (N-NO₃⁻) and available phosphorus (P) in soils

Obiekt	pH		N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	P
	H ₂ O	KCl			
S1	8,07	7,82	72,45	5,71	46,75
S2	7,92	7,75	36,19	8,95	38,41
S3	7,63	7,48	33,96	6,54	27,02
S4	7,38	7,26	24,38	7,44	26,97
S5	7,17	7,09	21,87	11,73	23,27
K6	7,01	6,78	18,69	18,23	15,25
	NIR _{0,05}		10,24	2,29	7,06

Tabela 2. Zawartość metali ciężkich w badanych glebach**Table 2.** Content of heavy metals in soils

Obiekt	Zn	Pb	Cd	Cu
	[mg·kg ⁻¹]			
S1	48,7	17,1	0,45	20,9
S2	43,2	15,6	0,39	9,9
S3	31,5	12,4	0,29	10,1
S4	30,2	10,8	0,33	9,6
S5	29,9	10,1	0,23	6,4
K6	20,3	7,5	0,11	4,5

Tabela 3. Aktywność enzymatyczna badanych gleb**Table 3.** Enzymatic activity of soils

Obiekt	Dehydrogenazy [cm ³ H ₂ ·kg ⁻¹ ·d ⁻¹]	Fosfatazy [mmol PNP·kg ⁻¹ ·h ⁻¹]	Ureaza [mg N-NH ₄ ⁺ ·kg ⁻¹ ·h ⁻¹]
S1	40,4	134,7	35,8
S2	31,8	79,5	30,1
S3	32,1	85,6	31,4
S4	30,2	80,9	29,9
S5	27,3	89,2	25,4
K6	18,8	66,1	14,6
NIR _{0,05}	4,53	8,04	4,37

do 20,9 mg Cu·kg⁻¹ (tab. 2). Zgodnie z kryteriami zaproponowanymi przez Kabatę-Pendias i in. [1995] gleby badanych obiektów, zarówno w sąsiedztwie śmietników, jak i z terenu trawnika cechowały się naturalną zawartością metali ciężkich (0 stopień zanieczyszczenia), (tab. 2). Niemniej jednak ilości tych pierwiastków w glebach z otoczenia śmietników były większe niż w glebie kontrolnej (trawnik), co wskazuje na tendencję nagromadzania metali ciężkich w miejscach gromadzenia odpadów. Największą zawartość metali ciężkich stwierdzono w glebie w sąsiedztwie najdłuższej funkcjonującego śmietnika (obiekt S1), (tab. 2). Zróżnicowanie zawartości metali ciężkich w glebach w otoczeniu śmietników związane jest z dopływem odpadów do środowiska, odmiennych pod względem składu, ilości, pochodzenia, czasu składowania, a także przemieszczania przestrzennego [Greinert 2003; Zimny 2005].

W glebach w bezpośrednim sąsiedztwie śmietników aktywność wszystkich badanych enzymów była istotnie większa niż w glebie z obszaru trawnika (tab. 3). Największą aktywnością wszystkich analizowanych enzymów cechowała się gleba pochodząca z otoczenia obiektu S1, śmietnika funkcjonującego od około 25 lat. Aktywność badanych enzymów w glebie położonej

w sąsiedztwie śmietnika S1 była ponad dwukrotnie większa niż w glebie kontrolnej (tab. 3).

Występowanie zwiększonej aktywności biologicznej gleb w miejscach gromadzenia odpadów komunalnych stwierdzili także inni autorzy [Frączak 2004; Niedźwiecki i in. 2004; Bielińska, Mocek-Płóćiniak 2009]. Obserwowane nasilenie aktywności enzymatycznej gleb w sąsiedztwie osiedlowych śmietników wiązało się z bogactwem związków organicznych zawartych w odpadach, co uruchamiając dodatkowe źródła energii pobudza rozwój mikroorganizmów i stymuluje biosyntezę enzymów [Fierer i in. 2003].

Świeża materia organiczna zarówno aktywizuje działalność metaboliczną drobnoustrojów, jak również wpływa dodatnio na tempo rozkładu ksenobiotyków [Bielińska, Mocek-Płóćiniak 2009]. Dopływ do środowiska glebowego odpadów komunalnych przyczynia się do naruszenia równowagi biologicznej w glebie poprzez zwiększenie liczebności mikroorganizmów, co powoduje do podwyższenie aktywności enzymatycznej i do zmiany metabolizmu gleby [Niedźwiecki i in. 2004].

Gleba jako układ otwarty, do którego dostają się różne zanieczyszczenia, narażona jest na ciągły wpływ antropopresji. Przemawia to za

dalszą kontynuacją badań oceniających skutki stopniowego nagromadzenia się zanieczyszczeń w glebach miejskich w bezpośrednim sąsiedztwie śmietników osiedlowych.

WNIOSKI

1. Obserwowany wzrost wartości pH gleb miejskich w otoczeniu osiedlowych śmietników wiązał się z dopływem do gleb odpadów zawierających metale ciężkie i pyły alkaliczne oraz odpadów budowlano-remontowych bogatych w węglan wapnia.
2. Wzrost zawartości azotu amonowego i przyswajalnych form fosforu w glebach przy śmietnikach świadczy o wprowadzeniu tych składników do środowiska glebowego wraz z odpadami.
3. Gleby wszystkich badanych obiektów cechowały się naturalną zawartością analizowanych metali ciężkich (Zn, Pb, Cd i Cu), aczkolwiek ilość tych pierwiastków była większa w glebach w otoczeniu śmietników niż na terenie trawnika. Może to wskazywać na tendencję nagromadzenia metali ciężkich w miejscach gromadzenia odpadów.
4. Obserwowany wzrost aktywności enzymatycznej gleb w bezpośrednim sąsiedztwie śmietników wynikał z dopływu do gleb odpadów pochodzenia organicznego.
5. Przeprowadzone badania wykazały, że określenie zmian właściwości chemicznych i aktywności enzymatycznej w glebach położonych w pobliżu miejskich śmietników osiedlowych dostarcza informacji o stanie środowiska glebowego.

LITERATURA

1. Barabasz W., Pikulicka A., Galus-Barchan A., Korta-Peplowska M., Szmigiel A., 2013. Obiekty komunalne jako źródło drobnoustrojów zanieczyszczających wody, gleby i powietrze. Monografia Gospodarka odpadami komunalnymi, t. IX, red. K. Szymański, 279–288.
2. Bielińska E.J., 2012. The relationship between the activity of dehydrogenases and the content of polycyclic aromatic hydrocarbons in urban soils. Monograph, Editors: Jianming Xu, Jianjun Wu, Yan He: "Functions of Natural Organic Matter in Changing Environment", Zhejiang University Press, Springer, 341–343.

3. Bielińska E.J., Futa B., Mocek-Płóćiniak A., 2014. Enzymy glebowe jako wskaźniki jakości i zdrowotności gleby. Towarzystwo Wydawnictw Naukowych „LIBROPOLIS”, Lublin 2014.
4. Bielińska E.J., Ligęza S., Chudecka J., Tomaszewicz T., 2009. Soil Transformations in an Urban Landscape. Monograph, edited by Prof. Bolesław Bieniek: "Soil of Chosen landscapes", ISBN 978-83-929462-4-3, Univ. Of Warmia and Mazury in Olsztyn, 85–98.
5. Bielińska E.J., Mocek-Płóćiniak A., 2009. Impact of Uncontrolled Waste Dumping on Soil Chemical and Biochemical Properties. Archives of Environmental Protection, 35, 3, 101–107.
6. Dz.U. 2011 nr 152 poz. 897. Ustawa z dnia 1 lipca 2011 r. o zmianie ustawy o utrzymaniu czystości i porządku w gminach oraz niektórych innych ustaw.
7. Fierer N., Schimel J.P., Holden P., 2003. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles. Soil Biol. Biochem. 35, 167–176.
8. Frączak K., 2004. Oddziaływanie składowiska odpadów komunalnych w Tarnowie Krzyżu na liczebność grzybów w środowisku glebowym ze szczególnym uwzględnieniem grzybów toksynotwórczych. Acta Agraria et Silvestria, ser. Agraria 42, 87–95.
9. Gąsiorek M., Niemyska-Lukaszuk J., 2004. Kadm i ołów w glebach antropogenicznych ogrodów klasztornych Krakowa. Roczn. Glebozn. 55, 1, 127–134.
10. Greinert A., 2000. Gleby leśne zielonogórskich lasów komunalnych jako przykład antropogenizacji środowisk wokół miejskich. W: Inżynieria Środowiska nr 10. Zeszyty Naukowe nr 124. Zielona Góra, 28–37.
11. Greinert A., 2003. Studia nad glebami obszaru zurbanizowanego Zielonej Góry. Praca habilitacyjna. Uniwersytet Zielonogórski, 21–42.
12. Januszek K. 1999: Aktywność enzymatyczna wybranych gleb leśnych Polski południowej w świetle badań polowych i laboratoryjnych. Zesz. Nauk. AR Kraków, Seria Rozprawy, 250.
13. Juda-Rezler K., Manczarski P., 2010. Zagrożenia związane z zanieczyszczeniem powietrza atmosferycznego i gospodarką odpadami komunalnymi. Nauka, 4, 97–106.
14. Kotowska U., Włodarczyk T., 2005. Przemiany mineralnych form azotu w glebie nawadnianej oczyszczonymi ściekami. Acta Agrophysica, Rozprawy i Monografie (2), Lublin 2005.
15. Kucharski J., 2000. Znaczenie procesu nitryfikacji. W: Siwicki A. (red.) Mikrobiologia na przełomie wieków, UWM Olsztyn, 37–40.
16. Lis J., Pasieczna A., 2005. Badania geochemiczne w Poznaniu i okolicach. Prz. Geol. 53 (6), 470–474.
17. Maliński M., 2004. Weryfikacja hipotez statystycznych.

- ných wspomaganą komputerowo. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004.
18. Mocek A., Drzymała S., 2010. Geneza, analiza i klasyfikacja gleb. Wyd. UP Poznań.
 19. Niedźwiecki E., Nowak A., Nowak J., Kłódka D., Meller E., Smolik B., 2004. Oddziaływanie niekontrolowanych wysypisk odpadów na właściwości chemiczne oraz aktywność mikrobiologiczną gleby. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 501, 325–334.
 20. Olszowska G., 1997. Aktywność enzymatyczna gleb leśnych w rejonie oddziaływania emisji huty cynku i ołowiu „Miasteczko Śląskie”. Prace Inst. Bad. Leśn. Ser. A, 834, 107–130.
 21. Kabata-Pendias A., Piotrowska M., Motowicka-Terlak T., Maliszewska-Kordybach B., Filipiak K., Krakowiak A., Pietruch C., 1995. Podstawy oceny chemicznego zanieczyszczenia gleb. Metale ciężkie, siarka i WWA. Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa.
 22. StatSoft, 2006. Elektroniczny podręcznik statystyki PL. Kraków, WEB: <http://www.statsoft.pl/textbook/stathome.html>.
 23. Tabatabai M.A., Bremner J.M., 1969. Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity. Soil Biol. Biochem. 1, 301–307.
 24. Thalmann A., 1968. Zur Methodik der Bestimmung der Dehydrogenase Aktivität in Boden mittels Triphenyltetrazoliumchlorid (TTC). Landwirtsch. Forsch. 21, 249–258.
 25. Wyszowska J., 2002. Biologiczne właściwości gleby zanieczyszczonej chromem sześciowartościowym. Rozprawy i Monografie, UWM Olsztyn, 65.
 26. Zantua M.I., Bremner J.M., 1975. Comparison of methods of assaying urease activity in soils. Soil Biol. Biochem. 7, 291–295.
 27. Zimny H., 2005. Ekologia miasta. Agencja Reklamowo-Wydawnicza Arkadiusz Gregorczyk. Warszawa 2005.