

Łukasz Jurczyk

WPLYW ODCIEKÓW ZE SKŁADOWISKA ODPADÓW KOMUNALNYCH W KOZODRZY NA WZROST PIEPRZYCY SIEWNEJ *LEPIDIUM SATIVUM* (L.)

Streszczenie. W Polsce najczęstszym sposobem unieszkodliwiania odpadów jest ich składowanie. Wiąże się zawsze z ryzykiem środowiskowym, a jednym z podstawowych zagrożeń jest generowanie odcieków składowiskowych. Ocieki, ze względu na proces powstawania i złożony skład, mogą być w różnym stopniu toksyczne. Najczęściej toksyczność odcieków bada się metodami fizykochemicznymi, ale pełny obraz działania można uzyskać jedynie przez testowanie na wybranych organizmach. W pracy badano wpływ skumulowanej przez 10 dni dawki odcieków ze składowiska w Kozodrzy (woj. podkarpackie) na wzrost i rozwój pieprzycy siewnej *Lepidium sativum* (L.). Roślina okazała się relatywnie odporna na toksyczne działanie odcieków; stężenie 100% powodowało całkowite zahamowanie wzrostu, ale koncentracja hamująca kiełkowanie 50% roślin (*EC50*) wyniosła maksymalnie 50,8% w 8 dniu, a hamująca wzrostu korzenia wyniosła 65,17% w 10 dniu (średnio 58,11%).

Słowa kluczowe: toksyczność, ocieki składowiskowe, *Lepidium* sp.

WSTĘP

Jednym z niepożądanych skutków ubocznych gwałtownego rozwoju gospodarczego i eksplozji demograficznej, jaką obserwuje się na świecie od drugiej połowy XX wieku jest niekontrolowany wzrost ilości produkowanych odpadów. Problem ten dotyczy w równym stopniu odpadów przemysłowych jak i komunalnych. Przeciętny mieszkaniec Wspólnoty Europejskiej wytwarza ponad 500 kg odpadów komunalnych w ciągu roku, jednak w niektórych krajach europejskich ilość ta sięga nawet ponad 800 kg/a. Ilość odpadów generowanych rocznie przez polskiego obywatela wyniosła w 2011 roku 316 kg, co w skali kraju daje niebagatelną masę około 10 mln ton, jednak tylko niewielka ilość tych odpadów jest racjonalnie zagospodarowywana, a aż 74% unieszkodliwia się przez składowanie na 833 składowiskach odpadów. Mieszkaniec województwa podkarpackiego wytwarza statystycznie 198 kg odpadów, co jest wynikiem charakterystyki socjoekonomicznej regionu (wiejski, niewielkie dochody), ale co należy podkreślić, również skuteczności odbioru i segregacji odpadów (np. zaledwie 0,4% z 415 tys. ton odpadów zostało unieszkodliwionych w spalarniach i kompostowniach) [Rocznik Statystyczny 2011].

Składowanie odpadów komunalnych, nawet na odpowiednio przygotowanym i prawidłowo funkcjonującym składowisku, wiąże się zawsze z potencjalnym ryzykiem środowiskowym. Spośród podstawowych zagrożeń wymienia się: sanitarne

– związane z obecnością patogenów, zapylenie, powstawanie uciążliwych odorów, czy gazu składowiskowego. Do najgroźniejszych aspektów funkcjonowania składowiska odpadów zaliczyć należy też powstawanie odcieków składowiskowych [Koc-Jurczyk, Różak 2011].

Odcieki składowiskowe powstają w wyniku infiltracji opadów atmosferycznych, spływów powierzchniowych, wód gruntowych oraz wody zawartej w odpadach, do składowiska i przez jego złoża. W tym czasie do roztworu wodnego uwalniane są liczne związki chemiczne, będące produktami złożonego, wielofazowego, tlenowo-beztlenowego procesu rozkładu biologicznego i chemicznego. Z powodu wysokich ładunków wielu rodzajów zanieczyszczeń, odcieki ze składowisk komunalnych uważane są powszechnie za o jedno z najsilniej oddziałujących na środowisko ścieków [El-Fadel i in. 2002].

Charakteryzując skład odcieków możemy wyróżnić cztery główne grupy zanieczyszczeń, jakie zawierają: rozpuszczone związki organiczne, związki nieorganiczne, metale i związki określane jako ksenobiotyki. Ilość i skład tych związków zmieniają się wraz z wiekiem składowiska.

Odcieki charakteryzują się podwyższonymi parametrami biologicznego (BZT) i chemicznego (ChZT) zapotrzebowania na tlen. W procesach przemian biochemicznych składniki organiczne zawarte w odpadach podlegają hydrolizie, następnie rozkładane są do kwasów organicznych, a na ostatnim etapie do gazów. Wraz z wiekiem spada ilość związków biodegradowalnych, a rośnie związków trudno rozkładalnych, takich jak kwasy humusowe czy fulwowe [Kulikowska 2009]. Proces ten powoduje, że odcieki na starych składowiskach są trudno degradowane. Z kolei po zamknięciu składowiska substancje wymywane są ze złoża odpadów w coraz mniejszej ilości, a odcieki ulegają rozcieńczeniu, pomimo ograniczonego przez zabezpieczenie korony dostępu wody.

Spośród związków mineralnych obecnych w odciekach, najbardziej charakterystyczne są znaczne ilości azotu mineralnego występującego głównie w postaci soli i jonów amonowych, które są szczególnie groźne wobec organizmów wodnych, mogą być też prekursorami bardziej złożonych związków toksycznych. Stężenia metali w odciekach są z reguły niższe niż w ściekach miejskich. Spośród metali znajdujących się w odciekach w największych ilościach występuje żelazo, natomiast toksyczne dla organizmów metale ciężkie występują w ilościach śladowych. Podwyższonej ilości metali ciężkich możemy spodziewać się natomiast w składowiskach młodych, w czasie kwaśnej fazy fermentacji, oraz gdy odpady zawierają znaczne ilości chlorowanych węglowodorów. Również związki zaliczane do ksenobiotyków z reguły występują w niewielkich koncentracjach. Jednak wśród tych substancji można wymienić wiele niebezpiecznych jak: pestycydy, węglowodory aromatyczne, fenole [Slack i in. 2005].

Objętość odcieków oraz ich skład chemiczny może znacznie się różnić między składowiskami, a nawet poszczególnymi kwaterami tego samego składowiska. Zależą one w największym stopniu od wieku składowiska odpadów i bilansu wody, ale również składu, rozdrobnienia i sposobu deponowania odpadów, warunków w łożu składowiska, a wreszcie techniki rekultywacji [El-Fadel i in. 2002]. Jakkolwiek złożoność składu odcieków nie pozwala dokładnie stwierdzić, która z substancji w nich

zawartych powoduje najwyższy efekt toksyczny, a wiele z nich występuje w ilościach śladowych, jako mieszanina mogą działać addytywnie lub synergistycznie [Slack i in. 2005, Dyguś i in. 2012].

Jednym z głównych problemów związanym z zagospodarowaniem odcieków na składowiskach odpadów komunalnych jest ich duża objętość, rosnąca jeszcze w czasie okresów wzmożonych opadów atmosferycznych. Podejmując próby jej zmniejszenia, rozdeszczowuje się odcieki na koronie składowiska, a w obiektach posiadających bardziej zaawansowane technologicznie instalacje, zagęszcza z wykorzystaniem odwróconej osmozy lub wyparek. Warto jednak zauważyć, że są to działania powodujące głównie ubytek wody, natomiast zagęszczone substancje toksyczne powracają na składowisko.

Toksyczność odcieków wobec danego organizmu testowego wcale jednak nie musi być oczywista. Stężenie substancji toksycznych w odciekach z różnych składowisk może znacznie się różnić, wybrane substancje ekstrahowane są z próbek pochodzących z jednych składowisk w dużych stężeniach, podczas gdy na innych nie występują wcale.

W badaniach toksyczności podstawowe znaczenie ma precyzyjny dobór stężenia danej substancji (w tym przypadku mieszaniny), którym traktowany będzie organizm testowy. W studiach nad odpowiedzią na poziomie metabolicznym, ekspresji genów czy uszkodzeń materiału genetycznego (genotoksyczności) dobiera się z reguły dawkę toksykanta tak, aby większość organizmów testowych przeżywała, ale przy możliwie dużym efekcie toksycznym (stężenie subletalne).

Celem pracy było określenie toksycznego wpływu odcieków surowych pobranych z określonej lokalizacji (składowiska odpadów komunalnych w Kozodrzy) na wzrost i rozwój organizmu testowego – pieprzicy siewnej (*Lepidium sativum* L.; Brassicaceae) w teście subchronicznym trwającym 10 dni. W pracy badano zależność między różnymi stężeniami odcieków a efektem uzyskiwanym w poszczególnych dniach trwania eksperymentu.

METODY BADAŃ

Badane w pracy odcieki zostały pobrane w objętości 150 dm³, we wrześniu 2011 roku, z instalacji odprowadzającej je ze zbiornika odcieków, znajdującego się na terenie składowiska odpadów komunalnych w Kozodrzy (woj. Podkarpackie; 50°07'09"N, 21°37'08"E). Odcieki przeznaczone do badań technologicznych przechowywano w laboratorium w szczelnych zbiornikach w temperaturze pokojowej ≈20°C. Próbkę pobraną do badań toksykologicznych poddano analizie pod względem stężenia azotu amonowego oraz zawartości związków organicznych, wyrażonych jako ChZT i BZT₅, według procedury proponowanej przez Hermanowicza i wsp. [Hermanowicz i in. 1999]. Następnie dokonano serii rozcieńczeń odcieków surowych w wodzie wodociągowej uzyskując kolejno: 100, 75, 50, 25, 12, 6 oraz 3 %. W celu uproszczenia modelu laboratoryjnego i uniknięcia oddziaływania ze sobą składników złożonej mieszaniny odcieków ze składnikami gleby lub jej zawiesiny, zrezygnowano z uprawy roślin na tego typu podłożach. Dla każdego z rozcieńczeń

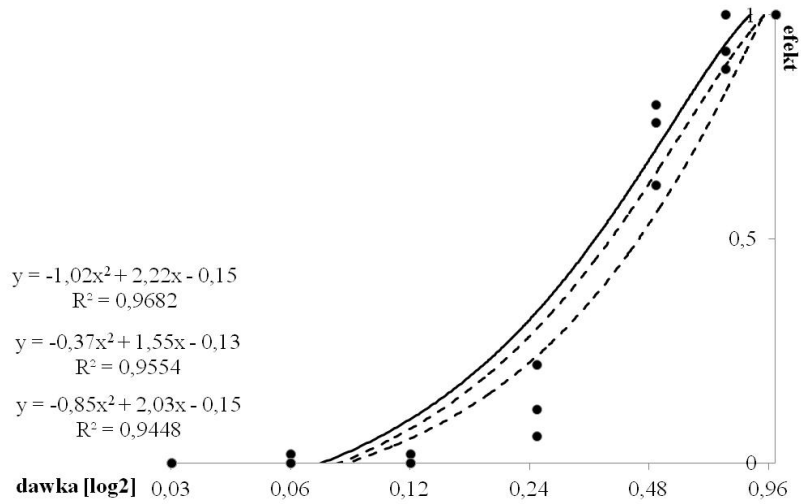
przygotowano szklane szalki Petriego wyłożone jałowym podłożem celulozowym, a następnie układano na nich po 50 sztuk nasion *Lepidium sativum* L. ($n = 4000$).

Rośliny rosły w warunkach kontrolowanych (EKO-Cell), przy sztucznym świetle, fotoperiodzie 8h:16h i temperaturze $21^{\circ}\text{C} \pm 0,2$, zasilane codziennie roztworem odcieków w ilości 10 ml. Codziennie, przez okres 10 dni, pobierano losowo próbkę 50 roślin z każdego ze stężeń, a następnie obliczano odsetek kiełkujących nasion. Następnie rośliny układano na tle milimetrowej siatki pomiarowej i skanowano (Canon, 2400dpi). Na uzyskanych w ten sposób obrazach w formacie .jpg dokonywano pomiarów za pomocą programu ImageJ 1.38x [Rasband]. Otrzymane dane eksportowano do arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel z dodatkiem ED50plus v1.0 [Vargas 2000], za pomocą którego wykonano obliczenia wskaźnika EC_{50} i analizę przebiegu krzywych regresji. Wartości zmierzone korygowano względem próby zerowej, którą stanowiły rośliny rosnące na wodzie wodociągowej i transponowano do wartości bezwymiarowej w przedziale od 0 (brak efektu) do 1 (najwyższy odnotowany efekt). W przypadku stymulacji wzrostu możliwe jest uzyskanie ujemnego efektu toksycznego.

WYNIKI BADAŃ

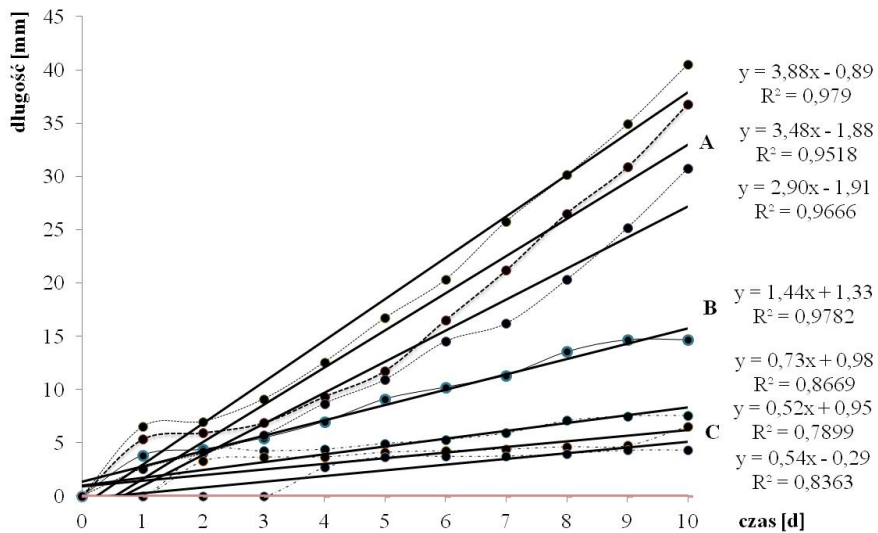
Badane w pracy próbki odcieków składowiskowych charakteryzowały się następującymi podstawowymi parametrami chemicznymi: stężenie azotu amonowego wynosiło 710 mg/dm^3 , zawartość związków organicznych wyrażonych jako ChZT – 4365 mg/dm^3 , a BZT₅ – 635 mg/dm^3 (proporcja ChZT/BZT₅ wynosiła więc $\approx 0,15$).

Na rysunku 1 przedstawiono zależność dawka (rozcieńczenie odcieków) – efekt (siła kiełkowania organizmu testowego). Dla przejrzystości rysunku przedstawiono wykresy tylko dla 3 wybranych dni (3, 6 i 10). Przy rozcieńczeniach mniejszych niż 12% efektywność kiełkowania jest wysoka (obserwowany efekt toksyczny jest więc niski), jednak widocznie spada dla rozcieńczeń powyżej 25% (efekt więc rośnie). Zależność tą można obserwować przez cały czas trwania eksperymentu, o czym świadczą podobne przebiegi krzywej regresji przy wysokich wartościach współczynnika determinacji ($R^2 = 0,94$ do $0,97$). Odcieki nierozcieńczone całkowicie zatrzymywały kiełkowanie. Przebieg wzrostu korzeni (rys. 2) wskazuje, że rośliny wykazywały odmienną dynamikę wzrostu w zależności od rozcieńczenia odcieków, którymi je zasilano. Dla rozcieńczeń do 12% obserwuje się przez cały okres eksperymentu stymulację wzrostu, rosnącą wraz ze spadkiem stężenia. Linie regresji dla tej próby mają przebiegi od $y = 2,9x$ do $y = 3,88x$, linia dla próby zerowej $y = 1,44x$, natomiast dla rozcieńczeń $\geq 25\%$ od $y = 0,52x$ do $y = 97x$ (dla odcieków nierozcieńczonych linia ma przebieg $y = 0x$). Niższe wartości R^2 wynikają z małej efektywności kiełkowania i szerszego rozkładu mierzonej cechy pomiędzy badanymi osobnikami. Wydaje się, że najlepszym ($R^2 = 0,87$ do $0,9$) sposobem opisanie zależności dawki od efektu toksycznego w przypadku hamowania wzrostu korzenia jest model wielomianowy (rys. 3).



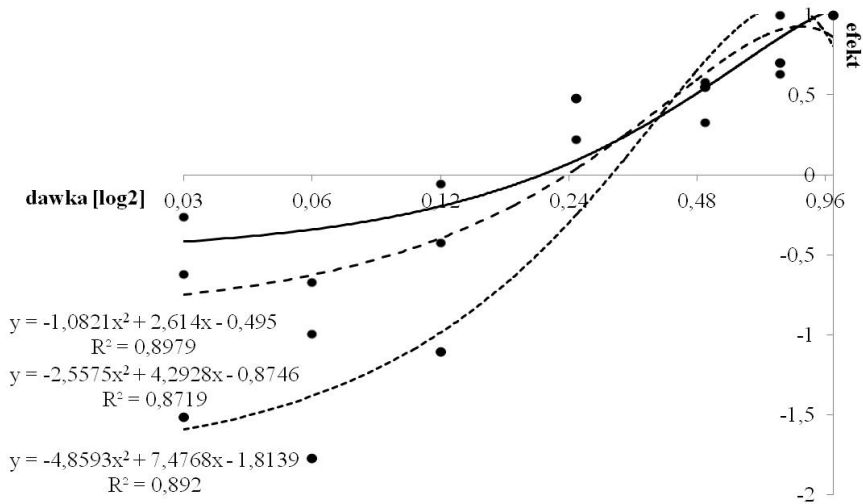
Rys. 1. Wpływ poszczególnych dawek odcieków składowiskowych na zatrzymanie kiełkowanie *L. sativum* po 3 (—), 6 (---) i 10 (---) dniach przedstawione w formie regresji wielomianowej

Fig. 1. The influence of landfill leachate doses on *L. sativum* germination inhibition after 3 (—), 6 (---) and 10 (---) days expressed as the polynomial regression



Rys. 2. Wzrost korzeni *L. sativum* w poszczególnych koncentracjach odcieków składowiskowych. Literą A oznaczono rozcieńczenia $\leq 12\%$, literą B – próbę kontrolną, literą C – rozcieńczenia $\geq 25\%$

Fig. 2. Growth of *L. sativum* roots for particular leachate concentrations. Dilutions $\leq 12\%$ marked with letter A, a control with letter B and probe dilutions $\geq 25\%$ with letter C



Rys. 3. Wpływ dawki odcieków składowiskowych na hamowanie wzrostu korzeni *L. sativum* po 3 (-), 6 (--) i 10 (···) dniach przedstawione w formie regresji wielomianowej

Fig. 3. The influence of landfill leachate concentrations on *L. sativum* root growth inhibition after 3 (-), 6 (--) and 10 (···) days expressed as the polynomial regression

Efekty na wykresie przyjmują w początkowym przebiegu krzywej wartości ujemne, co jest odzwierciedleniem obserwowanej przy dużych rozcieńczeniach stymulacji wzrostu. W tabelach 1 i 2 wskazano jakie stężenia powodują zatrzymanie kiełkowania (tab. 1) i hamowanie wzrostu korzenia (tab. 2) u 5, 50 i 95 % osobników w badanej próbie. Pomimo ciągłego wzrostu badanych roślin w czasie trwania testu (rys. 2) stężenie toksyczne, zwłaszcza dla wartości $\geq EC_{50}$, utrzymywało się już od 2 doby na podobnym poziomie, w takim więc układzie można skrócić czas wykonywania testu ostrego nawet do 2 dni. Należy przy tym pamiętać, że dawka odcieków była kumulowana w ciągu dziesięciu dni. Rośliny były więc w stanie przyjąć wielokrotnie większą dawkę rozłożoną w czasie, niż ta, jaka powodowała całkowite zatrzymanie kiełkowania już od pierwszego dnia trwania testu.

DYSKUSJA

Eksplorację składowiska odpadów komunalnych w Kozodrzy rozpoczęto w 1990 roku. Jest to największe składowisko w regionie, a o skali inwestycji świadczy fakt, że odpady deponowane są tu z terenu 23 gmin województwa podkarpackiego, w tym z Rzeszowa, w ilości ok. 400 ton na dobę. Składowisko jest zorganizowane i posiada rozwiniętą infrastrukturę; wyposażone jest w skuteczną instalację do odgazowywania masy złożonych odpadów, a od 2005 roku działa elektrownia zasilana odzyskiwanym biogazem. Ocieki zostały pobrane ze zbiornika o pojemności 2295 m³, do którego ocieki spływają z 10 kwater (w tym 9 już zamkniętych). Obiekt jest zlokalizowany na terenach, pod którymi znajdują się geologiczne warstwy nieprze-

puszczalnych ilów krakowieckich, co w naturalny sposób sprzyja ochronie wód gruntowych. Jednocześnie poziom wód gruntowych w okolicy jest wysoki, co obserwuje się w okolicach składowiska. Na składowisku działa chemiczno-biologiczna podczyszczania odcieków projektowana w czasie, gdy składowisko zaklasyfikować można było jako młode. Problem odcieków składowiskowych próbuje się rozwiązać obecnie przez uruchomiony w 2011 roku 2-stopniowy system odwróconej osmozy, koncentrujący odcieki w proporcji 1:4.

Tabela 1. Efektywne stężenia odcieków składowiskowych w czasie kolejnych dni kiełkowania *L. sativum*

Table 1. Effective concentrations of landfill leachate during following days of *L. sativum* germination

[%]	dni/days										\bar{x}	SD	SEM
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
EC_{95}	72,08	83,59	81,83	82,07	83,73	87,64	85,39	93,12	89,49	85,17	84,41	5,57	1,76
EC_{50}	33,00	45,01	44,30	42,81	46,18	48,77	46,75	50,80	49,29	46,67	45,36	4,96	1,57
EC_5	-6,07	6,44	6,76	3,56	8,63	9,90	8,11	8,48	9,08	8,227	6,31	4,70	1,48
TU	3,03	2,22	2,26	2,34	2,17	2,05	2,14	1,97	2,03	2,14			

Tabela 2. Efektywne stężenia odcieków składowiskowych w czasie kolejnych dni wzrostu korzeni *L. sativum*

Table 2. Effective concentrations of landfill leachate during following days of *L. sativum* root growth

[%]	dni/days										\bar{x}	SD	SEM
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
EC_{95}	72,19	89,02	87,00	93,34	92,38	89,04	86,76	85,40	84,78	85,16	86,51	5,82	1,84
EC_{50}	40,57	56,83	55,28	60,49	59,11	60,39	61,12	60,49	61,70	65,17	58,11	6,72	2,12
EC_5	5,43	21,06	20,04	23,99	22,14	28,55	32,62	32,81	36,05	42,96	26,56	10,45	3,31
TU	2,46	1,76	1,815	1,6	1,69	1,66	1,64	1,65	1,62	1,53			

W pracy badano wpływ skumulowanej dawki odcieków składowiskowych podawanej przez okres 10 dni. Pieprzyca siewna wykazała się relatywnie dużą tolerancją na tak dawkowane zanieczyszczenia, a rozcieńczenia mniejsze niż 12% wręcz stymulowały ją do wzrostu, na przykład toksyczność odcieków, obliczona na podstawie hamowania wzrost korzenia wyniosła tylko $TU=1,53$ w 10 dniu. Odcieki nierozcieńczone już od początku powodowały zatrzymanie kiełkowania rośliny, ale już w dawce poniżej 75% pierwotnego stężenia kiełkowało średnio 29% nasion, a w 50%, ponad 70% nasion. Trudno stwierdzić czy obserwowany jest efekt hormezy, czy też, pomimo niekorzystnej proporcji ChZT/BZT₅, rośliny rosły lepiej na niskich stężeniach, wykorzystując związki azotu zawarte w odciekach. Chociaż badany gatunek występuje w naszym klimacie jako relikwyt po dawnych uprawach i powszechnie uważa się, że rośnie szybciej na podłożu sztucznym niż glebie, to gatunki ruderalne z rodzaju *Lepidium* - *L. virginicum* i *L. ruderales* stanowią jeden z elementów

zbiorowisk charakterystycznych dla składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych i są uważane w takich miejscach za wskaźnik trofizmu i zawartości materii organicznej [Dyguś i in. 2002].

Stosowane coraz częściej na składowiskach w naszym kraju instalacje oparte o procesy biologiczne, chemiczne lub fizyczne poprawiają parametry fizykochemiczne odcieków. Często jednak, z braku innego rozwiązania, na wielu obiektach odcieki zawracane są ze zbiornika z powrotem na koronę składowiska. Tak samo może być zagospodarowywany koncentrat po oczyszczaniu w procesach membranowych. Oczyszczanie w reaktorach biologicznych jest najbardziej przyjazne dla środowiska, ale należy je prowadzić w odmiennych warunkach technologicznych niż w przypadku oczyszczania ścieków komunalnych, a sam proces trudno jest zoptymalizować. Dużą nadzieję pokłada się w nowo odkrytych procesach oczyszczania biologicznego, jak: SHARON, CANNON, czy ANNAMOX [Mulder i in. 1995, Schmidt i in. 2003, Khin, Annachharte 2004].

Jako jeden z istotnych mechanizmów toksyczności u roślin, wymienia się stres oksydacyjny. Organizmy fotosyntetyzujące wytwarzają, jako naturalny produkt przemian metabolicznych, reaktywne formy tlenu, które, w warunkach homeostazy, są skutecznie usuwane przez system antyoksydacyjny. W warunkach stresu mechanizm ten przestaje być dostatecznie wydajny i poziom wolnych rodników rośnie, co może być przyczyną uszkodzeń na poziomie molekularnym; uszkodzenia struktury białek i lipidów tworzących struktury komórkowe oraz kwasów nukleinowych w tym genotoksyczności [Guangke i in. 2008b, Gajski i in. 2012]. Mechanizm stresu oksydacyjnego po ekspozycji na odcieki tłumaczy obserwuje się również u zwierząt [Guangke i in. 2008a].

Do przeprowadzania testów fitotoksyczności proponuje się rośliny niższe np. glony, u takich organizmów szybciej przyrasta biomasa, łatwiej oblicza się też wskaźniki toksyczności. Jednak w odciekach ze składowisk komunalnych, charakteryzujących się ciemnym zabarwieniem, znajduje się wiele substancji absorbujących światło, co może zaburzać rzeczywisty obraz ich toksyczności [Wang i in. 2002]. Dlatego w badaniach fitotoksyczności tego typu mieszanin lepsze i wiarygodniejsze wyniki osiągać można dzięki stosowaniu roślin wyższych.

Istnieje wiele metod szacowania fitotoksyczności substancji wobec roślin wyższych, z których każda ma swoje wady i zalety. Jednym z najczęściej stosowanych jest test korzeniowy, prowadzony na standaryzowanej glebie, odciekach z gleby, bądź jałowym podłożu, najczęściej przez okres 3 dni [ISO 1993, Manier i in. 2012]. Testy prowadzone są często na nasionach wstępnie skielkowanych na glebie i w ciemności, to jednak wyklucza wpływ toksykanta w czasie pierwszych godzin rozwoju organizmu, kiedy metabolizm jest najintensywniejszy, dlatego standaryzowane testy nie zawsze są dostatecznie czułe w stosunku to każdego badanego związku [Wang i in. 2002]. Mieszaniny o złożonym składzie, takie jak odcieki ze składowisk komunalnych mogą wchodzić w interakcje z glebą lub wyciągami z gleby, co może też zaburzyć informacje na temat ich rzeczywistej toksyczności.

PODSUMOWANIE

W pracy badano toksyczny wpływ odcieków surowych pobranych ze składowiska odpadów komunalnych w Kozodrzy na wzrost i rozwój organizmu testowego – pieprzycy siewnej (*Lepidium sativum* L.) w teście subchronicznym trwającym 10 dni. W pracy badano zależność między różnymi stężeniami odcieków a efektem zyskiwanym w poszczególnych dniach trwania eksperymentu. Siła kiełkowania pieprzycy siewnej zależała od rozcieńczenia dawkowanych odcieków (zależność dawka-efekt), do rozcieńczenia 12% obserwować można wysoką efektywność kiełkowania, która gwałtownie spada powyżej 25%. Odcieki nierozcieńczone całkowicie zatrzymują kiełkowanie. Przebieg wzrostu korzeni wskazuje na dwa przeciwne efekty osiągane w zależności od rozcieńczenia odcieków. Dla rozcieńczeń do 12% obserwuje się przez cały okres eksperymentu stymulację wzrostu, z tym że im większe stężenie tym jest ona mniejsza. Najwyższa wartość współczynnika EC50 obliczona w oparciu o hamowanie wzrostu korzenia wyniosła 65,17% w 10 dniu (średnia 58,11%).

PIŚMIENNICTWO

- Białowiec A. 2010. Wpływ odpadów i odcieków na hydrofity. Przegląd Komunalny, 4(223): 36-38.
- Bortolottoa, T., Bertoldoa, J., B., da Silveiraa, F., Z., Defaveri T., M., Silvanob, J., Picha, C., T. 2009. Evaluation of the toxic and genotoxic potential of landfill leachates using bioassays. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 28: 288-293.
- Dyguś, K. H., Siuta J., Wasiak, G., Madej, M. 2012. Roślinność składowisk odpadów komunalnych i przemysłowych. Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania. Warszawa.
- El-Fadel M., Bou-Zeid E., Chahine W., Alayli B. 2002. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. *Waste Management*, 22: 269-282.
- Gajski G., Orescanin V., Garaj-Vrhovac V. 2012. Chemical composition and genotoxicity assessment of sanitary landfill leachate from Rovinj, Croatia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 78: 253-259.
- Guangke L., Nan S., Dongsheng G. 2008a. Oxidative damage induced in hearts, kidneys and spleens of mice by landfill leachate. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 70: 283-293.
- Guangke L., Yang Y., Hongyan L., Nan S. 2008b. Effect of landfill leachate on cell cycle, micronucleus, and sister chromatid exchange in *Triticum aestivum*. *Journal of Hazardous Materials*, 155: 10-16.
- Hermanowicz W., Dożańska W., Dojlido J., Koziorowski B. 1999. Fizyczno-chemiczne badanie wody i ścieków. Arkady. Warszawa.
- ISO 11269-1, 1993 Soil quality – Determination of the effects of pollutants on soil flora - Part 1: Method for the measurement of inhibition of root growth.
- Khin T., Annacharte A.P. 2004. Novel microbial nitrogen removal processes. *Biotechnology Advances*, 22: 519-532.
- Koc-Jurczyk J. 2010. Przemiany w składowisku odpadów komunalnych a skład odcieków. *Zesz. Nauk. Pol.-Wsch. Oddz. PTIE i PTG Oddz. w Rzeszowie*, 12: 31-34.

- Koc-Jurczyk J., Różak J. 2011. Skład odcieków pochodzących z rekultywowanego składowiska odpadów komunalnych. *Inżynieria Ekologiczna*, 27: 72-80.
- Kulikowska D. 2009. Charakterystyka oraz metody usuwania zanieczyszczeń organicznych z odcieków pochodzących z ustabilizowanych składowisk odpadów komunalnych, *Ecological Chemistry and Engineering S*, 16(3): 389-402.
- Manier N., Brulle F., LeCurieux F., Vandenbulcke F., Deram A. 2012. Biomarker measurements in *Trifolium repens* and *Eisenia fetida* to assess the toxicity of soilcontaminated with landfill leachate. A microcosm study *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 80: 339-348.
- Mulder A., van de Graaf A.A., Robertson L.A., Kuenen J.G. 1995. Anaerobic ammonium oxidation discovered in a denitrifying fluidized bed reactor. *FEMS Microbiology Ecology*, 16: 177-184.
- Rasband W. Image Processing and Analysis in Java, <http://rsbweb.nih.gov>.
- Rocznik statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2011, Główny Urząd Statystyczny, Warszawa
- Schmidt I., Sliemers O., Schmidt M., Bock E. Fuerst J., Kuenen J.G., Jetten M.S.M., Strous M. 2003. New concepts of microbial treatment processes for the nitrogen removal in wastewater. *FEMS Microbiology Reviews*, 27, 481-492.
- Slack R.J., Gronow J.R., Voulvoulis N. 2005. Household hazardous waste in municipal landfills: contaminants in leachate. *Science of the Total Environment*, 337: 119-137.
- Thomas D.J.L., Tyrrel S.F., Smith R., Farrow S. 2009. Bioassays for the evaluation of landfill leachate toxicity. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 12: 83-105.
- Vargas M.H. 2000. ED50plus v1.0. Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias.
- Wang X., Sun Ch., Wang Y., Wang L. 2002. Quantitative structure-activity relationship for the inhibition toxicity to root elongation of *Cucumis sativus* of selected phenols and interspecies correlation with *Tetrahymena pyriformis*. *Chemosphere*, 46: 153-161.
- Wilke B.M., Riepert F., Koch C., Kuhne T. 2008. Ecotoxicological characterization of hazardous wastes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 70: 283-293.

THE INFLUENCE OF MUNICIPAL LANDFILL LEACHATE ON GROWTH RATE OF GARDEN CRESS *LEPIDIUM SATIVUM* (L.).

Abstract. In Poland, the most common way of waste neutralization is landfilling. Landfilling is always associated with the environmental risk, and one of the main threats is generation of landfill leachate. Due to the complex process of formation and composition of the leachate, the runoff from landfill could be toxic in varying degrees. In most cases, the toxicity of leachate are studied using physico-chemical methods, but the complete information of toxic activity can only be obtained by testing on selected organisms. The influence of cumulative dose of landfill leachate during 10 days of exposure, on the growth rate of garden cress *Lepidium sativum* (L.) has been investigated in this paper. The plant turned out to be quite resistant to toxic leachate- dose of 100% resulted in complete inhibition of growth, but the maximum effective concentration (EC50) for the germination inhibition was 50.8% at day 8, and calculated for root growth inhibition was 65.17% at day 10.

Keywords: toxicity, municipal landfill leachate, *Lepidium* sp.