

Dorota CISZEK, Bartosz NOWAK, Marta POGRZEBA\*

## ZASTOSOWANIE PROCESÓW FITOREMEDIACJI W OGRANICZENIU REEMISJI RTĘCI DO POWIETRZA NA TERENACH ZANIECZYSZCZONYCH TYM PIERWIASTKIEM

Większość metod, stosowanych do oczyszczenia gleb z rtęci, pomimo swojej skuteczności, generuje bardzo wysokie koszty oraz w niekorzystny sposób wpływa na jej właściwości fizykochemiczne i biologiczne. Mając na uwadze poważny problem zanieczyszczenia gleb rtęcią, zwłaszcza na terenach poprzemysłowych, bardzo istotne jest znalezienie metody (technologii), która będzie przyjazna dla środowiska glebowego oraz korzystna finansowo. Jedną z obiecujących możliwości wśród procesów remediacji są fitotechnologie. Polegają one na wykorzystaniu naturalnych zdolności wybranych gatunków roślin do wzrostu i rozwoju na terenach zanieczyszczonych, a także w zależności od sposobu w jaki rośliny wpływają na skażony ekosystem, pobieranie, stabilizację lub detoksykację substancji zanieczyszczających. W prowadzonych badaniach wykorzystano metodę fitoremediacji w celu ograniczenia procesu ewaporacji rtęci z gleby, co jest przyczyną wtórnego zanieczyszczenia powietrza tym pierwiastkiem. W ramach badań założono doświadczenie w skali laboratoryjnej z wykorzystaniem gleby zanieczyszczonej rtęcią. Doświadczenie obejmowało dwa warianty: kontrolny (bez roślin) oraz eksperymentalny (gleba z roślinami). Testowano trzy gatunki traw: wiechlinę łąkową (*Poa pratensis*), kostrzewę owczą (*Festuca ovina*) oraz kupkówkę pospolitą (*Dactylis glomerata*). Podczas badań prowadzono obserwacje wzrostu i rozwoju roślin oraz stopnia pokrycia powierzchni gleby. Po utworzeniu pokrywy trawiastej wykonano analizę ewaporacji rtęci z gleby oraz pomiary intensywności parowania. Spośród testowanych traw, najlepszym wzrostem oraz stopniem pokrycia powierzchni gleby, wykazała się kupkówka pospolita. Zastosowanie pokrywy roślinnej wpłynęło na obniżenie ewaporacji Hg z gleby. Największą kumulację rtęci w częściach nadziemnych zanotowano w kostrzewie owczej i kupkówce pospolitej. Analiza intensywności parowania, wskazała kostrzewę owczą, jako gatunek prowadzący najbardziej intensywną gospodarkę wodną, co może wskazywać na właściwości do fitowolatilizacji, czyli odparowywania zanieczyszczenia podczas transpiracji.

---

\* Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych, Zakład Biotechnologii Środowiskowych, Zakład Ochrony Środowiska, ul. Kossutha 6, 40-844 Katowice, ciszek@ietu.katowice.pl.

## 1. WSTĘP

Naturalna zawartość rtęci w glebach mieści się w zakresie od 0,02 do 0,5 mg/kg s.m. [3]. Na terenach zanieczyszczonych tym pierwiastkiem (tereny i zakłady przemysłowe) zawartość rtęci w gruncie może sięgać nawet 4000 mg/kg s.m. [13]. Okres trwania Hg w powietrzu atmosferycznym jest wyjątkowo długi (360 lat), dlatego pierwiastek ten posiada najdłuższy współczynnik kumulacji, a zatem migrując na dalekie odległości, może przemieszczać się pomiędzy komponentami środowiska tj: glebą, powietrzem atmosferycznym i wodami, jak również akumulować w różnych łańcuchach żywnościowych. Stanowi to pośrednie lub bezpośrednie zagrożenie dla zdrowia organizmów żywych. Z tego względu uzasadnione jest prowadzenie badań nad efektywnymi metodami remediacji zanieczyszczonych terenów, bądź minimalizacji wpływu tych zanieczyszczeń na inne komponenty środowiska oraz zdrowie ludzi. O aktualności problemu świadczy fakt, że 24 września 2014 roku, w Siedzibie Głównej Organizacji Narodów Zjednoczonych w Nowym Jorku, Polska podpisała Konwencję z Minamaty w sprawie rtęci. Celem Konwencji jest kompleksowa ochrona środowiska oraz zdrowia ludzkiego przed przedostawaniem się rtęci do atmosfery, wód i ziemi. Przepisy porozumienia regulują zagadnienia związane z wydobywaniem tego metalu, handlem produktami zawierającymi Hg oraz jego wykorzystaniem w produktach i procesach przemysłowych. Konwencja ustanawia ponadto zasady bezpiecznego dla środowiska gospodarowania odpadami zawierającymi rtęć, stosowania odpowiednich metod składowania rtęci, a także reguluje zagadnienia dotyczące terenów zanieczyszczonych tym metalem [5]. Globalna emisja rtęci zarówno pochodzenia naturalnego, jak i antropogenicznego, wynosi ok. 7527 Mg/rok [9]. Oprócz naturalnych źródeł rtęci w środowisku, które stanowią tzw. tło rtęci [14], poważny problem stanowi emisja przemysłowa. Klasyfikacja źródeł antropogenicznych skupia się na takich gałęziach przemysłu jak: energetyczny, hutniczy, chemiczny, elektrotechniczny czy farmaceutyczny. Na przestrzeni ostatnich lat modernizacja technologiczna w polskim przemyśle stała się faktem, zaś Unia Europejska systematycznie zaostrza wymagania dotyczące emisji i wykorzystania Hg w procesach i instalacjach technologicznych. Pomimo pozytywnych skutków tych działań, na terenach, gdzie notuje się silnie rozwinięty przemysł górniczy i hutniczy np. Górnośląski Okręg Przemysłowy, problem zdegradowanych oraz silnie zanieczyszczonych gleb jest wciąż aktualny. W wielu zakładach pracy stosowano przestarzałe technologie, które stanowiły główne źródło zanieczyszczeń gleby. Restrukturyzacja przemysłu przyniosła ze sobą modernizację wielu linii technologicznych, jak również pozostawiła w miejscach dawnych zlikwidowanych zakładów, zdevastowane obiekty i zdegradowane tereny, zawierające w środowisku naturalnym pozostałości poprodukcyjne, w tym również rtęć [8]. Z uwagi na fakt, że pierwiastek ten nie ulega biodegradacji i bardzo długo utrzymuje się w środowisku, kluczowym działaniem jest obniżenie poziomu rtęci w środowisku oraz zmniejszenie narażenia ludzi na kontakt z tym szkodliwym dla zdrowia pierwiastkiem [14]. Działania rekultywacyjne czyli zestaw odpowied-

nich działań zaradczych, mają na celu osiągnięcie poziomu zawartości substancji zanieczyszczających zgodnych z wymaganymi standardami. W wielu przypadkach spełnienie norm standardów jakości gleb jest niewykonalne z przyczyn technicznych lub ekonomicznych, dlatego głównym celem rekultywacji jest ograniczenie zanieczyszczenia i ryzyka ich negatywnego wpływu na środowisko [12]. W odpowiedzi na rosnącą potrzebę uporańia się ze skażeniem gleby rtęcią podjęto próby rozwoju różnych technologii, celem zmniejszenia i ograniczenia narażenia na ten pierwiastek. Ze względu na różne formy występowania Hg, istnieje szereg technologii oczyszczania osadów, ścieków i gruntów, do których można zaliczyć: stabilizację chemiczną, zestalanie, ekstrakcję chemiczną, płukanie gleby, termiczną desorpcję i destrukcję, metody elektrochemiczne, metody bioremediacyjne i fitoremediacyjne [2]. Główną wadą większości wspomnianych metod, są bardzo wysokie koszty generowane procesem lub instalacją i urządzeniami oczyszczającymi, nierzadko przekraczające znacznie finansowe możliwości inwestora. Ponadto minusem jest zróżnicowana efektywność oczyszczania czy wieloetapowość większości stosowanych metod. Zastosowane w warunkach laboratoryjnych lub badaniach pilotażowych procesy oczyszczania, często nie zdają egzaminu podczas przełożenia ich na skalę przemysłową. Większość wyżej wymienionych metod stosowana jest jedynie do oczyszczania ścieków i osadów, brak jednak skutecznych technologii oczyszczania zanieczyszczonych gruntów zwłaszcza *in situ*. Oczyszczanie gleby metodami termicznymi, chemicznymi lub elektrolitycznymi może w konsekwencji wiązać się ze zniszczeniem życia biologicznego, ubytkiem materii organicznej lub zmianami w sposobie oddziaływania na organizmy żywe [11]. Alternatywą dla tradycyjnych metod oczyszczania, może stanowić technologia fitoremediacji. Przyjazna środowisku, a równocześnie wypadająca korzystnie finansowo metoda, polega na zastosowaniu w skażonym środowisku roślin zdolnych do wzrostu i oddziaływania na zachodzące w nim: biologiczne, chemiczne oraz fizyczne procesy, mające na celu usunięcie i/lub unieruchomienie zanieczyszczeń w glebie [7]. Rośliny wykorzystywane w procesach fitoremediacji powinny charakteryzować się tolerancją na duże stężenia ksenobiotyków, wysokim stopniem akumulacji lub biodegradacji zanieczyszczeń, nawet przy relatywnie niskim poziomie skażenia, zdolnością do akumulacji kilku zanieczyszczeń jednocześnie, szybkim wzrostem, dużą produkcją biomasy, odpornością na choroby i szkodniki, a także na trudne warunki środowiskowe [6]. W zależności od sposobu, w jaki rośliny oddziałują na skażony teren, wyróżnia się następujące rodzaje fitoremediacji: fitoekstrakcja, fitostabilizacja, fitodegradacja, ryzofiltracja czy fitowolatylicacja. Metody te zmierzają w kierunku utworzenia pokrywy roślinnej, która pełni funkcję ochronną zabezpieczając glebę przed erozją i parowaniem rtęci z gleby [4], jak również uniemożliwia migrację zanieczyszczeń w głąb ziemi lub po jej powierzchni wraz ze spływem wód opadowych. Odpowiednio dobrana metoda fitoremediacji prowadzi do poprawy funkcjonalności gleby oraz w pozytywny sposób wpływa na procesy biologiczne zachodzące w glebie.

## 2. CEL I METODYKA BADAŃ

Celem badań było zbadanie wpływu pokrywy roślinnej na możliwości obniżenia procesu ewaporacji rtęci z gleby do powietrza. Badania miały charakter przedwstępny i dotyczyły oceny mobilności Hg w układzie gleba-roślina-powietrze.

### 2.1. CHARAKTERYSTYKA GLEBY

W badaniach wykorzystano glebę zanieczyszczoną Hg, pobraną z obszarów zlokalizowanych w obrębie infrastruktury dawnych zakładów chemicznych. Pobraną glebę poddano procesowi suszenia w temperaturze pokojowej, a następnie przesiano przez sito 4 mm, w celu jej uśrednienia. W glebie oznaczono: pH w wodzie dejonizowanej i w 1 M KCl, przewodność elektryczną (EC), skład granulometryczny, materię organiczną (OM) oraz zawartość rtęci (metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej ZAAS-HFM). Przedstawione dane są średnimi z 5 powtórzeń  $\pm$  błęd standardowy (BS).

### 2.2. DOŚWIADCZENIE W SKALI LABORATORYJNEJ

Wstępnie przygotowaną i uśrednioną glebę, w ilości 10 kg umieszczono w kuwetach z grawitacyjnym podsiąkiem wody, w celu równomiernego jej nawilżenia. Doświadczenie przygotowano w dwóch wariantach: kontrolnym - gleba zanieczyszczona bez roślin oraz eksperymentalnym - gleba zanieczyszczona z roślinami. W doświadczeniu testowano trzy gatunki traw: wiechlinę łąkową (*Poa pratensis*), kostrzewę owczą (*Festuca ovina*) oraz kupkówkę pospolitą (*Dactylis glomerata*), które wysiano po 50 g do osobnych kuwet. Obserwowano wzrost i rozwój roślin, jak również stopień pokrycia powierzchni każdego z gatunków. Po 8 tygodniach od wysiania dokonano pomiaru procesu ewaporacji rtęci z gleby oraz intensywności parowania H<sub>2</sub>O. Następnie wykonano zbiór części nadziemnych, określono ilość świeżej masy oraz poddano analizie na zawartość rtęci. Doświadczenie było prowadzone w komorze hodowlanej ze sztucznym oświetleniem, wewnątrz której całodobowo kontrolowano temperaturę powietrza.

### 2.3. ANALIZY CHEMICZNE

Oznaczenia odczynu gleby w wodzie dejonizowanej i 1 M KCl metodą standardową, wykonano przy pomocy pehametru (CPC-505, Elmetron, Polska) i elektrody pH-metrycznej (EPS-1, ELMETRON, Polska), w mieszaninie materiału glebowego i roztworu w stosunku 1:5. Do oznaczeń zmian przewodnictwa elektrycz-

nego (EC) wykorzystano pehamter (CPC-505, Elmetron, Polska) wraz z czujnikiem konduktometrycznym EC-60. Analizę wykonano w wodzie dejonizowanej w stosunku 1:5 (v:v). Skład granulometryczny oznaczono metodą areometryczną Casagrande'a w modyfikacji Prószyńskiego. Pomiar procesu ewaporacji Hg z gleby oraz zawartość rtęci w glebie oraz materiale roślinnym oznaczono metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej z zastosowaniem modulacji o wysokiej częstotliwości polaryzacji światła (ZAAS-HFM) na analizatorze RA-915+ Portale Zeeman Merkury Analyser firmy Lumex wraz z przystawką Pyro-915+ dla próbek stałych.

#### 2.4. ANALIZA PARAMETRÓW GLEBY I ROŚLIN

Do oceny parametrów wykorzystano system pomiarowy LCpro+ firmy ADC Bio-Scientific Ltd. wraz z komorą pomiarową dedykowaną dla gleby, muraw i małych roślin. Komorę pomiarową umieszczono bezpośrednio w glebie. W przypadku wariantu eksperymentalnego była to gleba wraz z roślinami. Czas stabilizacji wyników pomiarowych wynosił 4 godziny. Po tym okresie dokonano pomiarów w regularnych odstępach czasu, co 10 minut przez 1 godzinę. Obserwowano parametry biologii gleby, jak również parametry fizjologiczne roślin, w tym intensywność parowania wyrażonej parametrem  $W_{flux}$ . W celach porównawczych pomiarów dokonano również na glebie ogrodniczej, która posłużyła w doświadczeniu, jako tło referencyjne dla uzyskanych wyników.

### 3. WYNIKI BADAŃ

#### 3.1. CHARAKTERYSTYKA GLEBY

Badania prowadzono na glebie zanieczyszczonej rtęcią, pochodzącej z dawnych zakładów chemicznych, w których rtęć wykorzystywano do produkcji chlorku winylu i aldehydu octowego, jak również w przemyśle chloro-alkalicznym, gdzie Hg występuje, jako ciekła katoda przy produkcji chloru i sody kaustycznej. Teren, z którego pobrano materiał do doświadczenia zlokalizowany jest w sąsiedztwie nieczynnej hali z instalacją do elektrolizy rtęciowej. Właściwości fizykochemiczne gleby wykorzystanej w doświadczeniu przedstawiono w tabeli 1.

Na podstawie składu granulometrycznego glebę zakwalifikowano, jako pył piaszczysty, o odczynie obojętnym oraz wysokiej zawartości materii organicznej. Całkowita zawartość rtęci w badanej glebie wykazała wartość przekraczającą dopuszczalną normę dla terenów przemysłowych (grunty z grupy C), podaną w Rozporządzeniu

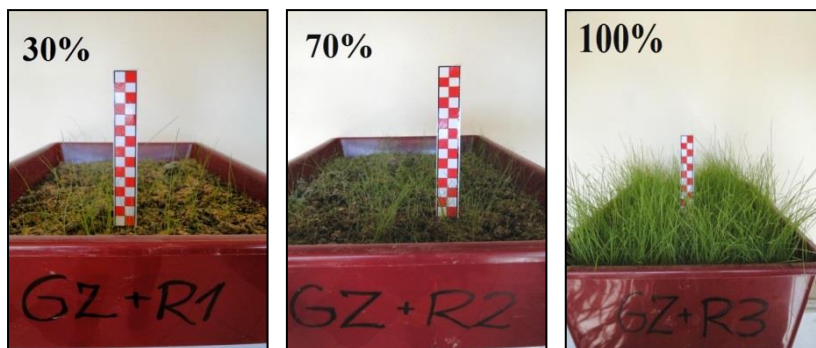
Ministra Środowiska z dn. 9 września 2002 w sprawie standardów jakości gleby oraz standardów jakości ziemi (Dz.U.02.165.1359 z dnia 4 października 2002 r.).

Tabela 1. Właściwości fizykochemiczne gleby

Parametr	Wartość
Fracja piaskowa (1 – 0,05 mm), %	29
Fracja pyłowa (0,05 – 0,002 mm), %	57
Fracja ilowa (< 0,002 mm), %	14
pH (1 : 5 gleba/KCl)	6,56 ± 0,03
pH (1 : 5 gleba/woda)	7,22 ± 0,04
Przewodnictwo elektryczne (μS/cm)	118 ± 5,12
Zawartość materii organicznej (%)	6,5 ± 0,23
Całkowita zawartość Hg (mg/kg s.m.)	35,73 ± 5,21

### 3.2. WZROST ROŚLIN I KUMULACJA RTĘCI W CZĘŚCIACH NADZIEMNYCH

W prowadzonych badaniach z zastosowaniem fitotechnologii, jednym z najistotniejszych elementów, warunkujących powodzenie działań, było uzyskanie gęstej i zwartej pokrywy roślinnej. Dzięki niej otrzymano warstwę izolacyjną, wpływającą z jednej strony na ograniczenie procesu ewaporacji rtęci z gleby, a z drugiej unieruchomienie związków Hg poprzez kumulację w częściach nadziemnych roślin. W doświadczeniu testowano trzy gatunki traw: wiechlinę łąkową (*Poa pratensis*), kostrzewę owczą (*Festuca ovina*) oraz kupkówkę pospolitą (*Dactylis glomerata*), w odniesieniu do kontroli czyli gleby bez pokrywy roślinnej. Gatunki te zostały wybrane spośród traw, które powszechnie używane są w typowych mieszankach rekultywacyjnych. Ponadto obserwacje terenowe wykazały, iż powyższe gatunki występują w znacznej ilości w składzie flory na terenie zakładów, z których pochodzi gleba zanieczyszczona. Podczas doświadczenia obserwowano wzrost i rozwój roślin. Określono również stopień pokrycia powierzchni przez poszczególne gatunki. Po 8 tygodniach od wysiania przeprowadzono zbiór części nadziemnych. Określono ilość uzyskanej świeżej i suchej masy oraz oznaczono zawartość Hg w tkankach roślinnych. Stopień pokrywy roślinnej na zanieczyszczonym podłożu, w zależności od gatunku trawy był bardzo zróżnicowany. Najsłabszy wzrost i najdłuższy okres kiełkowania stwierdzono u wiechliny łąkowej, której pokrycie roślinne osiągnęła zaledwie 30% powierzchni gleby. Kiełkowanie kostrzewy owczej rozpoczęło się w 10 dniu od momentu wysiania, a wzrost trawy był zdecydowanie lepszy w porównaniu z wiechliną. Stopień pokrycia powierzchni dla tego gatunku oceniono na 70%. Kupkówka pospolita odznaczała się najszybszym kiełkowaniem (8 dzień), największym wzrostem, tym samym osiągając 100% pokrycia powierzchni gleby (rys. 1).



Rys. 1. Stopień pokrycia powierzchni: wiechlina łąkowa (R1), kostrzewa owcza (R2) i kupkówka pospolita (R3)

Zróżnicowany wzrost i rozwój traw, miały związek z ilością biomasy wytworzonej przez poszczególne gatunki (tabela 2). Najmniej ilość materiału roślinnego uzyskano z wiechliny łąkowej (2,615 g). Prawie 2-krotnie więcej biomasy zebrano z wariantu, gdzie wysiano kostrzewę owczą. Najwięcej świeżej masy wytworzyła kupkówka pospolita (23,154 g), której biomasa była 9-krotnie wyższa w porównaniu z wiechliną i 5,5-krotnie wyższa niż w przypadku kostrzewy owczej. Analiza zawartości rtęci w częściach nadziemnych traw nie wykazała różnic u dwóch gatunków – kostrzewy i kupkówki, podczas gdy w tkankach roślinnych wiechliny stwierdzono 2-krotnie niższą wartość tego pierwiastka.

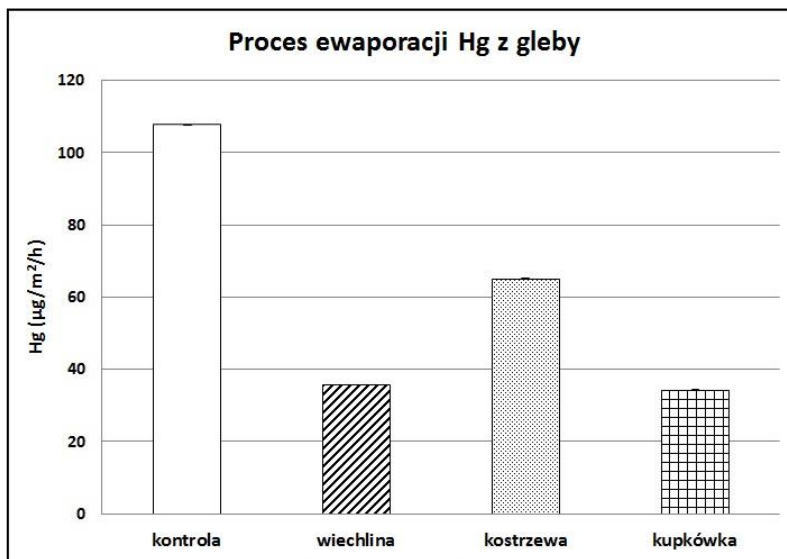
Tabela 2. Ilość biomasy i zawartość Hg skumulowanej w materiale roślinnym

Roślina	Świeża masa (g)	Zawartość Hg (mg/kg s.m.)
wiechlina łąkowa	2,615	4,52
kostrzewa owcza	4,170	9,38
kupkówka pospolita	23,154	9,39

### 3.3. WPLYW POKRYWY ROŚLINNEJ NA PROCES EWAPORACJI RTĘCI Z GLEBY

Pod wpływem wyższej temperatury rtęć, posiada zdolność do przechodzenia w formy lotne, które odparowują do powietrza atmosferycznego. Ponieważ Hg odznacza się wysokim stopniem toksyczności proces ewaporacji może stanowić zagrożenie, szczególnie na terenach przemysłowych, gdzie zanieczyszczenie tym pierwiastkiem jest wysokie, a stopień degradacji terenu odznacza się brakiem lub bardzo słabym pokryciem przez szatę roślinną. Poziom parowania rtęci na glebie bez roślin wyniósł ponad  $100 \mu\text{g Hg/m}^2/\text{h}$ . Wprowadzenie zwartej pokrywy trawiastej przyczyniło się do obniżenia procesu ewaporacji we wszystkich wariantach eksperymentalnych (rys. 2).

W przypadku wiechliny i kupkówki stwierdzono 3-krotne obniżenie procesu ewaporacji Hg z gleby. Jedynie w wariancie z kostrzewą owczą parowanie rtęci zmniejszyło się 1,5-krotnie, osiągając wartość  $65,34 \mu\text{g Hg}/\text{m}^2/\text{h}$ , co przy 70% pokrywie roślinnej jest wynikiem niekorzystnym. Mając na uwadze zdolności kostrzewy do pobierania i kumulacji rtęci w częściach nadziemnych, wysoki wynik ewaporacji znad pokrywy roślinnej może sugerować o właściwościach do fitouwalniania Hg przez omawiany gatunek.



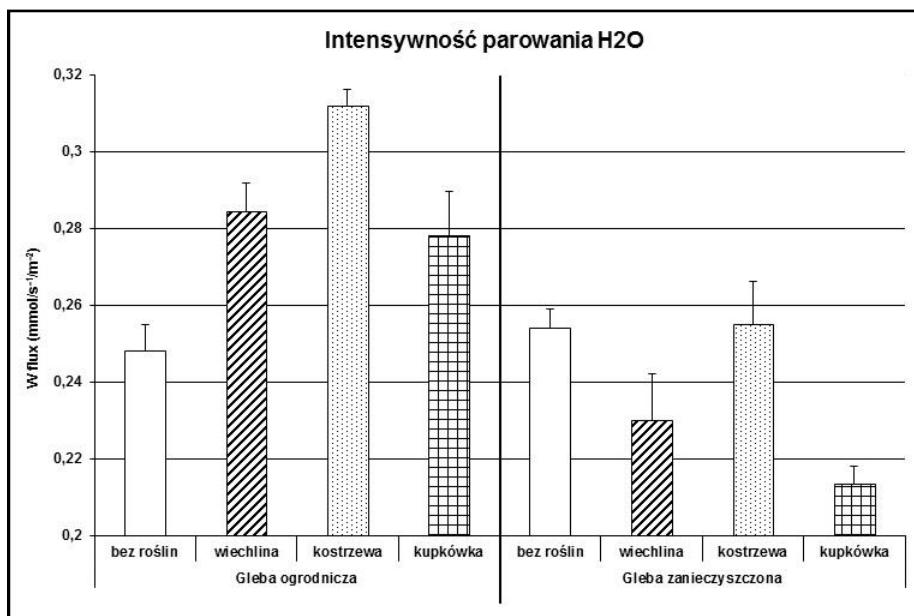
Rys. 2. Wpływ pokrywy roślinnej na proces ewaporacji rtęci z gleby

#### 3.4. ANALIZA PARAMETRÓW GLEBY I ROŚLIN

Szkodliwy wpływ organicznych związków rtęci na rośliny lądowe polega na niekorzystnych zmianach wywołanych w przepuszczalności błony komórkowej, co zmniejsza efektywność pobierania wody, procesu fotosyntezy oraz transpiracji [10]. Dzięki systemowi LCpro+ wraz z komorą pomiarową, możliwa była obserwacja stopnia intensywności parowania wody, bezpośrednio z gleby zanieczyszczonej oraz z gleby pokrytej roślinami. Parametr, oznaczony symbolem  $W_{flux}$ , znany jest w literaturze, jako Net H<sub>2</sub>O Exchange Rate. Jest on odpowiednikiem procesu transpiracji i wyrażony jest jednostką  $\text{mmol}/\text{s}^1/\text{m}^2$ . W przypadku zanieczyszczenia gleb związkami rtęci, wśród technik fitoremediacji można się spotkać z metodą fitowolatalizacji. Polega ona na pobieraniu zanieczyszczenia przez roślinę, a następnie uwolnieniu go lub modyfikowanej jego formy z rośliny do atmosfery. Jednakże rtęć uwolniona do powietrza może zostać ponownie zdeponowana do gruntu i ulec metylacji w wyniku



działalności mikroorganizmów. Ma tu zatem miejsce pozorne oczyszczenie gleby i dlatego metoda ta nie jest polecana [1]. Zastosowane pomiary miały na celu sprawdzenie procesu ewaporacji i stanu gospodarki wodnej traw, rosnących na podłożu zanieczyszczonym rtęcią oraz porównanie ich z danymi, pochodzącymi z wariantu z podłożem ogrodniczym. W przypadku gleby zanieczyszczonej największą intensywność parowania  $H_2O$  zanotowano w wariantcie bez roślin ( $0,254 \text{ mmol/s}^{-1}/\text{m}^{-2}$ ). Można zatem stwierdzić, że intensywność procesu parowania wpływa na większą ewaporację rtęci z gleby, co potwierdzają otrzymane wyniki badań. Wartości ewapotranspiracji otrzymane dla wiechlina łąkowej oraz kupkówki pospolitej były niższe, w porównaniu z wariantem bez roślin. Gatunkiem prowadzącym najbardziej intensywną gospodarkę wodną okazała się kostrzewa owcza, na której wartość parowania wyniosła tyle samo, co w wariantcie bez roślin (rys. 3).



Rys. 3. Intensywność parowania wody w zależności od podłoża i pokrycia roślinnego (dane przedstawione na wykresie są średnimi z 5 powtórzeń)

Zestawiając otrzymane wyniki z analizą porównawczą dokonaną na glebie ogrodniczej, zanotowano znaczący wpływ zanieczyszczenia rtęcią na obniżone parametry procesu transpiracji we wszystkich testowanych trawach. Ponadto pomiary na glebie niezanieczyszczonej potwierdziły fakt, że kostrzewa owcza prowadzi najbardziej intensywną gospodarkę wodną spośród badanych gatunków traw, co może wskazywać na zdolności do fitowolatilizacji rtęci w procesie transpiracji. Świadczy o tym zarówno wysoka zawartość skumulowanej Hg w częściach nadziemnych kostrzewy, jak

również wyższy odczyt w pomiarze ewaporacji znad pokrywy roślinnej, w porównaniu do pozostałych gatunków traw. Potwierdzeniem tego przypuszczenia jest przypadek kupkówki pospolitej, która pomimo skumulowania takiej samej ilości Hg w częściach nadziemnych, przy jednocześnie niskiej intensywności transpiracji, nie wykazała podwyższonego procesu parowania rtęci znad pokrywy roślinnej.

#### 4. WNIOSKI

Przeprowadzone badania pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- wprowadzenie zwartej pokrywy roślinnej wpłynęło na znaczne obniżenie procesu ewaporacji rtęci z gleby we wszystkich wariantach eksperymentalnych, a w szczególności w wariantcie z wiechliną łąkową i kupkówką pospolitą,
- na podłożu zanieczyszczonym rtęcią spośród trzech testowanych gatunków traw, kupkówka pospolita wykazała się największym wzrostem i stopniem pokrycia powierzchni,
- kostrzewa owcza, jako gatunek prowadzący intensywną gospodarkę wodną może posiadać właściwości fitowolatylicacji rtęci w procesie transpiracji.

*Przedstawione wyniki zostały wykonane w Instytucie Ekologii Terenów Uprzemysłowych w ramach pracy statutowej finansowanej z dotacji podmiotowej Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.*

#### LITERATURA

- [1] GWOREK B., RATEŃSKA J., *Migracja rtęci w układzie powietrze-gleba-roślina*, Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych, 2009, Vol. 41, 614–623.
- [2] HŁAWICZKA S., *Metale ciężkie w środowisku*, Wyd. Ekonomia i Środowisko, Białystok, 2008.
- [3] KABATA-PENDIAS A., PENDIAS H., *Biogeochemia pierwiastków śladowych*, PWN, Warszawa 1999.
- [4] KARCZEWSKA A., *Ochrona gleb i rekultywacja terenów zdegradowanych*, Wyd. Uniwersytetu Przyrodniczego, Wrocław, 2012.
- [5] Konwencja z Minamata w sprawie rtęci, [www.mercuryconvention.org](http://www.mercuryconvention.org), dost.09.02.2015.
- [6] MARECIK R., KRÓLICZAK P., CYPLIK P., *Fitoremediacja- alternatywa dla tradycyjnych metod oczyszczania środowiska*, Biotechnologia, 2006, Vol. 3, 88–97.
- [7] MEAGHER R.B., *Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants*, Current Opinion in Plant Biology, 2000, Vol. 3, 153–162.
- [8] MIZERA A., *Gleba. Mechanizmy jej degradacji oraz metody rekultywacji*, GreenWord – Ochrona Środowiska i Ekologia, 2007, 1–6.
- [9] PIRRONE N., CINNIRELLA S., FENG X., FINKELMAN R.B., FRIEDLI H.R., LEANER J., MASON R., MUKHERJEE A.B., STRACHER G.B., STREETS D.G., TELMER K., *Global Mer-*

- cury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources*, Atmospheric Chemistry and Physics, 2012, Vol. 10, 5951–5964.
- [10] RADECKA I., WESOŁOWSKI M., *Concentration and distribution of mercury in rhizomes and roots of medicinal plants*, [w:] Obieg pierwiastków w przyrodzie t. III., Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 2005, 337–341.
- [11] SAS-NOWOSIELSKA A., *Fitotechnologie w remediacji terenów zdegradowanych przez przemysł cynkowo-olowiowy*, Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2009.
- [12] STUCZYŃSKI T., SIBIELEC G., MALISZEWSKA-KORDYBACH B., SMRECZEK B., GAWRYŚIAK L., *Wyznaczanie obszarów na których przekraczane są standardy jakości gleb. Poradnik metodyczny dla administracji*, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa, 2004, 1–103.
- [13] ZIELONKA U., *Stabilizacja chemiczna i fitostabilizacja gruntów zanieczyszczonych rtęcią. Metale ciężkie w środowisku*, Ekonomia i Środowisko, Białystok, 2008.
- [14] WOJNAR K., WISZ J., *Rtęć w polskiej energetyce*, Energetyka, kwiecień 2006.

#### THE USE OF PHYTOREMEDIATION FOR DIMINISHING OF MERCURY REMISSION TO THE AIR AT CONTAMINATED AREAS

Most of the methods are applicable to purification of mercury, despite its effectiveness, generates high costs and adversely affect the properties of the soil and its microflora. Considering the serious problem of mercury pollution, especially in industrial areas, the study used a method of phytoremediation which is deemed to be financially competitive and more friendly for the soil. This method works by creation on the surface dense plant cover designed to significantly reduce the evaporation process of mercury from the soil into the air. Additional benefits of this plant used and potentially limiting readily available forms of mercury in the soil, as well as a positive influence on the physico-chemical properties of the contaminated soil. In this study assumed experience on a laboratory scale using soil contaminated with mercury. The experiment included two variants: control (without plants) and experimental (soil with plants). Three species of grasses was tested: meadow bluegrass (*Poa pratensis*), sheep fescue (*Festuca ovina*) and cocksfoot (*Dactylis glomerata*). During the study was carried out observations of plant growth and the extent coverage of the soil surface. After creating a grass cover was made analysis of mercury evaporation from the soil and intensity of transpiration. Application of plant cover depressing Hg evaporation from the soil. Among the tested grass, cocksfoot showed the greatest growth, as well as the degree of surface coverage. Analysis of the intensity of evaporation, sheep fescue identified as a species leading the most intensive water management, and hence suspected of phytovolatilization properties.