



Otwarte seminaria 2016

**Instytut Ekologii Terenów
Uprzemysłowionych w Katowicach**

Technologie remediacji terenów zdegradowanych w skutek zanieczyszczenia rtęcią

**mgr inż. Dorota Ciszek
Zakład Badań i Rozwoju
Zespół Remediacji Środowiska**

Katowice, 28 stycznia 2016

Plan prezentacji

1. **Charakterystyka i obieg rtęci w przyrodzie**
2. **Źródła rtęci w środowisku**
3. **Metody remediacji rtęci**
 - **termiczna**
 - **fizyko-chemiczne**
 - **nanotechnologia**
 - **fito- i bioremediacja**
4. **Podsumowanie**

Rtęć - „płynne srebro”

- jest metalem ciężkim o wysokiej toksyczności (grupa metali śmierci)
- „priorytetowa substancja niebezpieczna”
- formy:
 - lotne: Hg^0 , $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$
 - łatwo rozpuszczalne w wodzie: HgCl_2 , $\text{Hg}(\text{OH})_2$
 - trudno rozpuszczalne w wodzie: CH_3Hg^+ , $\text{Hg}(\text{CN})_2$, Hg^{2+}

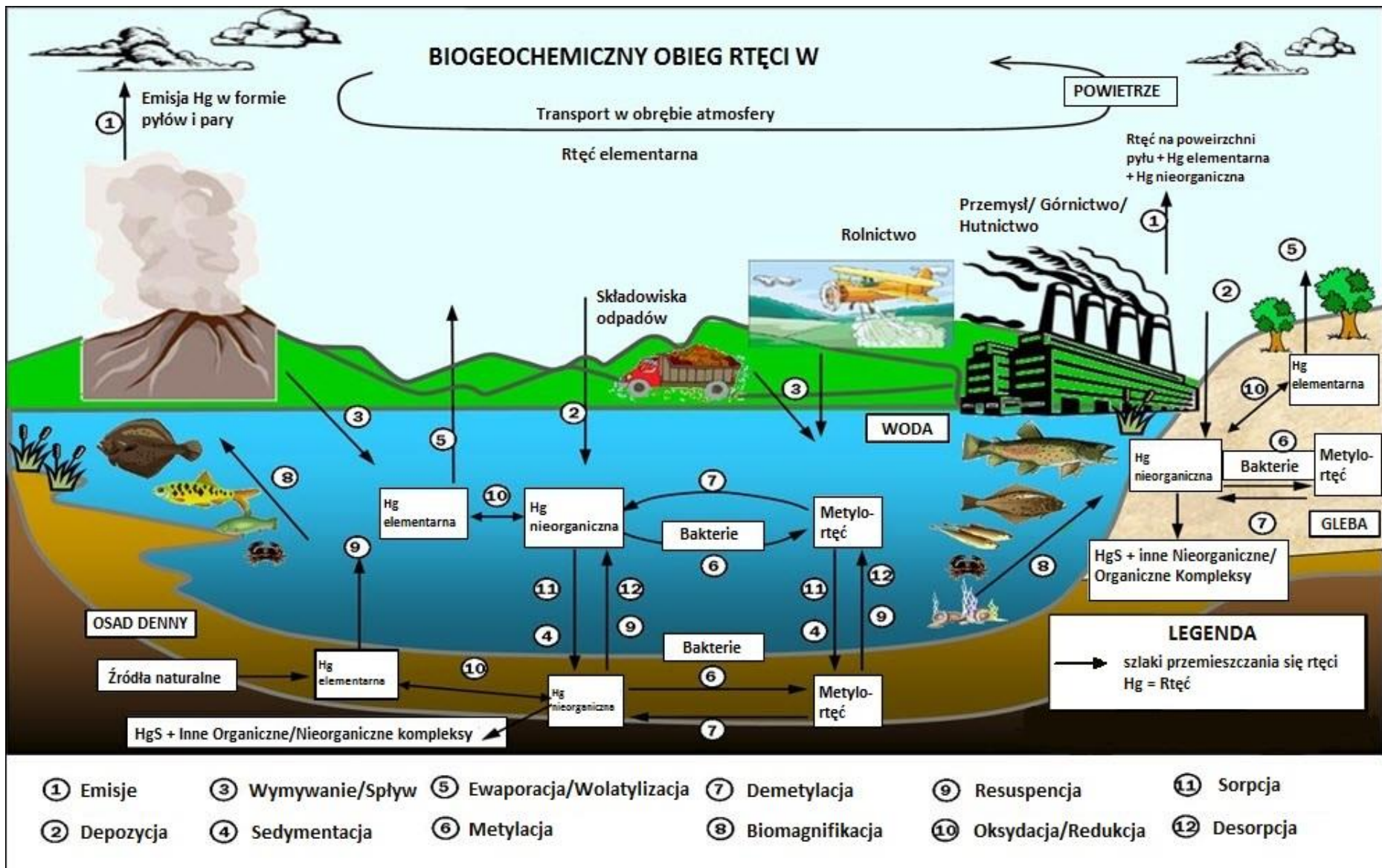


Czynniki wpływające na mobilność Hg

1. Właściwości fizyko-chemiczne
2. Nośniki rtęci
3. Procesy biologiczne i chemiczne



Obieg rtęci w przyrodzie



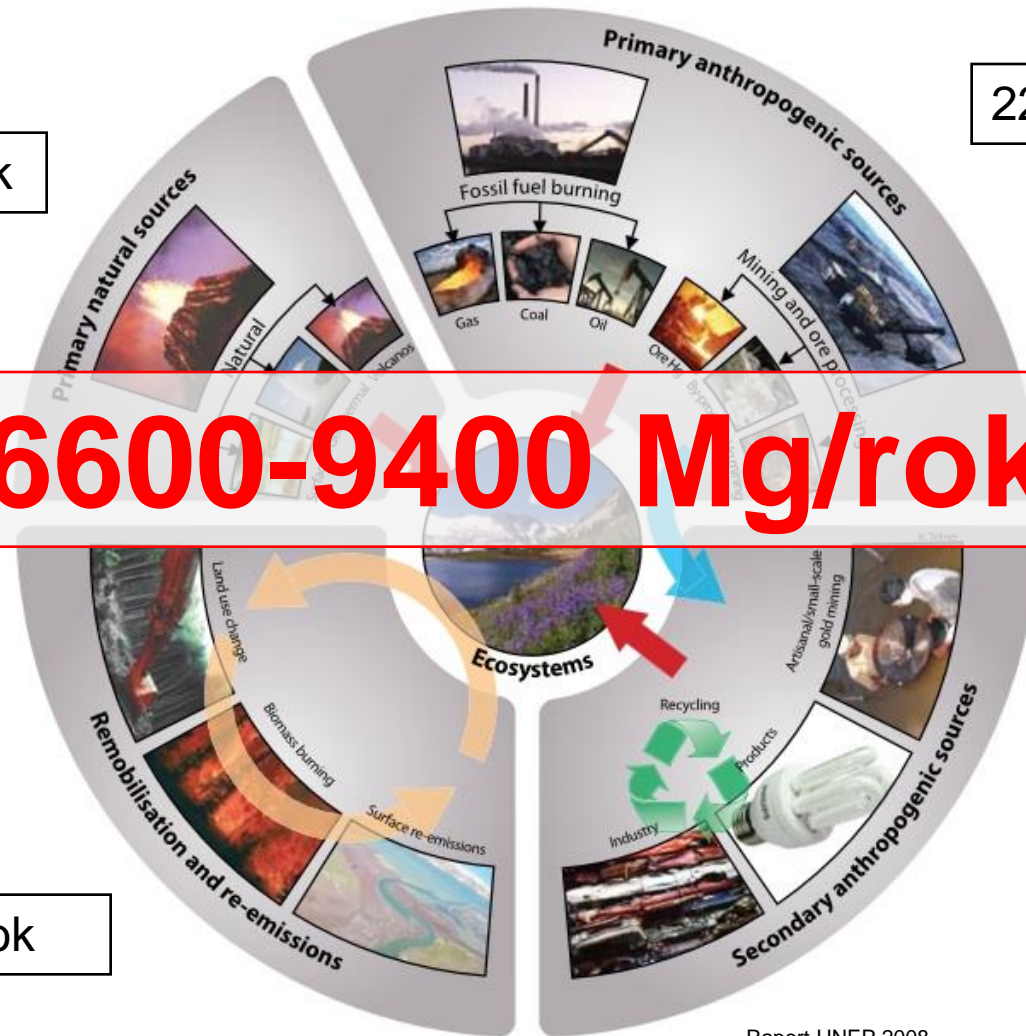
Źródła rtęci w środowisku

1100-2200 Mg/rok

2200-4400 Mg/rok

6600-9400 Mg/rok

2800-3300 Mg/rok



**Technologie
oczyszczania Hg**

**Metody
techniczne**

Desorpcja termiczna

**Stabilizacja i
zestalenie**

Witryfikacja

Płukanie gleby

**Oczyszczanie
elektrokinetyczne**

**Metody
biologiczne**

Nanotechnologia

Fitoremediacja

Bioremediacja

Metoda termiczna

Desorpcja termiczna - jest technologią oczyszczania, która wykorzystuje pośrednio lub bezpośrednio wymianę ciepła do usuwania (oddzielenia) zanieczyszczeń od matrycy stałej (gleba, osad).

Zalety:

- krótki czas oczyszczania
- wysoka skuteczność w usuwaniu nawet wysokich stężeń rtęci
- możliwość odzyskiwania form lotnych zanieczyszczeń po separacji

Wady:

- wysokie koszty jakie generuje metoda
 - negatywny wpływ na właściwości gleby poprzez wysoką temperaturą
-
- **Koszt:** 650-1000 USD/tona

Instalacja ISTD



Stabilizacja/Zestalanie

Proces polega na mieszaniu gleby ze środkiem redukującym, w celu ograniczenia mobilności metali, a następnie unieruchomienia zanieczyszczenia w stabilizującej masie.

Zalety:

- kosztowo atrakcyjna
- materiał zanieczyszczony nie wymaga wcześniejszej obróbki
- metoda umożliwia oczyszczanie rtęci na różnych głębokościach

Wady:

- zanieczyszczenie nie jest usuwane ze skażonego medium
 - po zestaleniu produkt ma większą masę
 - istnieje potrzeba systemu monitorowania materiału powstałego w trakcie technologii
-
- **Koszt:** 30 do 250 USD/ tona



Witryfikacja

Technologia zeszkliwiania należy do procesów stabilizujących zanieczyszczenie w warunkach wymagających dostarczenia dużej ilości energii cieplnej. Produkt wyjściowy jest w formie zeszkłonej.

Zalety:

- skuteczna stabilizacja materiałów silnie zanieczyszczonych toksycznymi pierwiastkami
- otrzymanie trwałego i stabilnego produktu, który może zostać ponownie wykorzystany
- zmniejszenie ilości zanieczyszczonego materiału

Wady:

- wysokie koszty wynikające z dużego zapotrzebowania na energię
- potrzebę wychwytywania i oczyszczenia gazów odlotowych
- **Koszt:** 400-870 USD/tona



Płukanie gleby

Polega na wprowadzeniu do gleby różnymi sposobami roztworów ekstrahujących zanieczyszczenia. Przeprowadzana jest dzięki separacji fizycznej lub/i ekstrakcji chemicznej.

Zalety:

- usuwa na stałe zanieczyszczenie z gleby
- krótki okres oczyszczania
- możliwość usunięcia nierozpuszczalnych w wodzie form rtęci (ekstrakcja chemiczna)

Wady:

- duże zapotrzebowanie na wodę, która po procesie musi być oczyszczona
- związki zaabsorbowane na cząstkach gruntu, pozostają w glebie po zakończeniu remediacji, co może niekorzystnie wpływać na rozwój mikroorganizmów glebowych
- trudności w glebach zawierających wysokie zawartość gliny i wysoką zawartość materii organicznej
- niszczenie struktury gleby, duża ingerencja w środowisko

Koszt: 10-350 USD/ tona

Oczyszczanie elektrokinetyczne

Metoda elektroremediacji wykorzystuje pole elektryczne wytwarzane przez przepływ prądu, w wyniku którego zanieczyszczenia migrują w stronę odpowiednich elektrod, na których się wytrącają.

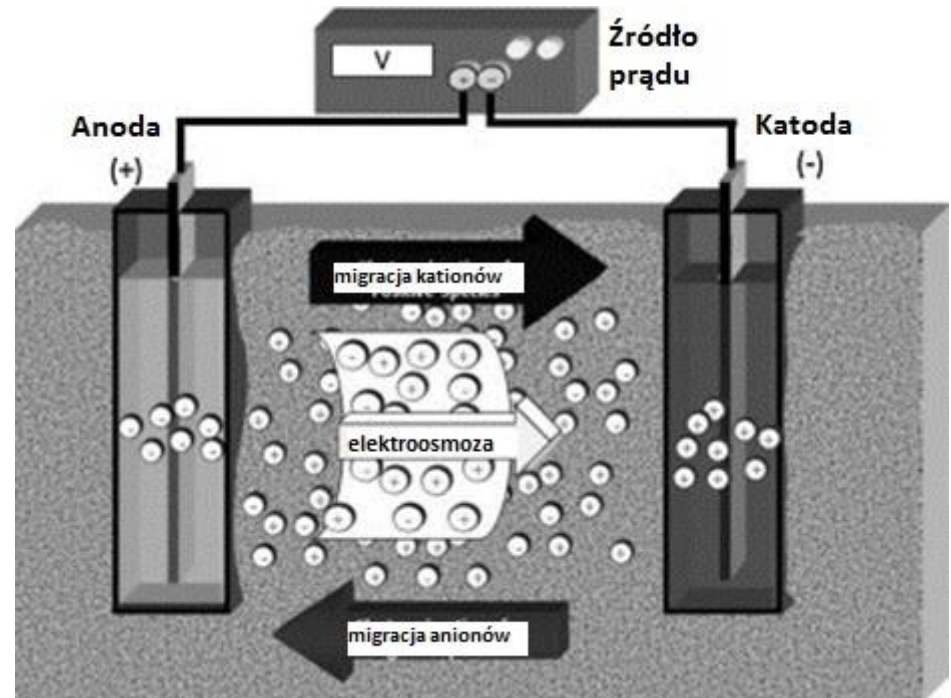
Zalety:

- skuteczność w glebach o niskiej przepuszczalności wodnej
- kosztowo opłacalna
- może być stosowana do usuwania wszelkich form rtęci

Wady:

- wymagane warunki kwasowe
- zakłócające działanie materii organicznej oraz jonów innych niż docelowe

- **Koszt:** 70-300 USD/ tona



Nanotechnologia

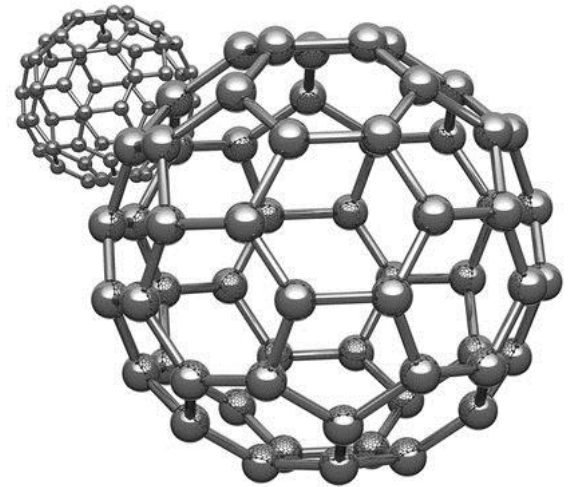
Technologia polega na zastosowaniu cząstek o wielkości w zakresie od 1 do 100 nm, które mają wpływ na mobilność, toksyczność i / lub biodostępność zanieczyszczeń.

Zalety:

- metoda nieinwazyjna, przyjazna środowisku
- małe zapotrzebowanie na energię
- relatywnie niskie koszty zastosowania

Wady:

- brak wiedzy na temat losu i transportu nanocząsteczek w środowisku oraz potencjalnych skutków toksykologicznych indukowanych przez ich zastosowanie
- **Koszt:** brak danych



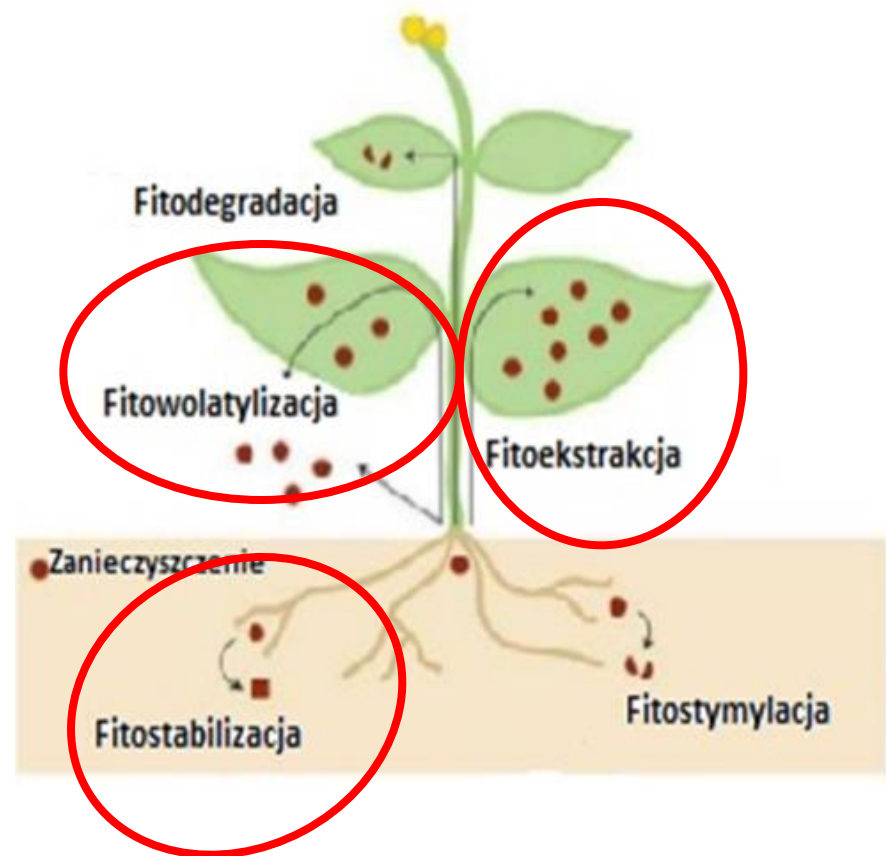
fot. Shutterstock

Fitoremediacja (1)

Fitоекstrakcja- wykorzystuje zdolność roślin do kumulacji zanieczyszczeń w częściach nadziemnych.

Fitostabilizacja- polega na unieruchomieniu zanieczyszczeń w glebie na skutek kumulacji na powierzchni lub w korzeniach.

Fitowolatyliczacja- pobieranie zanieczyszczenia przez roślinę, a następnie uwalnianie zanieczyszczenia lub modyfikowanej jego formy z rośliny do atmosfery.



Fitoremediacja (2)

Fitoekstrakcja



Fitostabilizacja

Fitowolatyliczacja



Fitoremediacja (3)

Zalety:

- niskie koszty stosowania
- nadaje się na tereny o dużej powierzchni
- nie niszczy bioróżnorodności
- mogą być uzupełnieniem dla działań technicznych

Wady:

- ograniczona do głębokości systemu korzeniowego
- skuteczność metody zależy od ilości biodostępnych form zanieczyszczenia
- wymaga ciągłej kontroli
- **Koszt:** 15-200 USD/ tona

Bioremediacja

Proces wykorzystujący bakterie, drożdże lub grzyby strzępkowe. Mikroorganizmy te mają za zadanie obniżenie stężenia zanieczyszczeń do bezpiecznego poziomu lub przekształcenie ich do związków nietoksycznych.

Zalety:

- niski koszt
- technologia nie wymaga skomplikowanej aparatury
- zastosowanie na dużych powierzchniach

Wady:

- należy monitorować warunki fizyko-chemiczne podczas trwania procesu
- **Koszt:** 30 - 100 USD/m³



Fot. Magdalena Pacwa-Płociniczak

PODSUMOWANIE

Rodzaj technologii	Opis procesu	Referencje	Koszt
Desorpcja termiczna	Ekstrakcja Hg do formy lotnej w warunkach wysokiej temperatury, a następnie kondensacja do formy elementarnej	Massacci i in. 2000; Qu i in. 2004; Kucharski i in. 2005; Taube i in. 2008; Navarro i in. 2009	650 - 1000 USD/tona
Stabilizacja/Zestalenie	Stabilizacja Hg do form nierozpuszczalnych i mniej mobilnych, a następnie zestalenie w sztywnym i trwałym materiale	Fuhrmann i in. 2002; Zhang i Bishop 2002; Zhuang i in. 2004; Randall i Chattopadhyay 2010	30 - 250 USD/tona
Witryfikacja	Proces immobilizacji poprzez zeszkliwienie medium zanieczyszczonego	Cicero i Biskford 1995; US EPA 1997	400 - 870 USD/tona
Płukanie gleby	Ekstrakcja chemiczna Hg w glebie przy użyciu roztworów ekstrahujących	Abumaizar i Smith 1999; Dermont I in. 2008; Sierra i in. 2011; Xu i in. 2014	10 - 350 USD/tona
Oczyszczanie elektrokinetyczne	Wykorzystanie procesu elektroosmozy do wytrącania się Hg na membranie	Hansen i in. 1997; Thöming i in. 2000; Reddy i in. 2003 ; Shen i in. 2009	70 – 300 USD/tona
Nanotechnologia	Wykorzystanie nanocząsteczek w celu zmniejszenia mobilności, toksyczności związków Hg	Cabrejo i Phillips 2010; Xiong i in. 2009	Brak danych
Fitoremediacja	Wykorzystanie roślin do ekstrakcji, immobilizacji lub odparowania Hg z/w gleby	Wang i in. 2005; Rodríguez i in. 2007; Sas-Nowosielska i in. 2008; Pérez-Sanz i in. 2012	15 – 200 USD/tona
Bioremediacja	Wykorzystanie mikroorganizmów do kumulacji i przekształcenia Hg w formy mniej biodostępne	Sinha i Khare 2012; Wagner-Dobler 2013; Wiatrowski I in. 2006	30 – 100 USD/ m ³



Otwarte seminaria 2016

*„Co technika zniszczyła, technika
i człowiek muszą odtworzyć”
W. Goetel*

Dziękuję za uwagę

ciszek@ietu.katowice.pl

Instytut Ekologii Terenów Uprzemysłowionych

Zakład Badań i Rozwoju- Remediacja Środowiska