

Uniwersytet Warszawski
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych
Zakład Geoinformatyki, Kartografii i Teledetekcji



Teledetekcja hiperspektralna w monitoringu obszarów zanieczyszczonych metalami ciężkimi

**Bogdan Zagajewski, Jerzy Lechnio, Anna Jarocińska, Marlena Kycko,
Adrian Ochtyra, Adriana Marcinkowska-Ochtyra, Elżbieta Romanowska,
Małgorzata Krówczyńska, Edwin Raczko, Karolina Orłowska**

Pytanie badawcze:

- Czy metody teledetekcyjne są przydatne do analizy roślinności zanieczyszczonej metalami ciężkimi?

Cele prezentacji:

- Przedstawienie zintegrowanych metod badawczych (teledetekcji i fizjologii roślin) w analizie roślinności obszarów zanieczyszczonych metalami ciężkimi,
- przydatność teledetekcji do prowadzenia biomonitoringu środowiska,
- możliwości prowadzenia monitoringu środowiska na obszarach zanieczyszczonych.

Obiekty badań:

- Obszary rekultywowane po kopalniach i przetwórstwie metali w miejscowości Gyöngyösoroshi (NE Węgry) oraz Aznalcollar k. Sewilli (SW Hiszpania).

Metale ciężkie

- Występują naturalnie w skorupie ziemskiej,
- Gęstość pierwiastka $> 4,5 \text{ g/cm}^3$,
- Cechują się zdolnością oddawania elektronów,
- **Makroelementy** w naturalnych stężeniach są **niezbędne w procesach fizjologicznych** i stanowią powyżej 0,01% suchej biomasy (K, Mg, Ca),
- Mikroelementy występują w ilości od 0,01 do 0,00001% suchej biomasy (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl, Ni),
- **Niedobór oraz nadmiar pierwiastka wpływa na stres jonowy organizmu.** Nie dotyczy to pierwiastków o gęstości $> 5 \text{ g/cm}^3$, są szkodliwe w każdej ilości (Cd, Pb, Hg, Al, Co, Tl, As),
- metale niezbędne w niewielkich ilościach do metabolizmu roślin, np. Mg, Zn, Mn, Cu, Ni, Fe.

Objawy niedoboru metali w roślinach

- spadek tempa wzrostu i zahamowanie wzrostu pędów,
- spadek biomasy korzeni, gęstości włóśników,
- brązowienie wierzchołków,
- chlorozy, nekrozy liści,
- spadek liczby liści i przedwczesne ich starzenie,
- czerwone, purpurowe (flawonoidowe) zabarwienia,
- wzrost barwników antocyjanowych w liściach,
- deficyt makro- i mikroelementów (Pandey, Sharma 2002),

Negatywny wpływ metali ciężkich

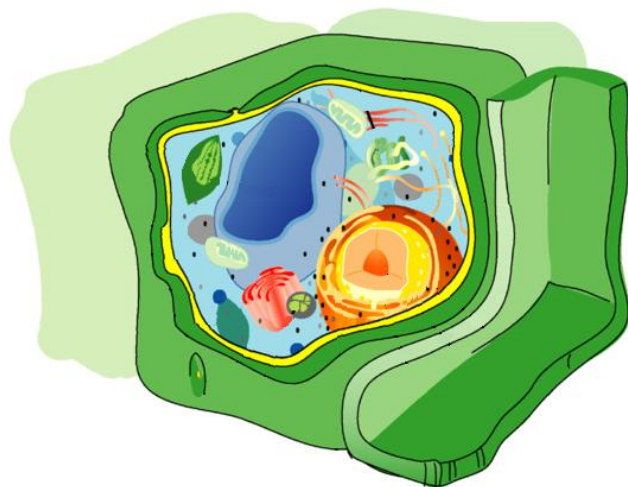
- **hamowanie i zakłócanie procesów fizjologicznych**, np. polimerazy DNA, RNA, ATPazy, enzymów, syntez substancji, np. kwasu jabłkowego (Sanita di Toppi, Gabbrielli 1999),
- **metale $^{2+}$ (Cu, Cr, Ni, Cd, Co, Pb, Zn) podmieniają metale struktur białkowych** (np. Mg w chlorofilu, Ca w kalmodulinie), **łączą się z O, N i S, reagują z grupami funkcyjnymi**, np. z fosforanowymi ADP i ATP lub z grupami karboksylowymi. Zaburza to funkcjonowanie biocząsteczek, negatywnie wpływa na metabolizm białek, homeostazę Ca i biosyntezę,
- **generują reaktywne formy tlenu ROS i wolne rodniki FR**, prowadzi do powstania stresu oksydacyjnego – uszkodzenia błon komórkowych oraz błon wewnątrz komórki, a także uszkodzenia struktury kwasów nukleinowych (Krzesłowska, 2004),
- **zabijają mikroorganizmy glebowe i rizosferę** (Castro et al. 1997).

Pobieranie i transport metali

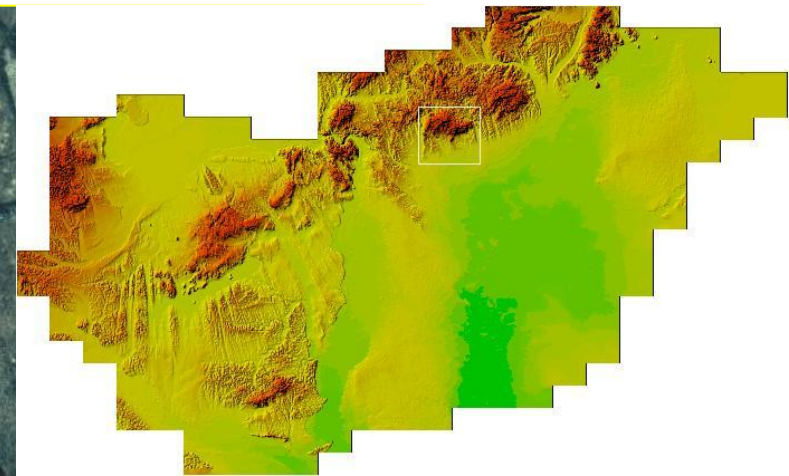
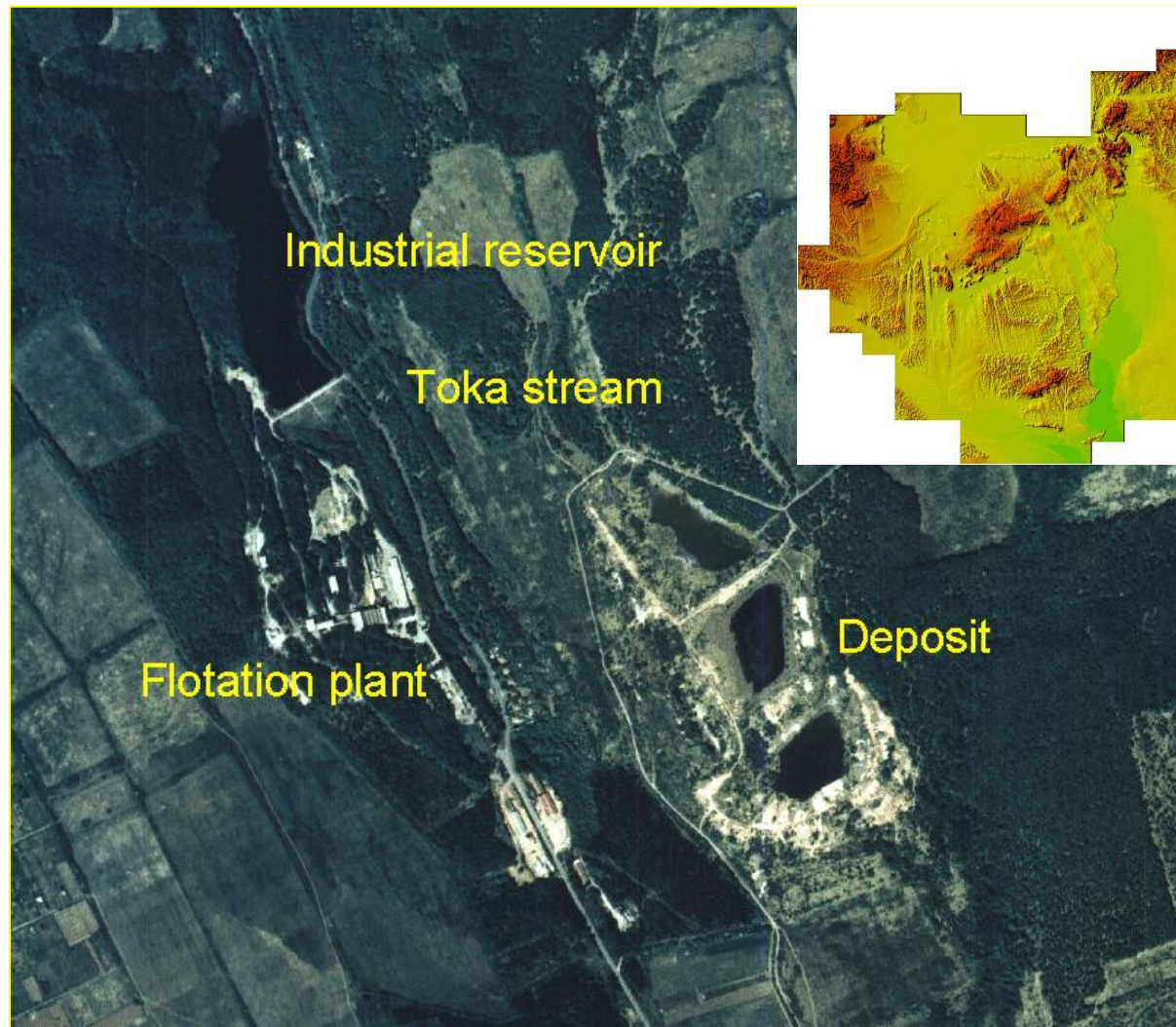
- **rośliny lądowe** pobierają metale głównie **z roztworu glebowego przez system korzeniowy** (Zenk, 1996),
- **absorbują z powietrza** atmosferycznego (np. w okolicy emitatorów hut metali i szlaków komunikacyjnych) **przez aparaty szparkowe** i powierzchnie liści w postaci gazowej lub jako metale rozpuszczone w wodzie opadowej (Garrec, Renard, 1996),
- czynnikami wpływającymi na pobieranie metali z gleby są: sorpcja i wymiana jonów, struktura i tekstura gleby oraz pojemność wymienna w stosunku do kationów, gleby, retencja wody i jej ruch, powietrze glebowe, odczyn gleby i ogólna zawartość metali (Piotrowska, Kabata-Pendias, 1997),
- **rozpuszczalność soli metali rośnie wraz z obniżaniem pH.**

Lokalizacja metali w roślinach

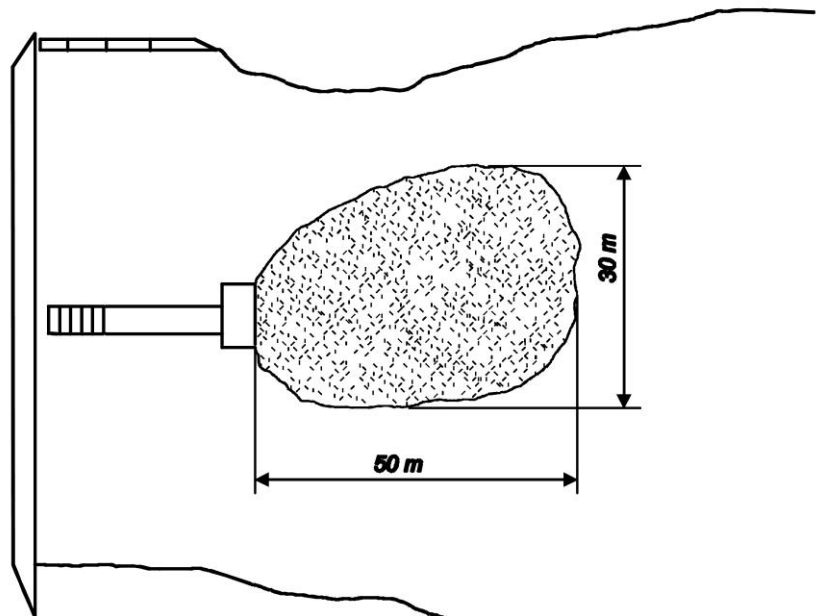
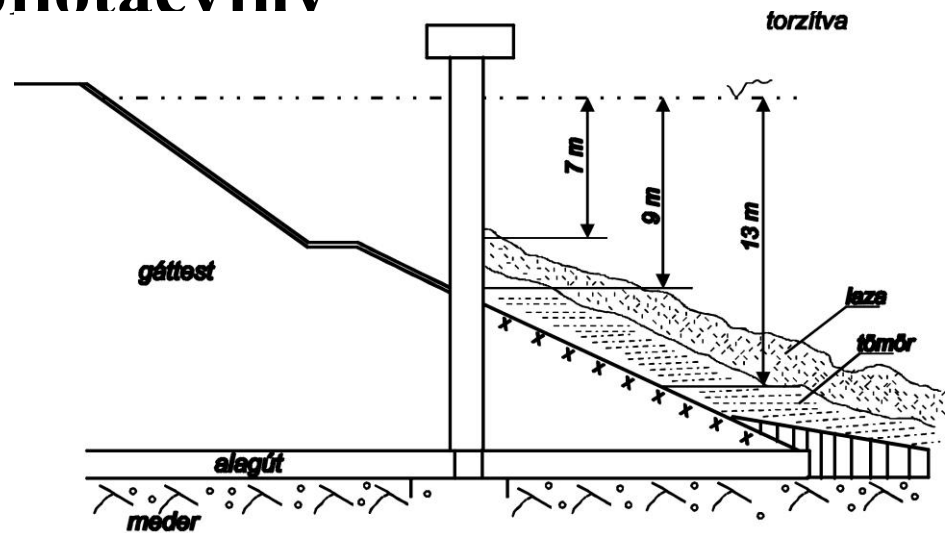
- do 70–98% pobranych **metali** (Cd, Pb, Cu, Zn, Ni) **pozostaje w korzeniach**, migracja do liści zależy od stężenia jonów w podłożu,
- w korzeniach metale (Pb, Cu, Cd) **wiązane są głównie w ścianie komórkowej**,
- **mało metali stwierdzono w jądrze komórkowym**, wakuolach, ciałach tłuszczowych, peroksysomach, mitochondriach, diktiosomach, ER, AG, chloroplastach (Neuman et al. 1995),
- obecność metali ciężkich w korzeniach:
 - powoduje wzrost liczby korzeni,
 - spadek ich rozmiarów,
 - silną redukcję liczby odgałęzień.



Obszar badań – Gyöngyösesroszi (Węgry)



Górny zbiornik poflotacvinv



Węglanowe tamy stabilizujące migrację metali



Zdjęcia zrobione przez grupę JRC w 2002

Materialy referencyjne: G. Jordan and M. D'Alessandro Editors: Mining, mining waste and related environmental issues: problems and solutions in central and eastern European candidate countries. PECOMINES JRC Enlargement report, 19/08/2004

Obiekt badań – trzcina pospolita

Phragmitetum australis



Górna tama



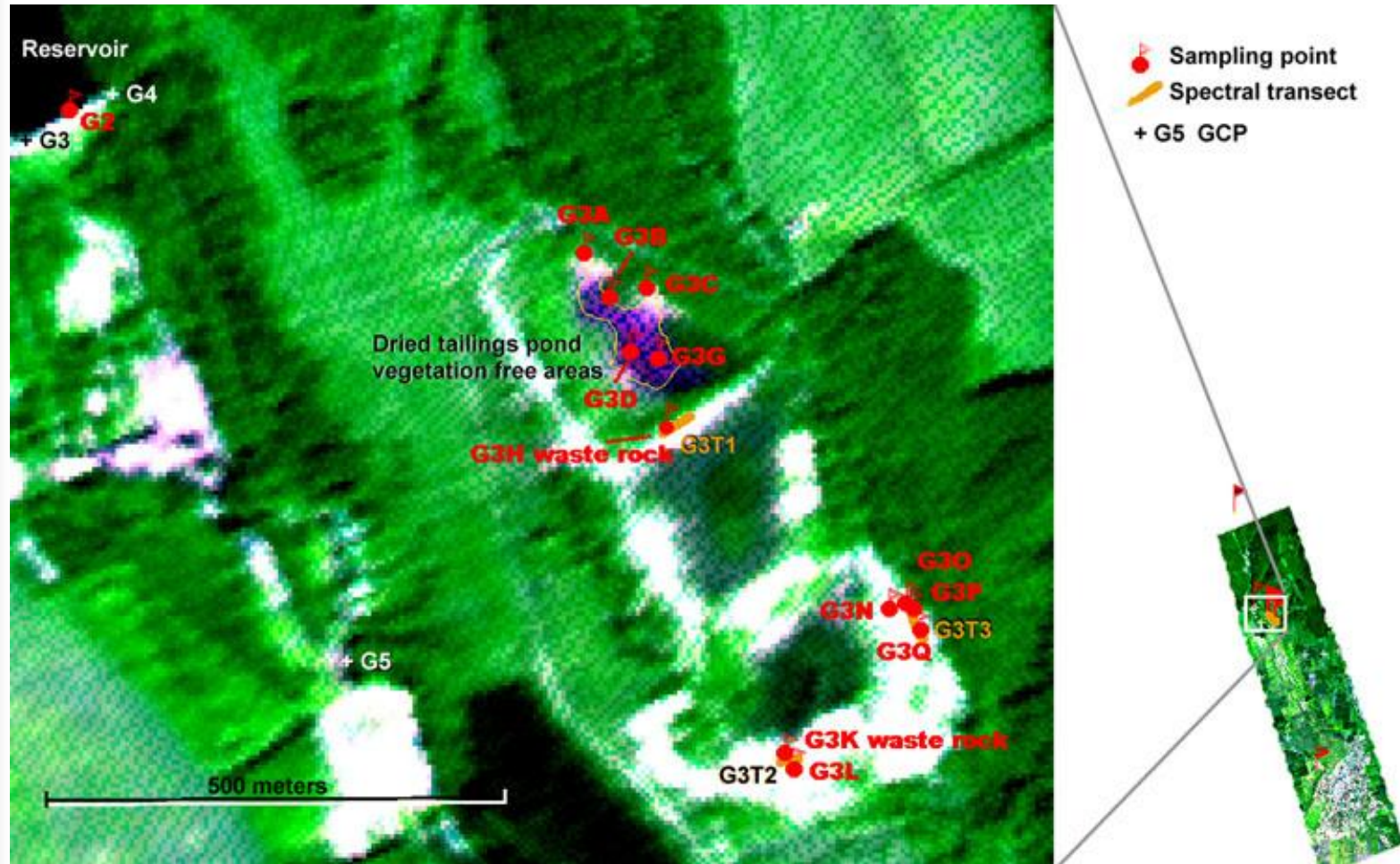
Phragmitetum australis

Zdjęcia zrobione przez
zespół ITC w sierpniu 2002
podczas badań terenowych



Dolna tama

Rozmieszczenie punktów badawczych

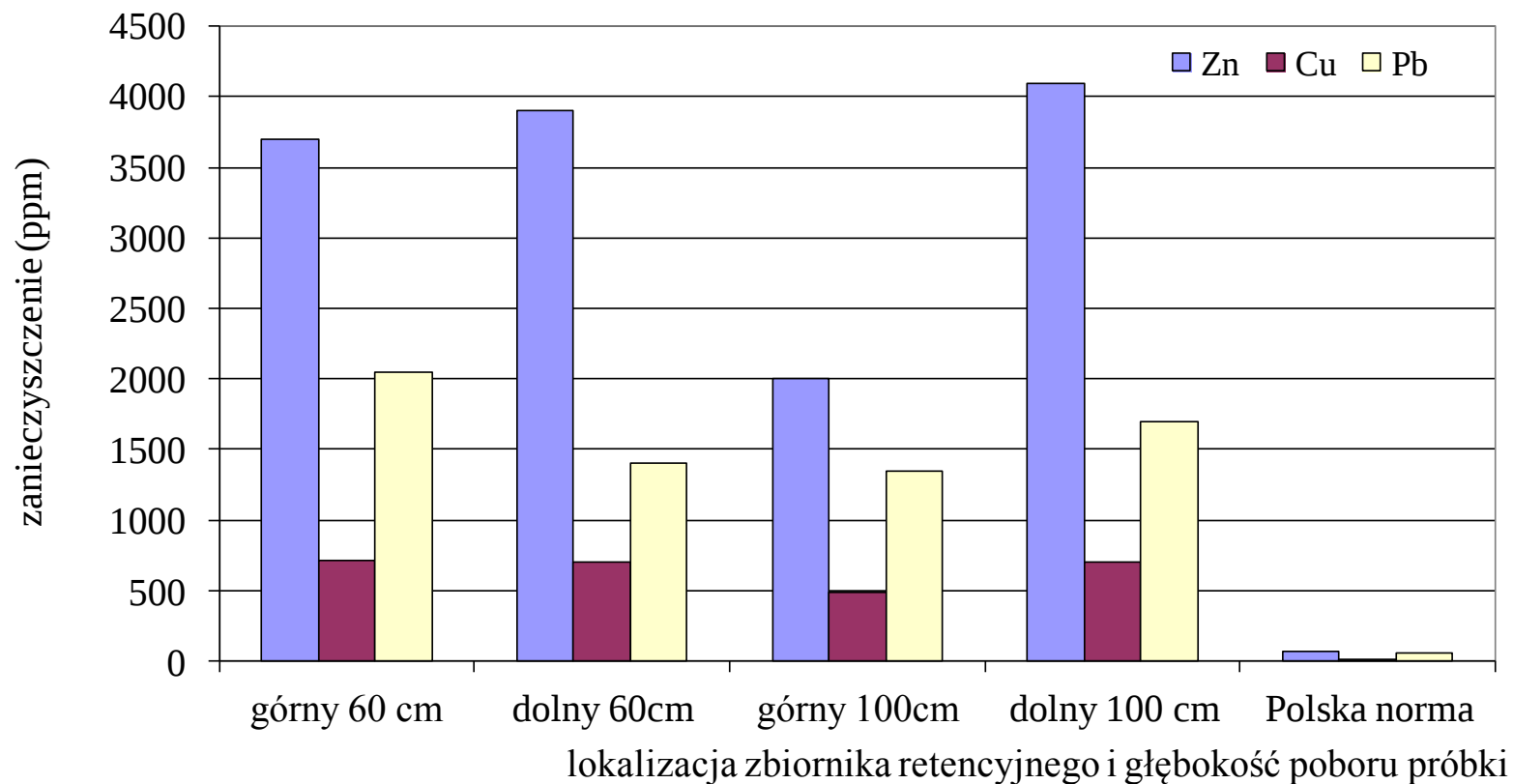


źródło: Henrik Hargitai, PhD student, Budapest 2002

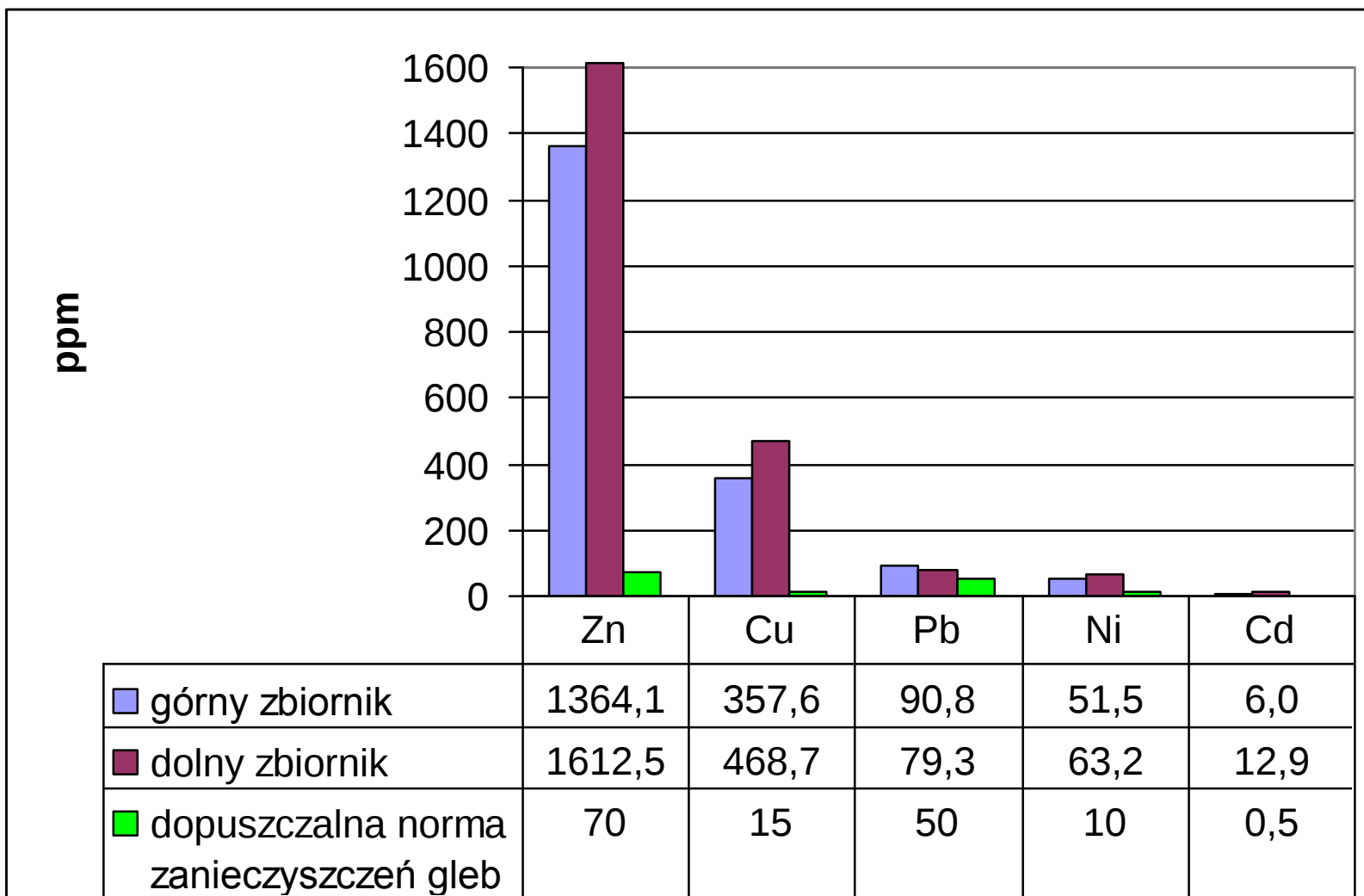
Metody badań

- Naziemne pomiary hiperspektralne (GER 3700);
- Pomiar zawartości chlorofilu a, b i karotenoidów;
- Pomiar promieniowania fotosyntetycznie czynnego (PAR) do obliczenia akumulowanej energii z zakresu fotosyntezy (APAR) i frakcji zaakumulowanej energii względem dopływającego promieniowania (fAPAR);
- Pomiar powierzchni projekcyjnie czynnej (LAI);
- Pomiar wskaźnika liściowego (suche/zielone liście)
- Pomiar temperatury termodynamicznej nad baldachimem roślinnym oraz temperatury radiacyjnej roślinności (wskaźnik temperaturowy $t_s - t_a$);
- Pomiary zawartości metali ciężkich w glebie i liściach (Al, Ti, V, Cr, Fe, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Se, Sr, Zr, Mo, Ag, Cd, Pb).

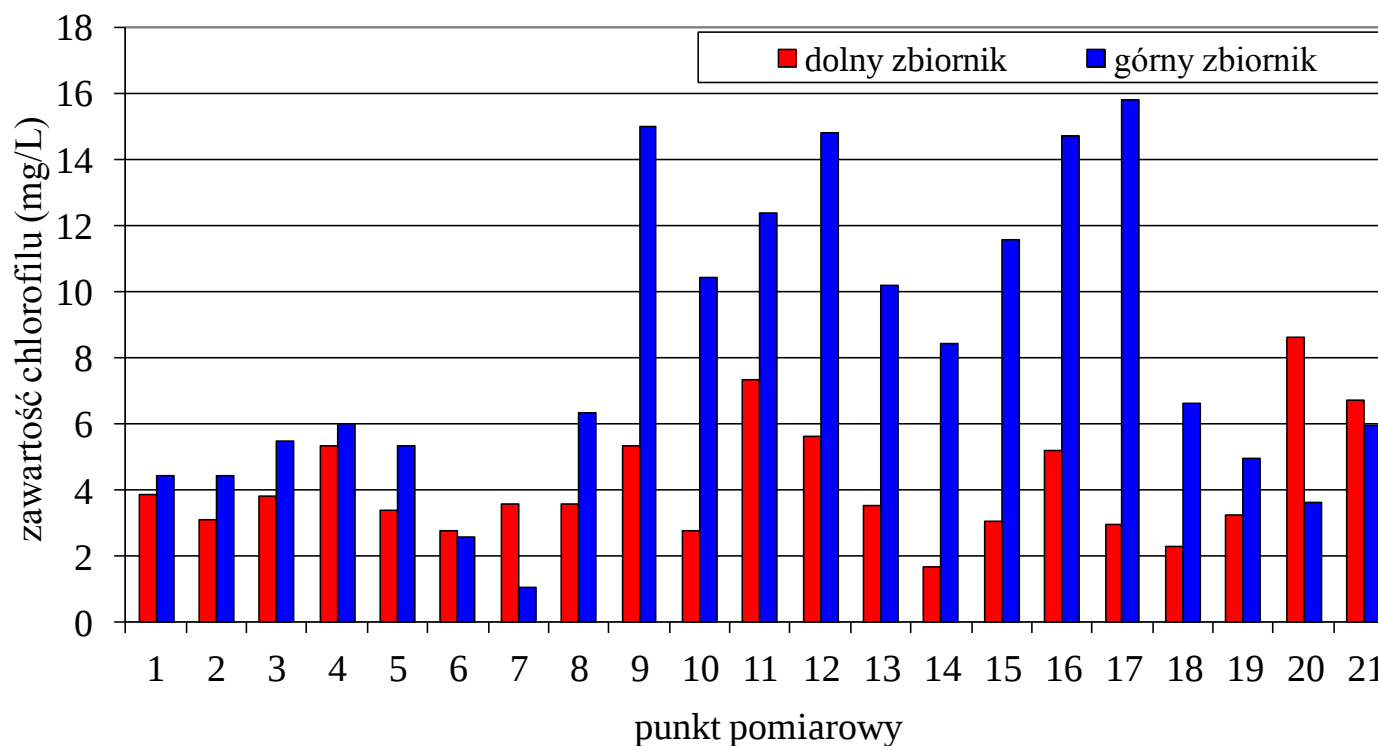
Zawartość najważniejszych metali ciężkich w glebie



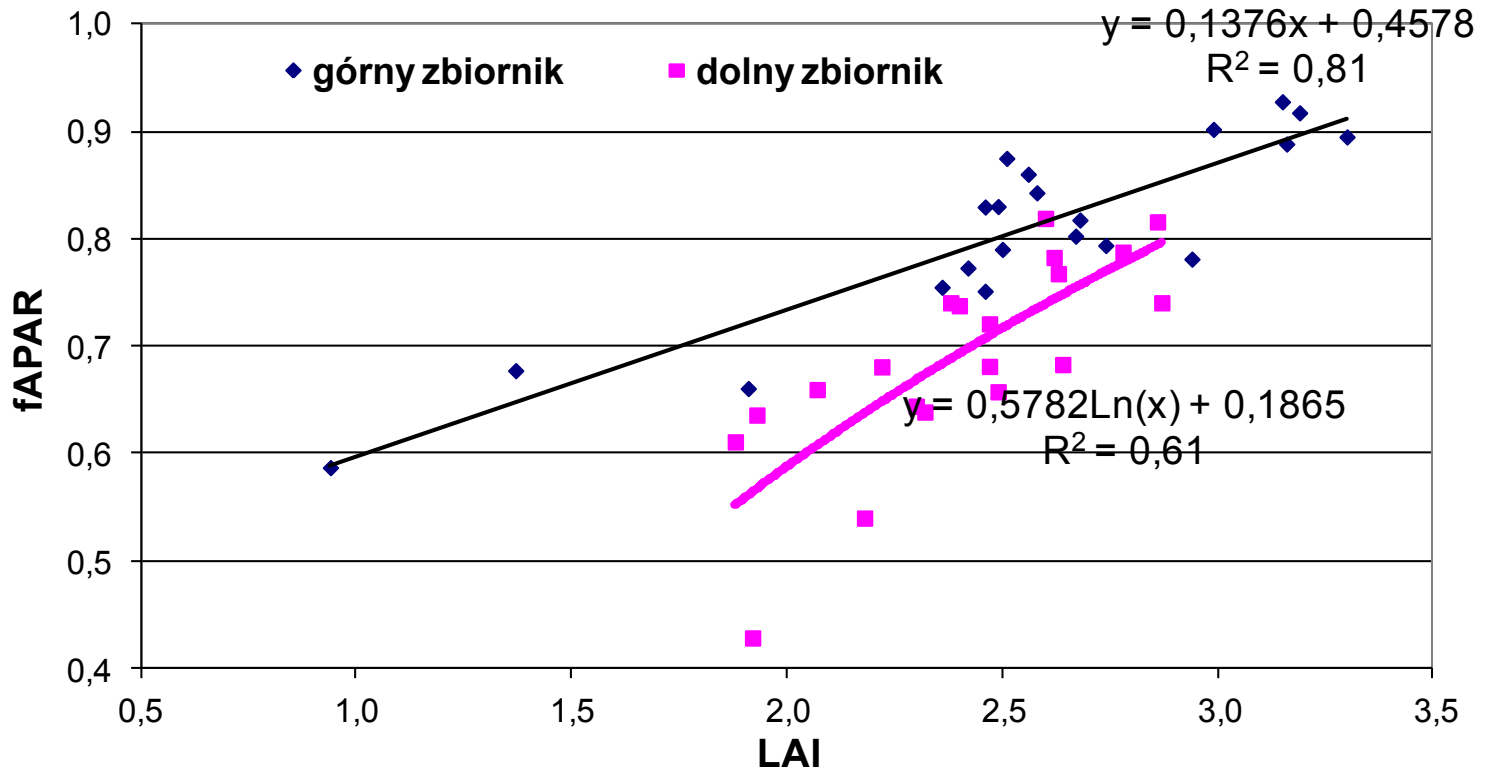
Zawartość najważniejszych metali ciężkich w liściach



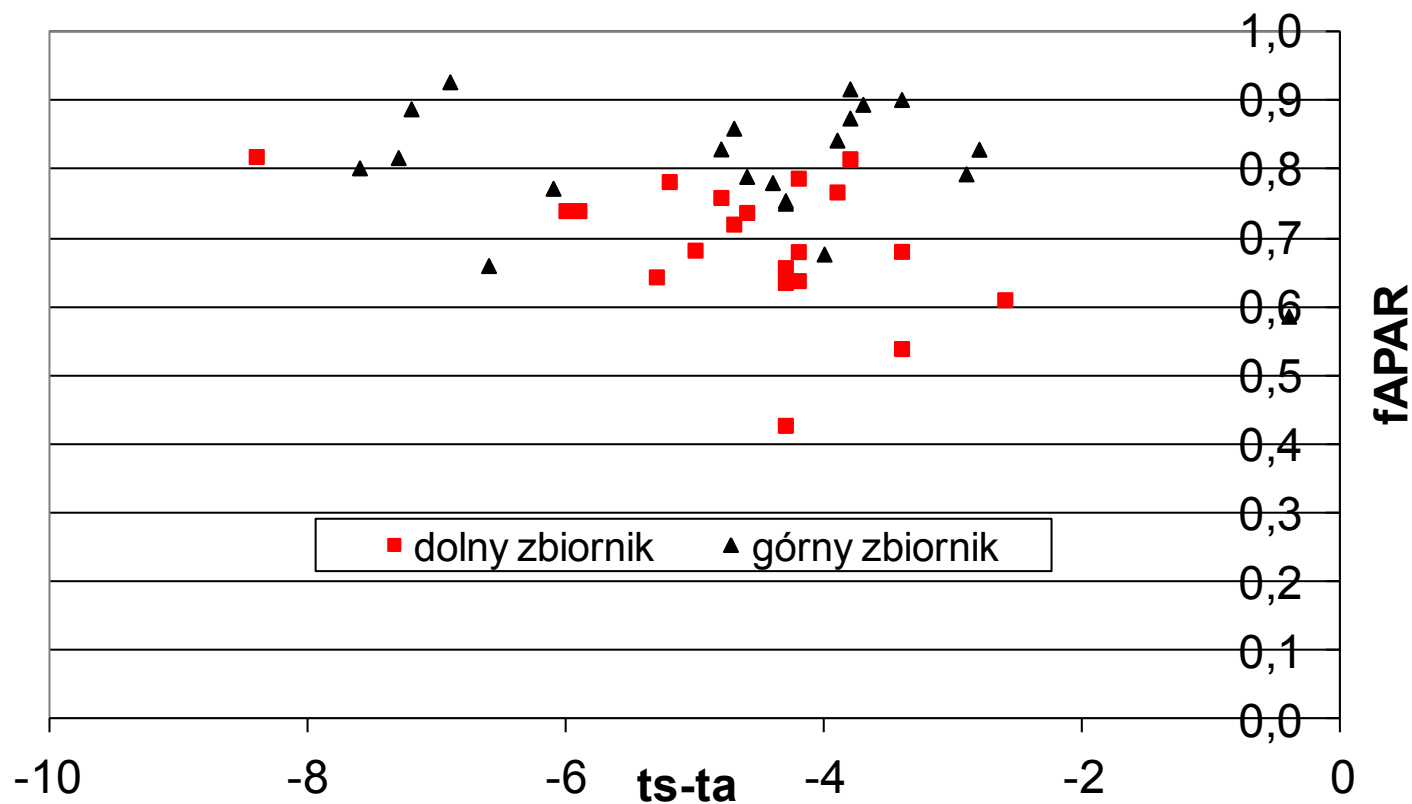
Zawartość chlorofilu w badanych próbkach



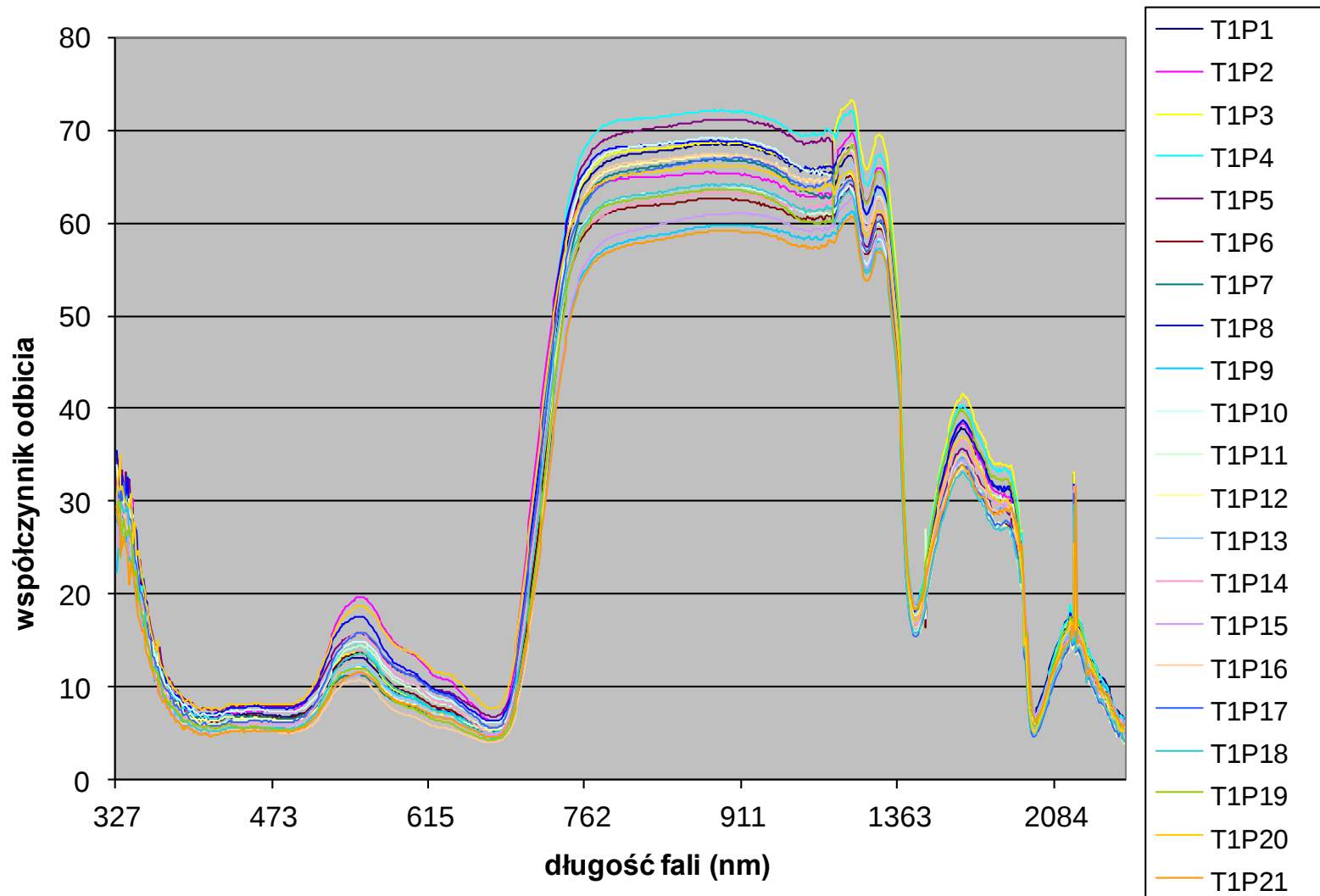
Wskaźniki biomasy



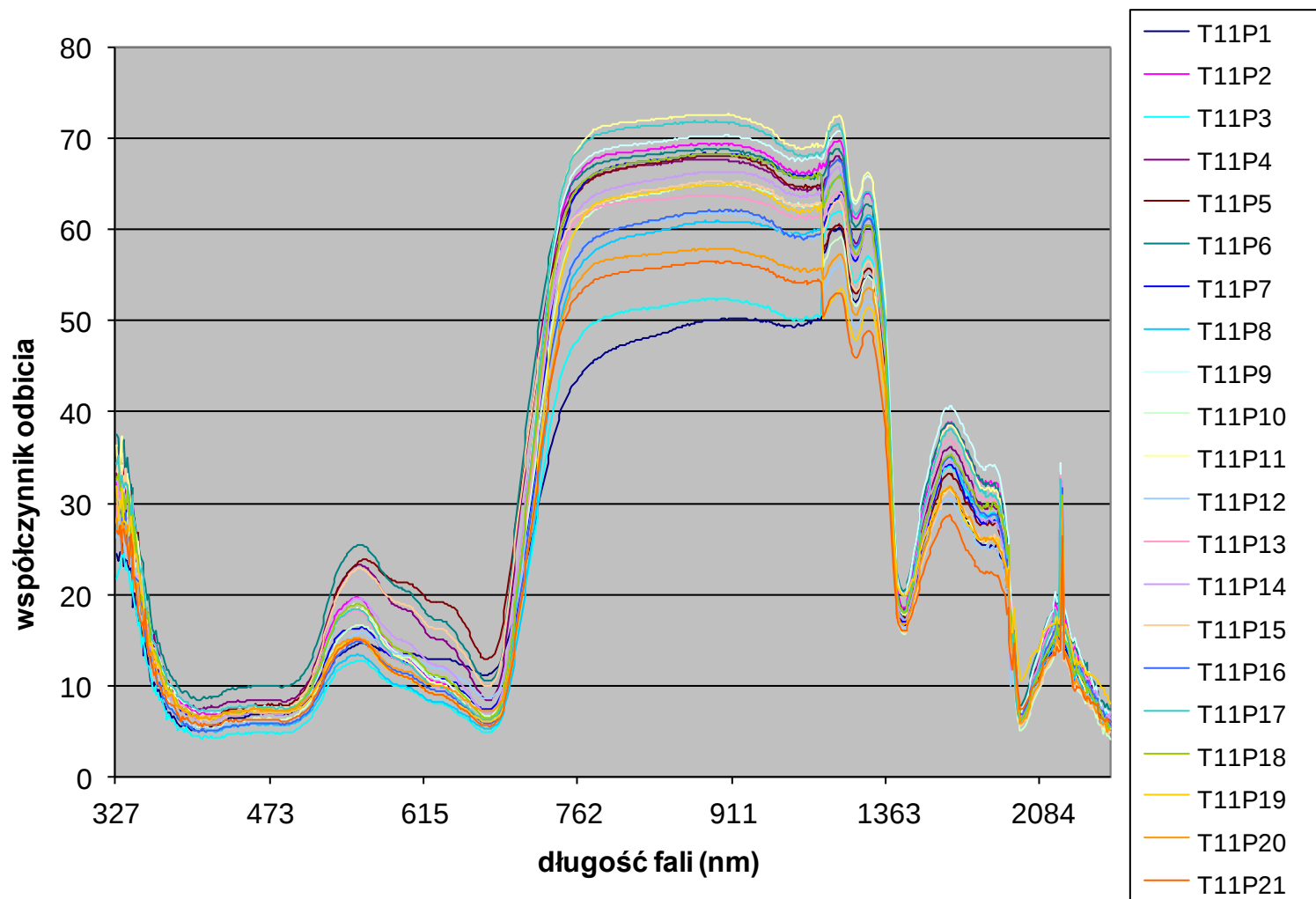
Wskaźnik stresu wodnego



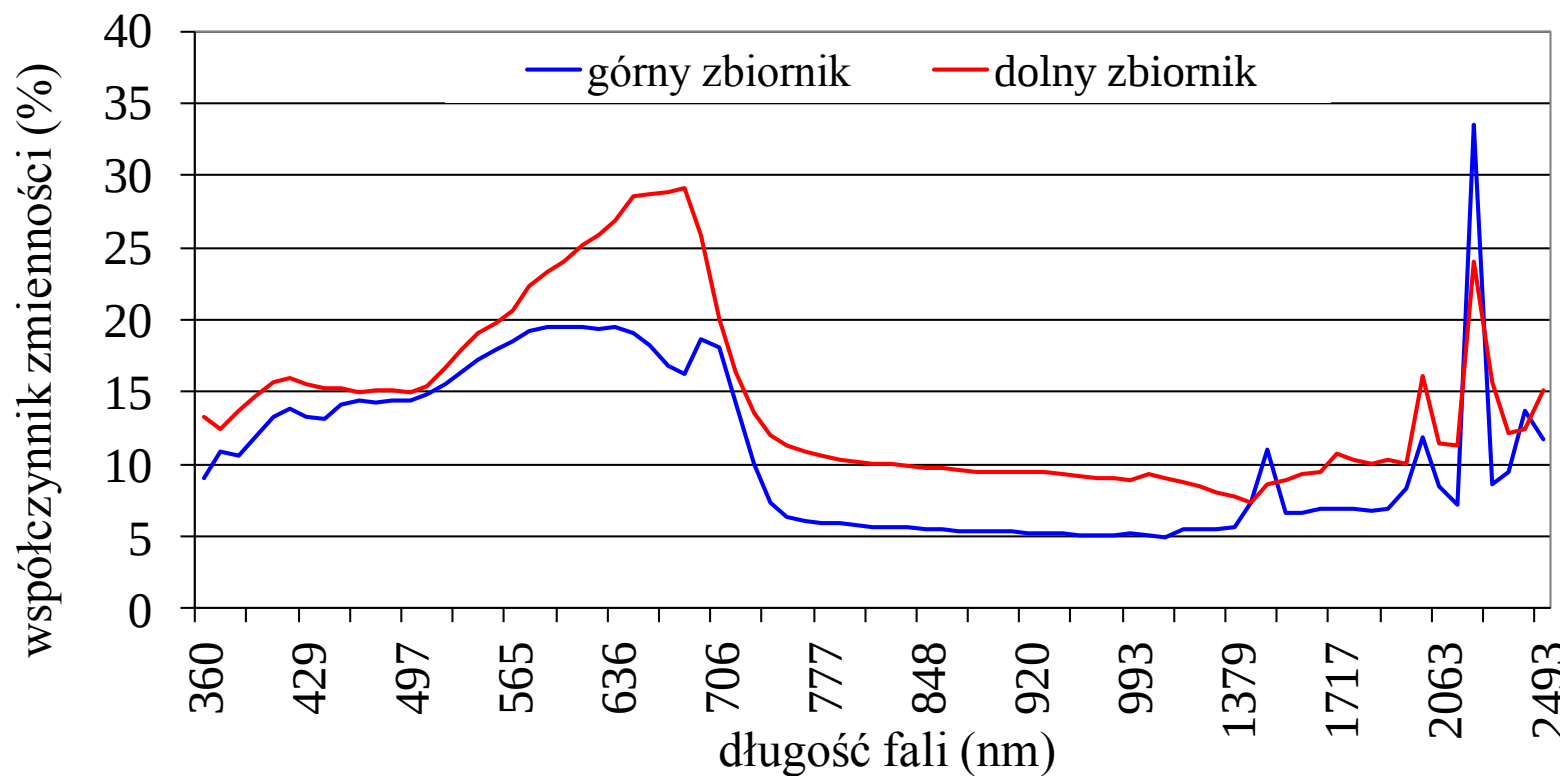
24



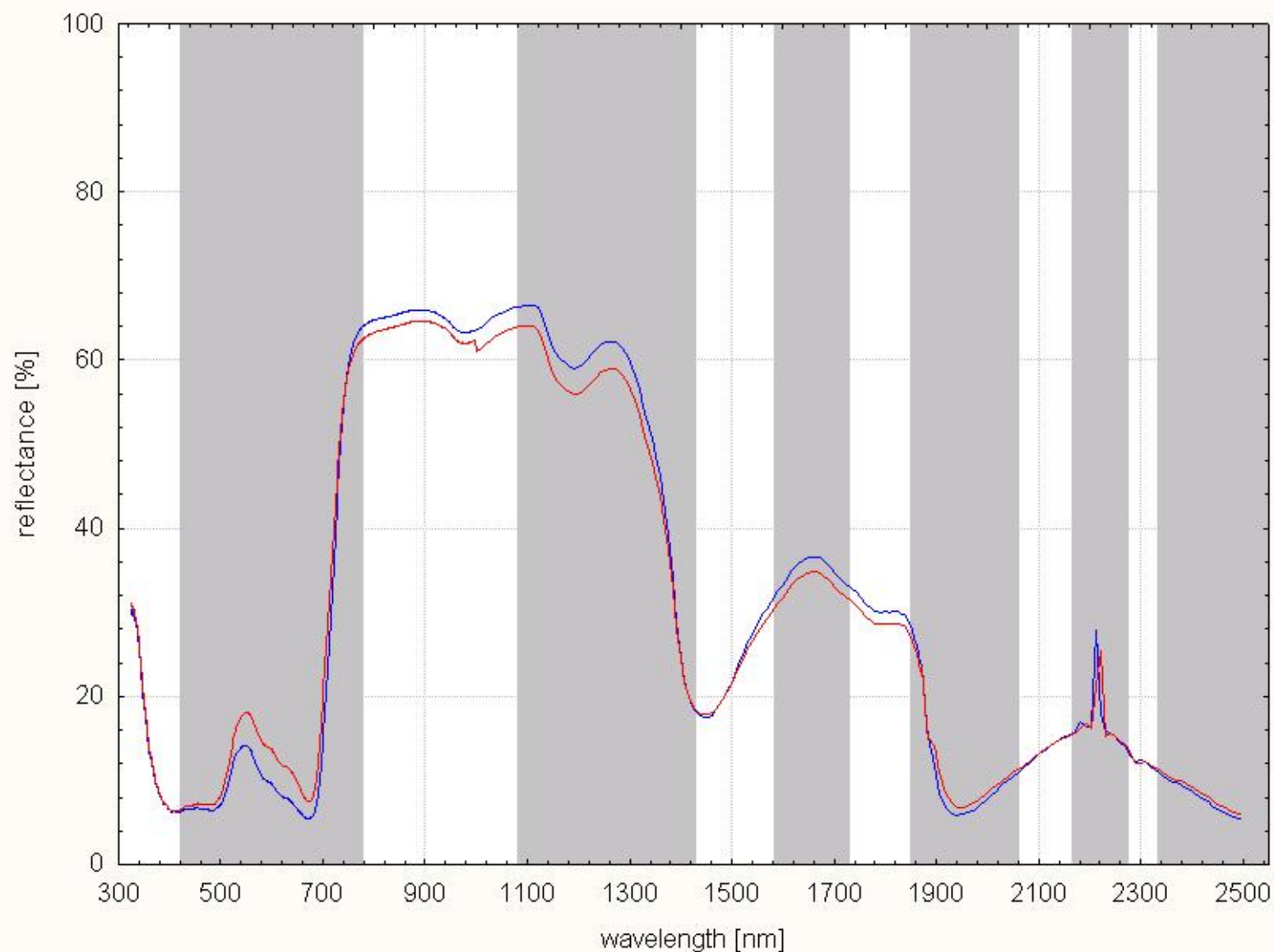
Charakterystyki spektralne roślin porastających dolny zbiornik



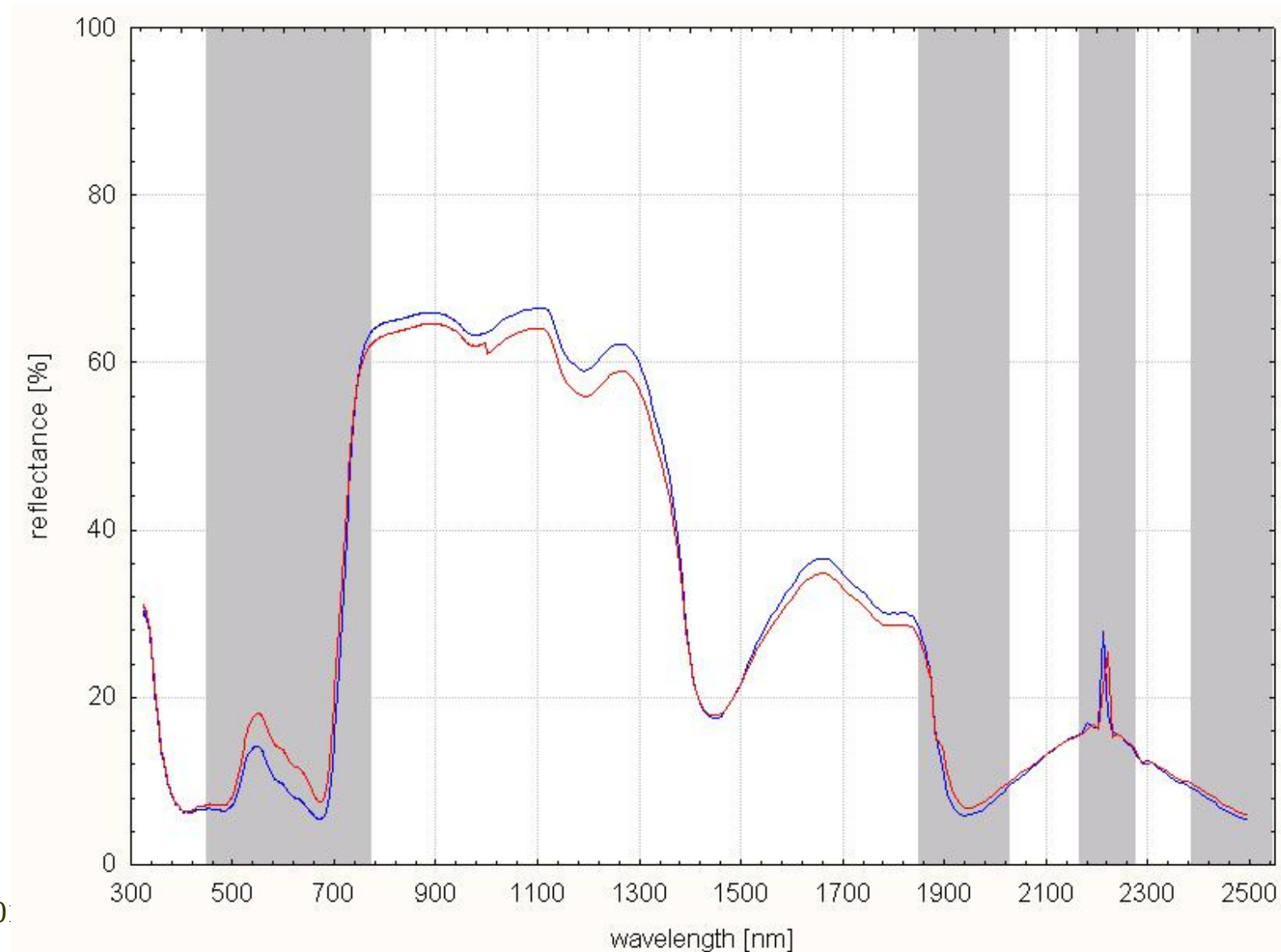
Współczynnik zmienności charakterystyk spektralnych



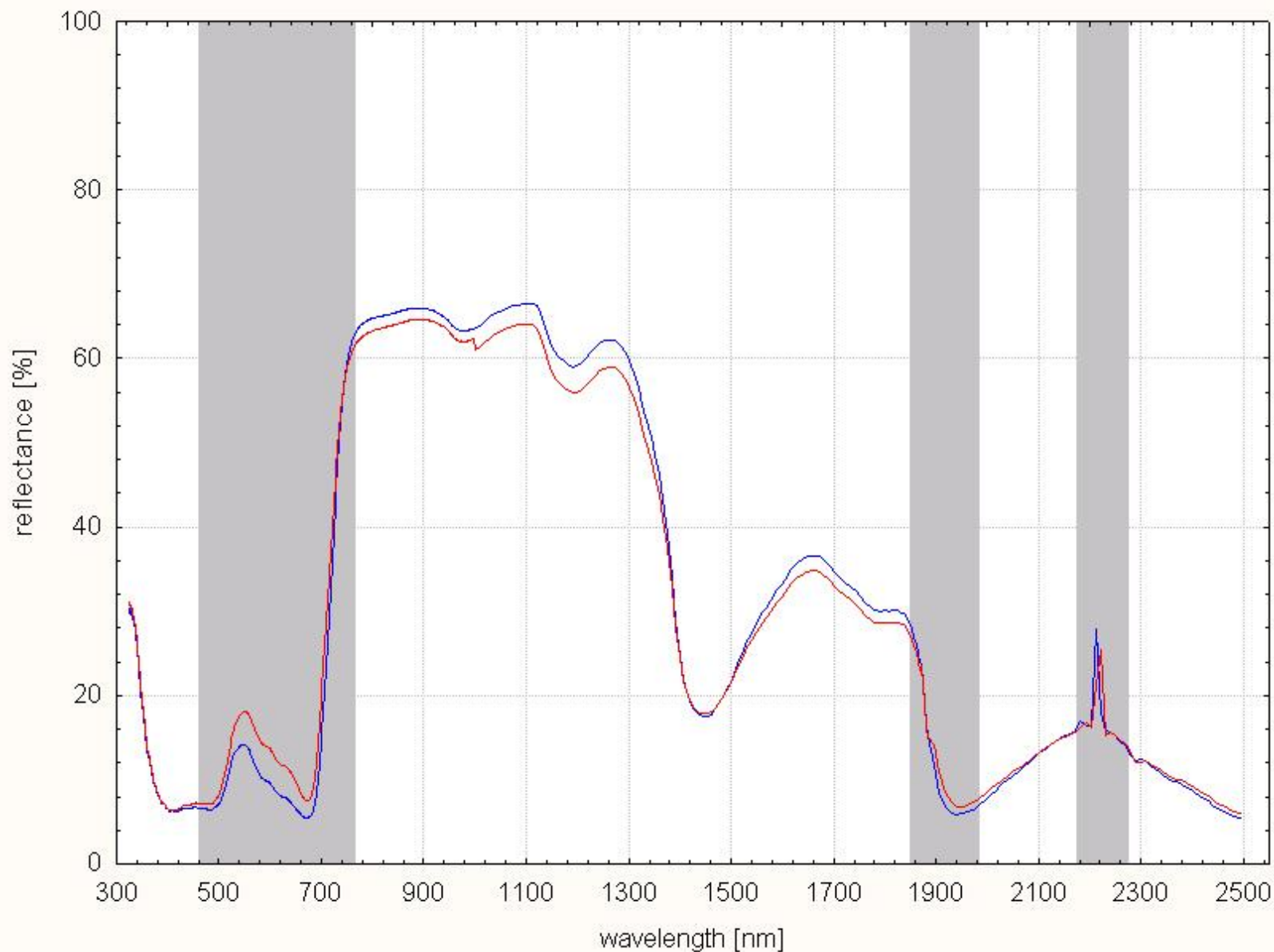
Analiza testem t- studenta przy poziomie istotności 0,05



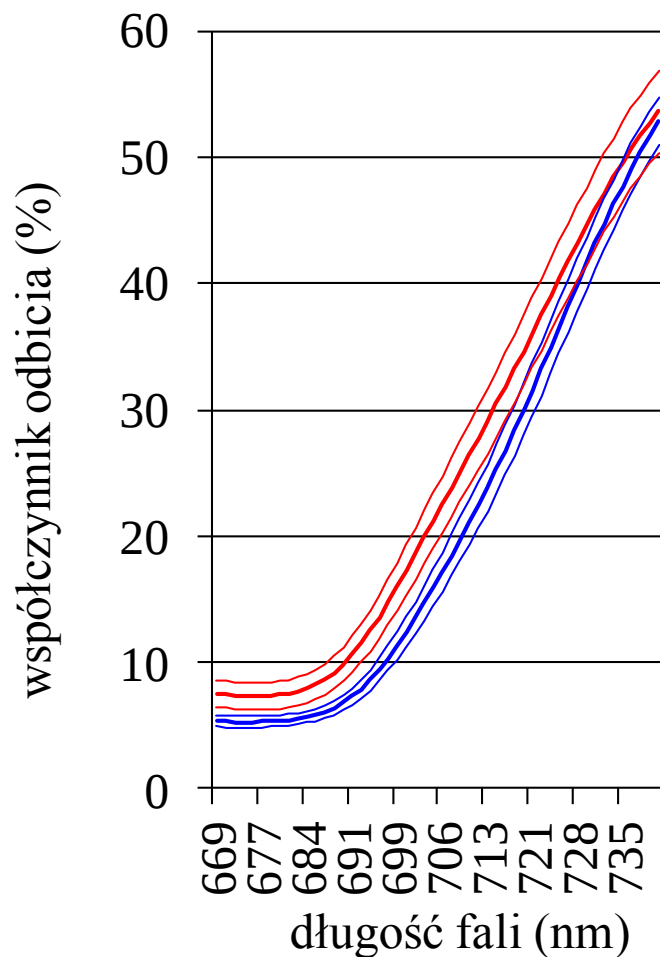
Analiza testem t- studenta przy poziomie istotności 0,01



Analiza testem t- studenta przy poziomie istotności 0,001



Wskaźnik red-edge



$$R_{\text{red-edge}} = (R_{670} + R_{780})/2$$

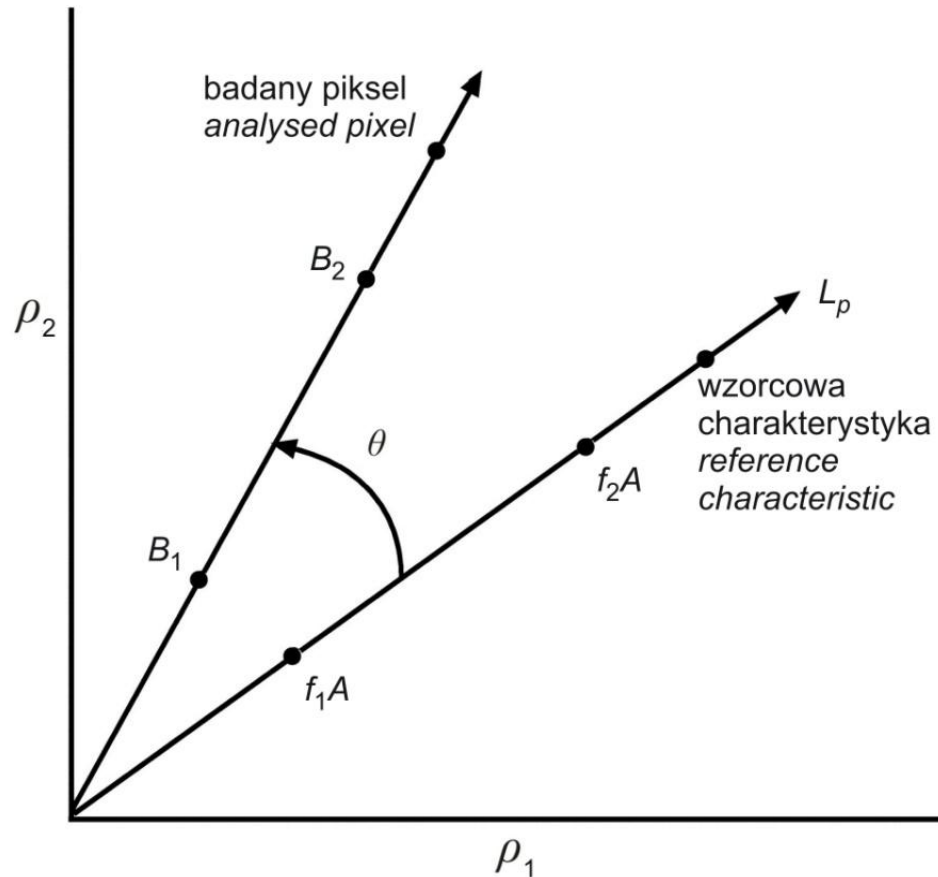
Rośliny górnego zbiornika

$R_{\text{red-edge}} = 722,6 \text{ nm}$

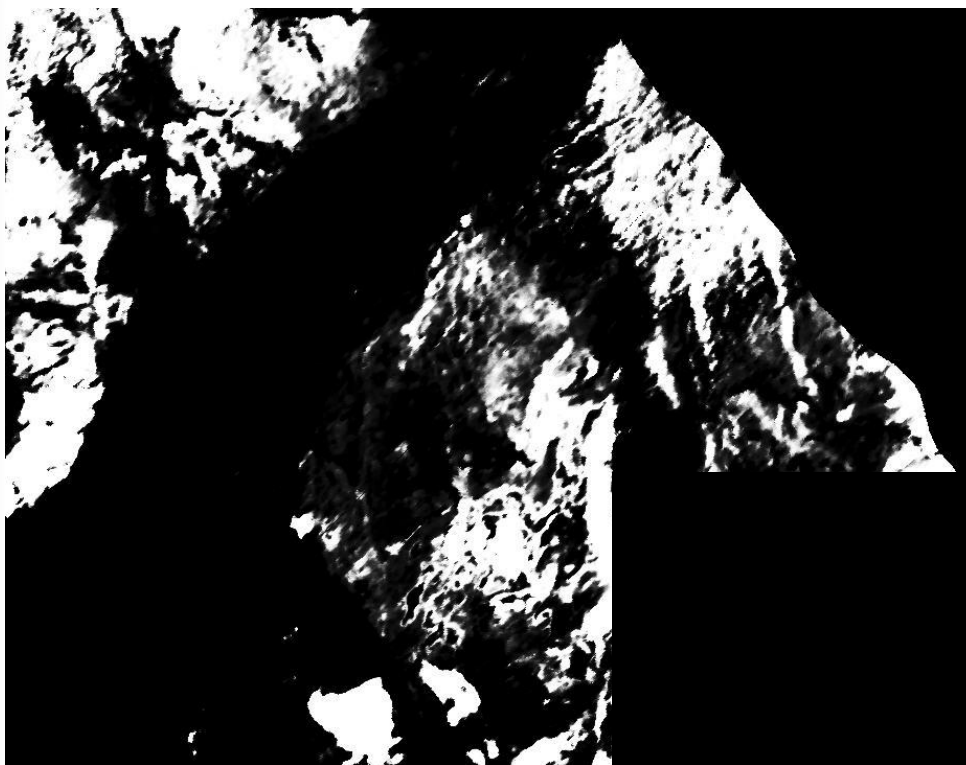
Rośliny dolnego zbiornika

$R_{\text{red-edge}} = 719,6 \text{ nm}$

Spectral Angle Mapper (SAM)



Progowanie w klasyfikacji SAM

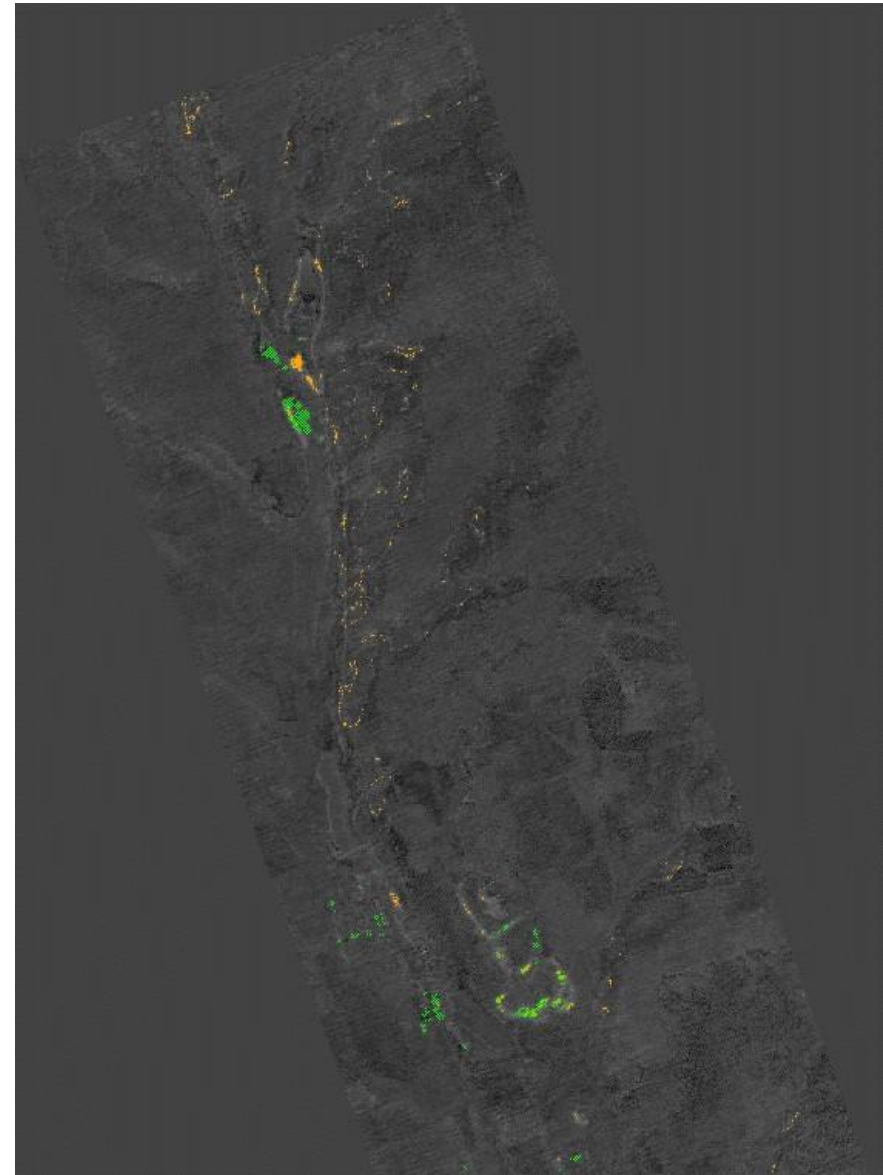
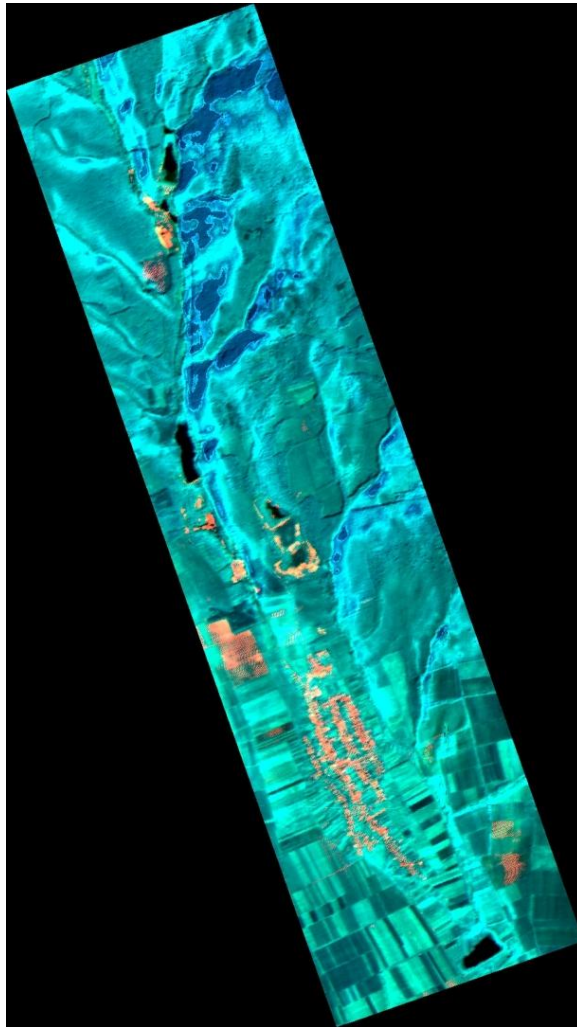


Klasa: stawy tatrzańskie



Wyniki klasyfikacji SAM.

Prawdopodobieństwo wystąpienia metali ciężkich

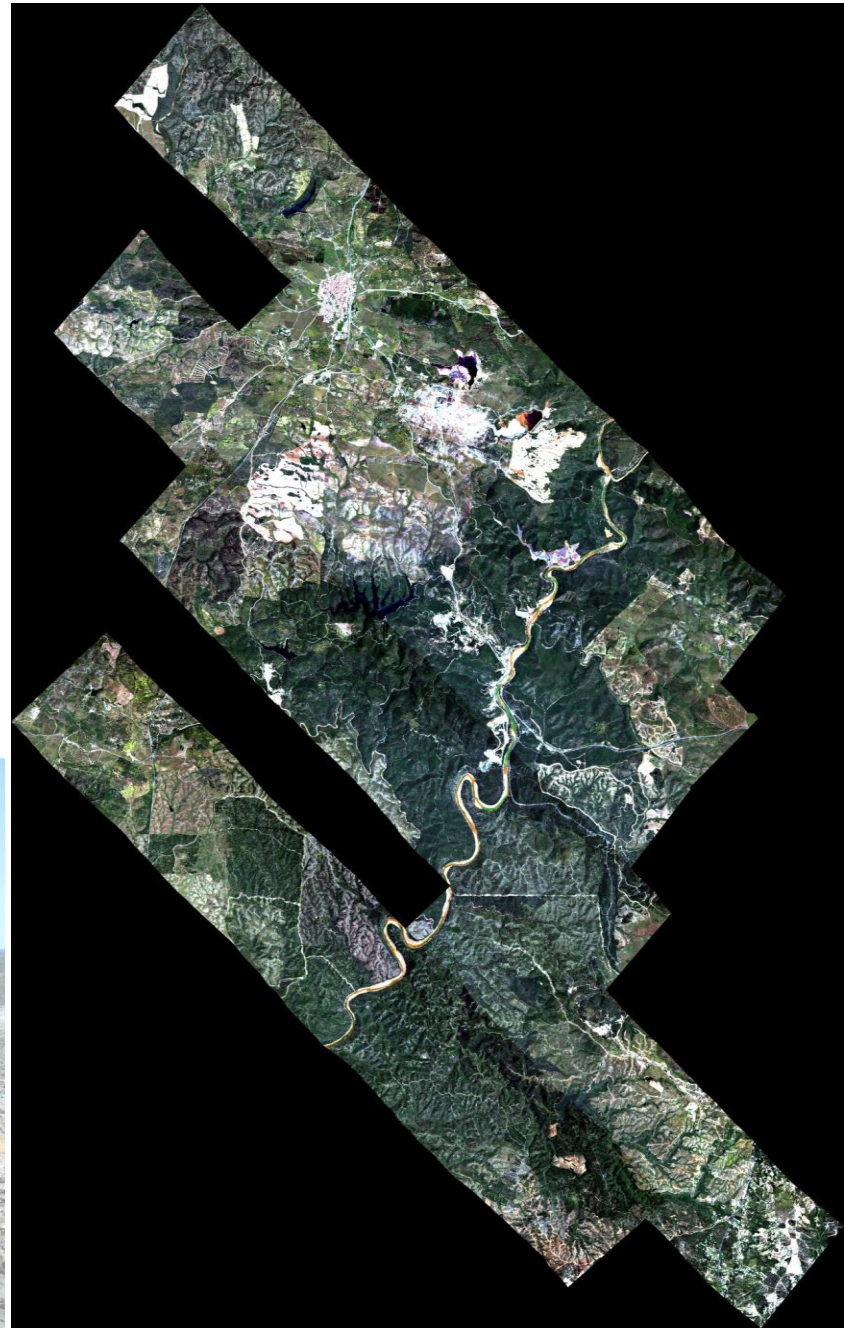
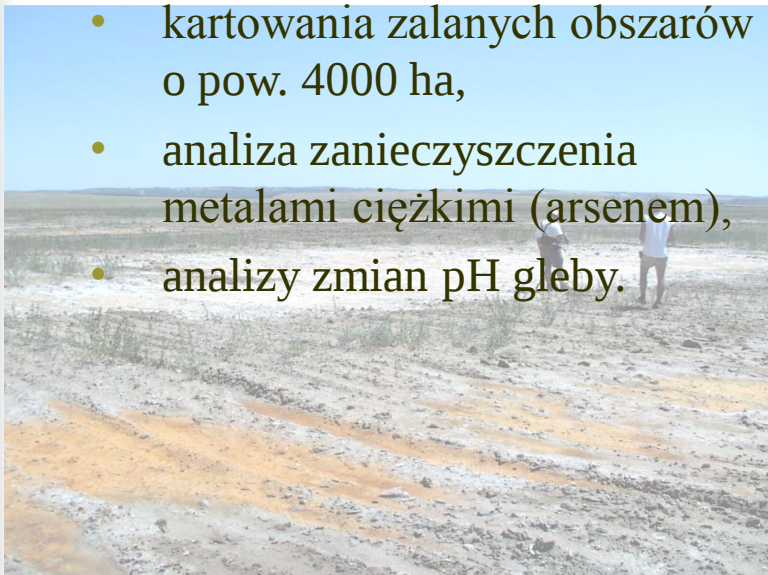


Źródło: Péter TÓTH - János TAMÁS
Debrecen University, 2003

Zanieczyszczenie rzek Guadiana i Gwadalkiwiru (SW Hiszpania)

- 27.04.1998 – przerwanie wałów zbiornika z pokopalnianymi substancjami toksycznymi koło miejscowości Aznalcollar k. Sewilli (SW Hiszpania),
- Do wód dostało się 4 miliony m³ zakwaszonej wody i 1 milion m³ toksycznych odpadów
- techniki hiperspektralne zostały wykorzystane do:

- kartowania zalanych obszarów o pow. 4000 ha,
- analiza zanieczyszczenia metalami ciężkimi (arsenem),
- analizy zmian pH gleby.



Zanieczyszczenie metalami ciężkimi Parku Narodowego Doñana (Hiszpania)

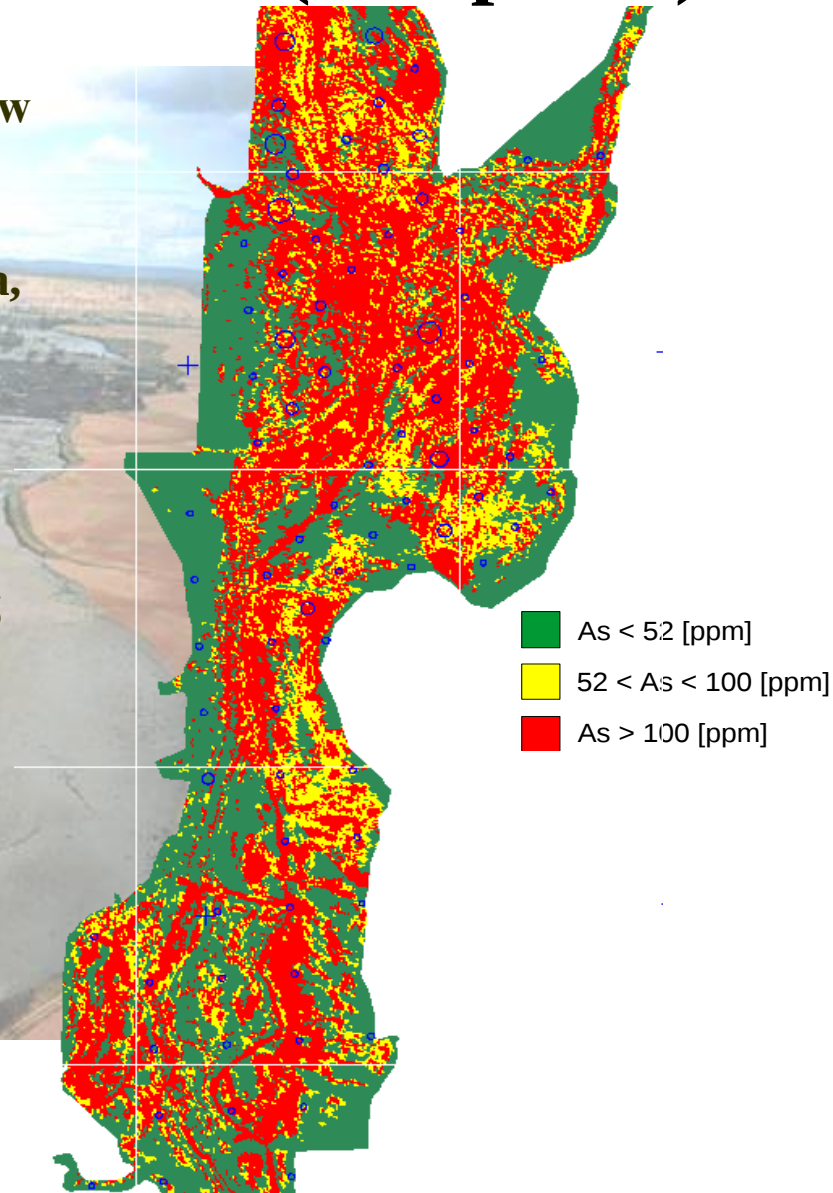
Strumień czarnego szlamu zabił życie w
niemal całym nurcie obu rzek
czyniąc ogromne zniszczenia na
terenie Parku Narodowego Donana,

W sumie toksycznymi odpadami
skażonych zostało 5 tys. ha ziemi,

Trucizna zabiła większość spośród 125
gatunków ptaków żyjących w tym
Parku,

Zginęło mnóstwo chronionych orłów i
flamingów,

Przyrodnicy szkody oszacowali na 15
mln dolarów.



Zmiany pH zanieczyszczonych gleb

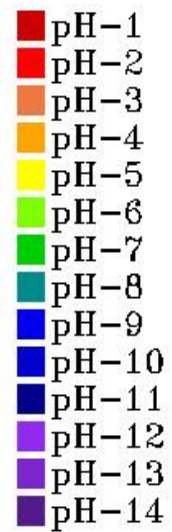
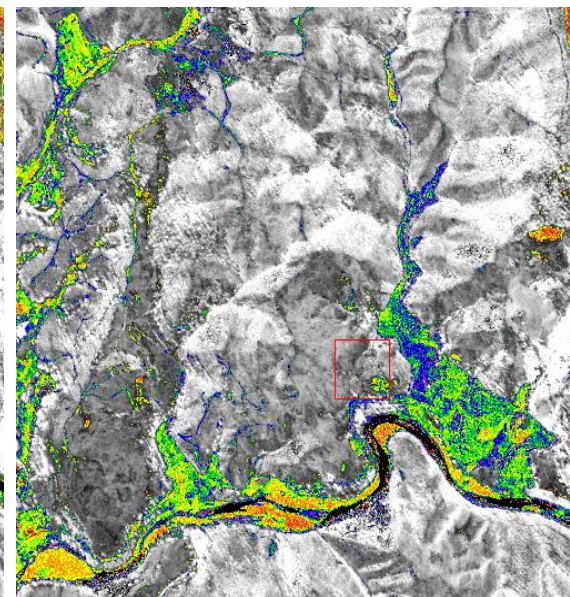
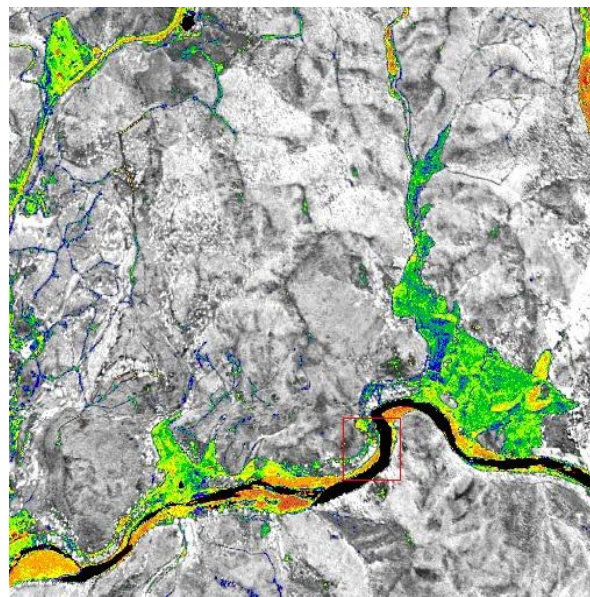
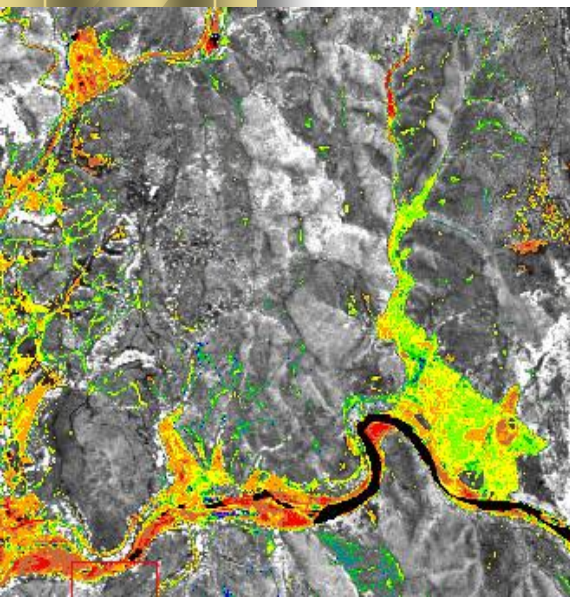


May 1999



May 2004

August 2004



Wnioski

- **techniki hiperspektralne pozwalają zróżnicować rośliny zanieczyszczone metalami ciężkimi,**
- **badania teledetekcyjne wsparte pomiarami biometrycznymi pozwalają rozróżnić różne stężenia metali ciężkich,**
- **badania statystyczne potwierdzają różnice pomiędzy charakterystykami spektralnymi obu grup roślinnych,**
- kombinacja kanałów VIS/IR zobrazowania hiperspektralnego pozwala zidentyfikować zróżnicowanie zanieczyszczonych roślin,
- **średnia zawartość chlorofilu jest znacząco różna dla zdrowych i zanieczyszczonych roślin,**
- **poziom akumulacji energii fotosyntetycznie czynnej (fAPAR) dla roślin zanieczyszczonych jest względnie dobry, przy czym część roślin zdrowszych znajduje się w zakresie optymalnym,**
- zbiorowisko trzciny pospolitej (*Phragmites australis*) względnie dobrze toleruje zanieczyszczenie metalami ciężkimi.



bardzo dziękuję za uwagę