

# Tydzień Klimatu



46



**50 Tygodni  
w Mieście Nauki**

## ZDOLNOŚCI ADAPTACYJNE BRZÓZ NA SIEDLISKACH POPPRZEMYSŁOWYCH W KONTEKŚCIE FITOREMEDIACJI METALI ŚLADOWYCH

**Prezentuje:** dr Krzysztof Sitko

**Autorzy:** Krzysztof Sitko (UŚ/IETU), Gabriela Jemioła (UŚ), Magdalena Opała-Owczarek (UŚ), Jacek Krzyżak (IETU), Eugeniusz Małkowski (UŚ).

UŚ w Katowicach / Instytut Ekologii  
Terenów Uprzemysłowionych

**Miejsce i data:** Katowice, 21.11.2024

**Kadm w glebach (0,0–0,3 m) i w osadach**

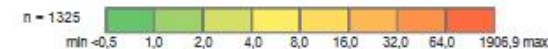
Cadmium in topsoil (0.0–0.3 m) and in sediments

M-24-50-D-4 PIEKARY ŚLĄSKIE

**Cd**

Gleby – parametry statystyczne  
Soils – statistical parameters  
ppm = mg/kg = g/t

Srednia arytmetyczna	22,4	Arithmetic mean
Srednia geometryczna	8,6	Geometric mean
Mediana	8,2	Median
Granica wykrywalności	0,5	Detection limit



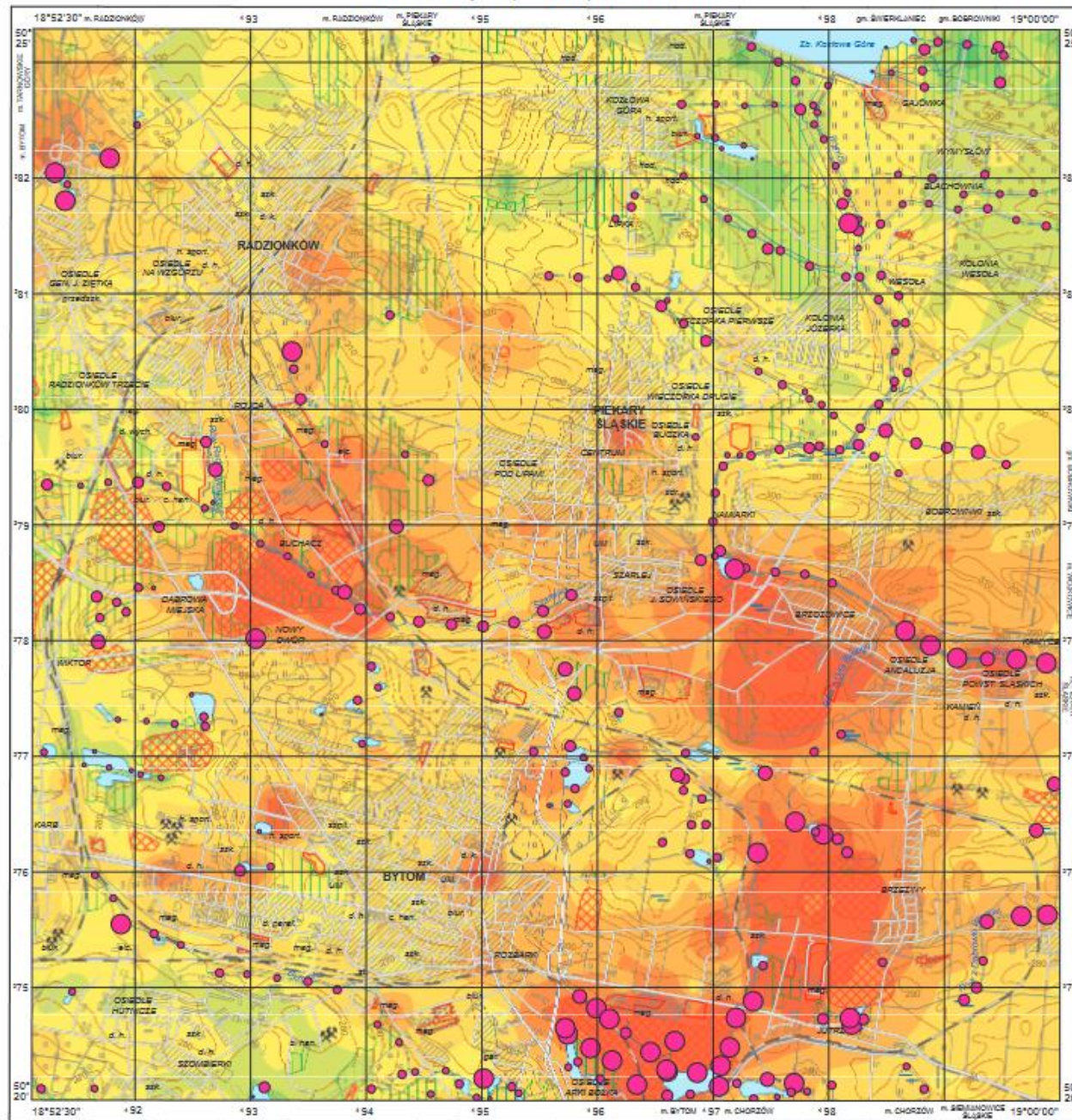
Osady – parametry statystyczne  
Sediments – statistical parameters  
ppm = mg/kg = g/t

Srednia arytmetyczna	63,8	Arithmetic mean
Srednia geometryczna	12,7	Geometric mean
Mediana	11,7	Median
Granica wykrywalności	0,5	Detection limit



Objaśnienia niektórych znaków topograficznych  
Explanation of some topographic signs





- Lasy  
Forests
- Haldy i nasypy  
Dumps and embankments
- Obszary przemysłowe  
Industrial areas
- Szyby górnicze  
Mining shafts





 Część 1: Ekofizjologia brzoź na  
zwałach pohutniczych i pogórnicych

Article

**Effect of Drought and Heavy Metal Contamination on Growth and Photosynthesis of Silver Birch Trees Growing on Post-Industrial Heaps**

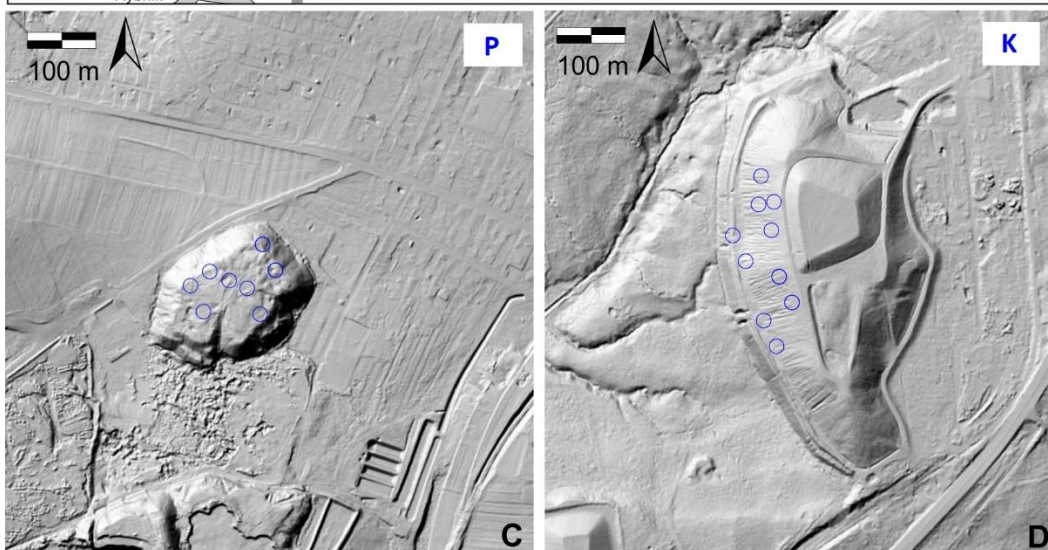
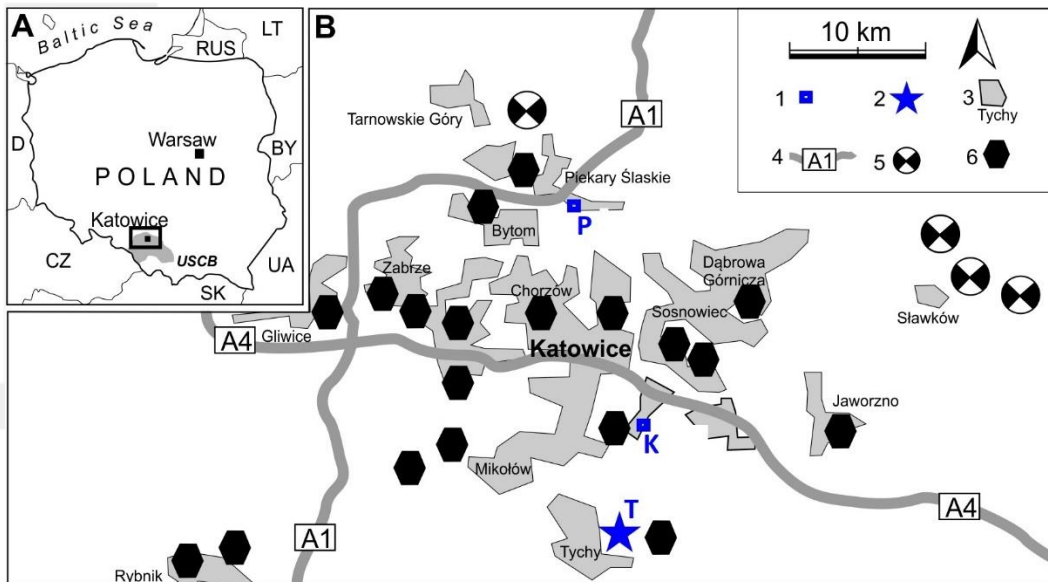
Krzysztof Sitko <sup>1,\*</sup>, Magdalena Opała-Owczarek <sup>2</sup>, Gabriela Jemiola <sup>1</sup>, Żaneta Gieroń <sup>1</sup>, Michał Szopiński <sup>1</sup>, Piotr Owczarek <sup>3</sup>, Małgorzata Rudnicka <sup>1</sup> and Eugeniusz Małkowski <sup>1</sup>

-  Część 2: Rola pH gleby w akumulacji toksycznych stężeń Mn w liściach brzoź na hałdach pogórnicych
-  Część 3: Badania ekotoksykologiczne – metale w soku ksylemowym a wybrane parametry fizjologiczne

SPIS TREŚCI



# 1: EKOFIZJOLOGIA



## Site characteristics

	T	K	P
Location	Tychy	Katowice-Murcki	Piekary Śląskie
Altitude (m AMSL)	259	321	287
Temperature (°C) <sup>a</sup>	9.0	9.1	9.1
Precipitation (mm) <sup>a</sup>	817	807	910
Latitude	50.1043268	50.1895495	50.3681323
Longitude	18.9644241	19.0322035	18.9689818
Habitat	suburban area	post-coal mine spoil heap	post-smelter spoil heap

## Soil characteristics

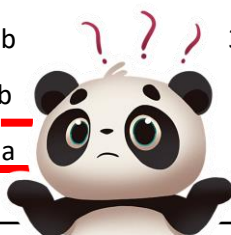
pH (H <sub>2</sub> O)	6.09 ± 0.15 b	3.68 ± 0.06 c	7.33 ± 0.08 a
EC (μS cm <sup>-1</sup> )	160 ± 28 b	113 ± 10 b	800 ± 91 a

## Total element content in the soil (μg g<sup>-1</sup> DW)

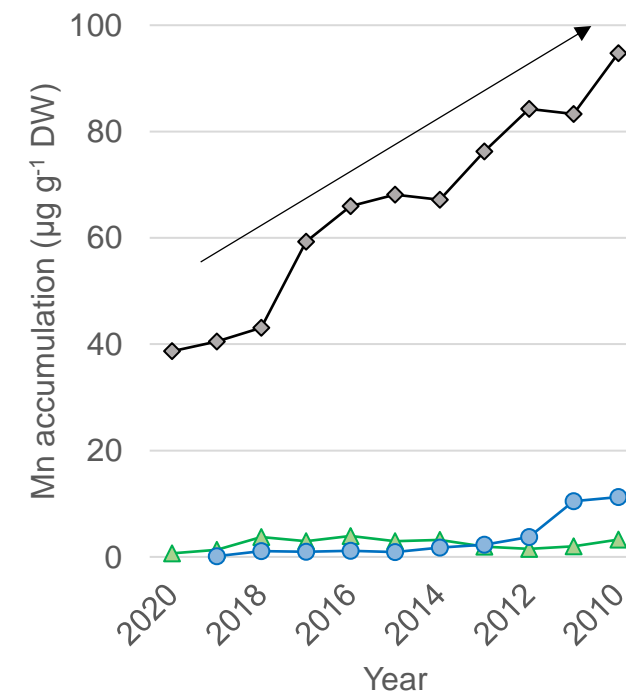
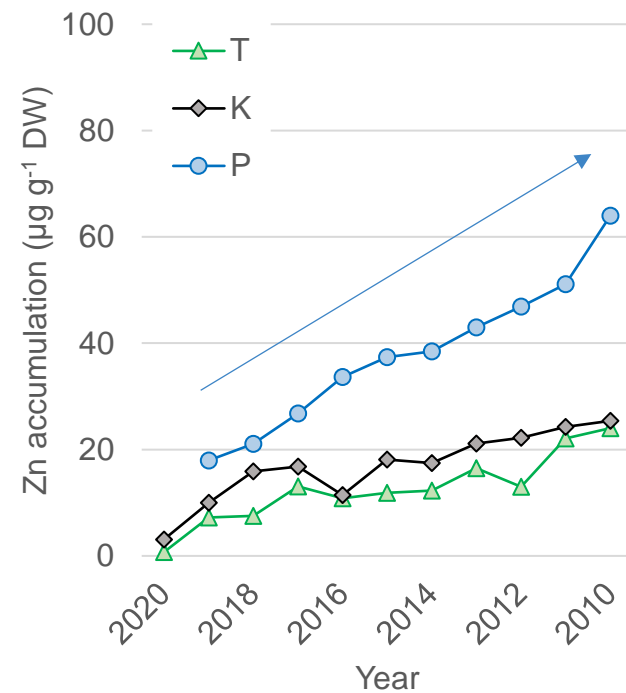
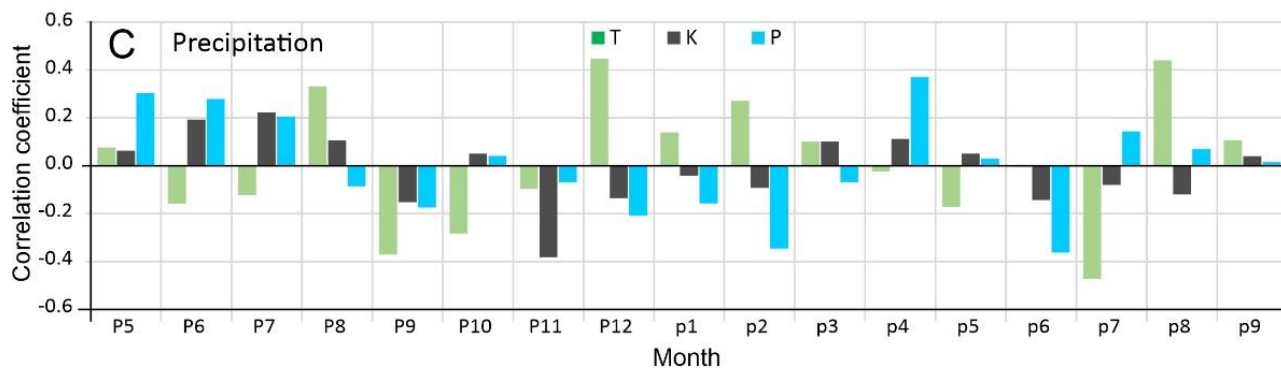
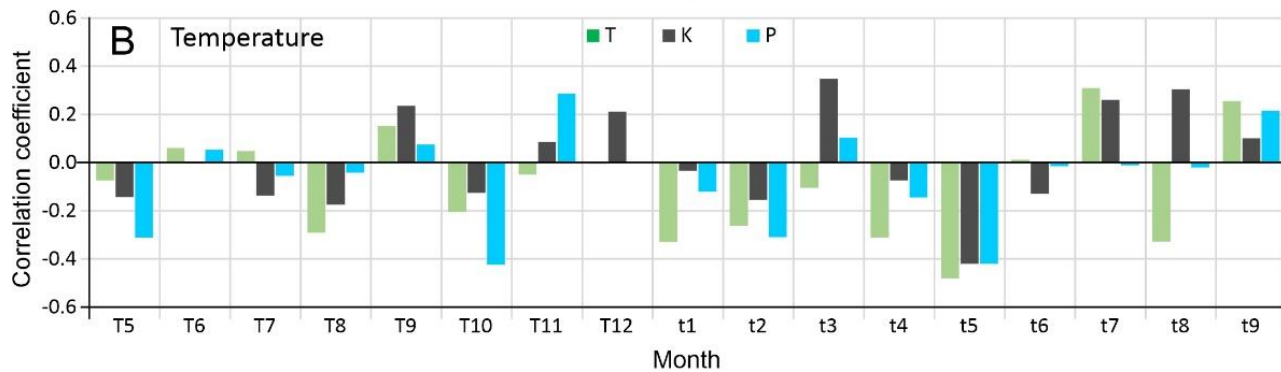
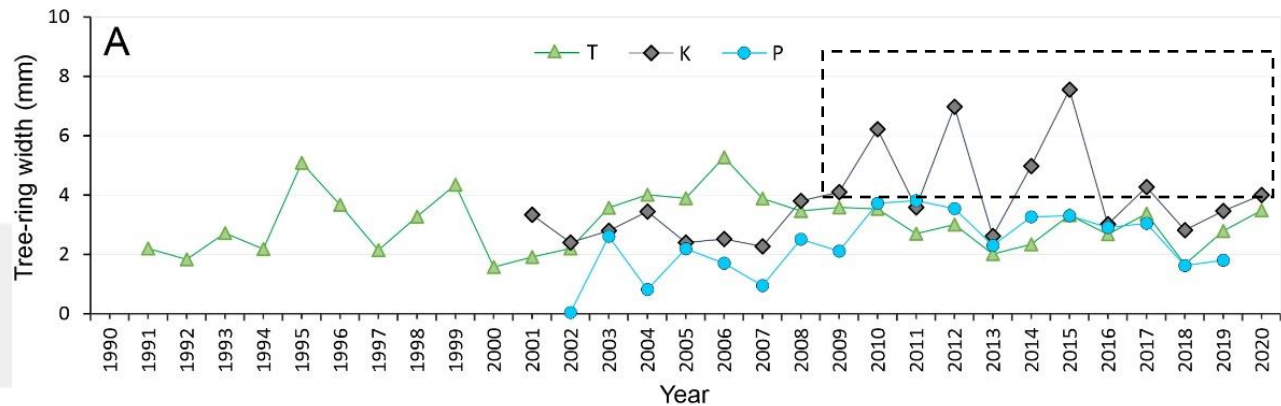
Ca	2140 ± 440 b	160 ± 40 c	81070 ± 3420 a
Cd	0.52 ± 0.07 b	BDL	212.51 ± 34.90 a
Cu	7.2 ± 2.0 c	28.3 ± 0.9 b	961.5 ± 131.8 a
Fe	5160 ± 300 b	6160 ± 150 a	6890 ± 410 a
K	2340 ± 570 b	9560 ± 370 a	670 ± 110 c
Mg	1070 ± 210 b	910 ± 50 b	16920 ± 1920 a
Mn	350 ± 40 b	160 ± 10 c	3900 ± 190 a
Zn	25.0 ± 3.0 c	138.7 ± 26.8 b	25545.1 ± 4110.0 a

# 1: EKOFIZJOLOGIA

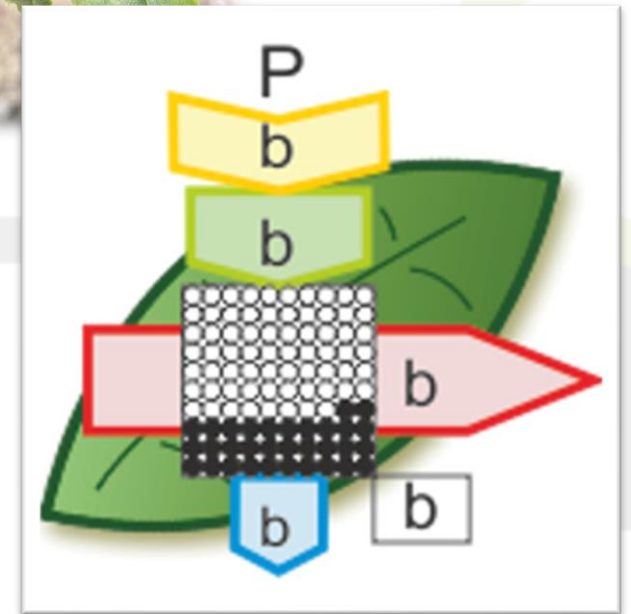
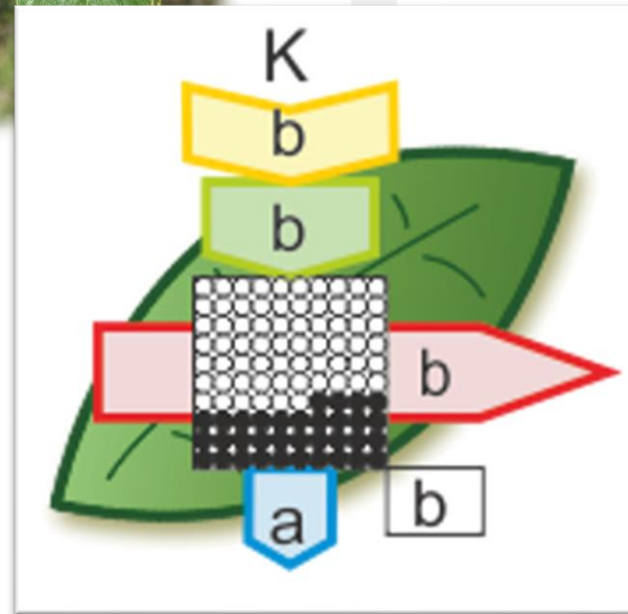
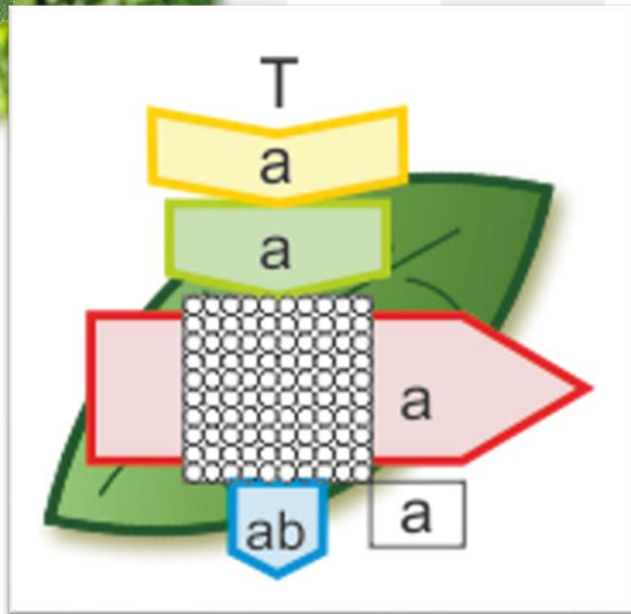
	T	K	P
<i>Growth and physiological characteristics</i>			
Leaf thickness (mm)	0.08 ± 0.01 c	0.31 ± 0.01 a	0.20 ± 0.03 b
TRW <sub>5</sub> (mm)	3.10 ± 0.b	3.77 ± 0.a	2.21 ± 0.c
TRW <sub>T</sub> (mm)	3.06 ± 0.b	3.83 ± 0.a	2.35 ± 0.c
Chlorophyll content (r.u.)	35.6 ± 0.9 a	31.04 ± 1.25 b	28.22 ± 0.71 c
Flavonol content (r.u.)	1.38 ± 0.04 c	1.76 ± 0.02 a	1.67 ± 0.03 b
Anthocyanin content (r.u.)	0.110 ± 0.002 b	0.137 ± 0.005 a	0.141 ± 0.003 a
A (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	13.8 ± 0.4 a	11.0 ± 0.5 b	9.5 ± 0.3 c
C <sub>i</sub> (μmol CO <sub>2</sub> mol <sup>-1</sup> )	244 ± 5 b	257 ± 3 b	280 ± 5 a
E (mmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	2.98 ± 0.15 a	2.20 ± 0.07 b	1.81 ± 0.05 c
g <sub>s</sub> (μmol H <sub>2</sub> O m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	205 ± 13 a	208 ± 13 a	202 ± 7 a
<i>Element accumulation in leaves (μg g<sup>-1</sup> DW)</i>			
Ca	10,200 ± 560 a	7,520 ± 610 b	11,580 ± 1,050 a
Cd	BDL	BDL	1.43 ± 0.19 a
Cu	5.4 ± 0.4 a	3.0 ± 0.4 b	2.0 ± 0.3 b
Fe	86 ± 5 a	82 ± 6 a	89 ± 6 a
K	5,960 ± 460 a	4,100 ± 420 b	3,720 ± 270 b
Mg	2200 ± 110 c	2910 ± 180 b	3980 ± 180 a
Mn	290 ± 90 b	3,180 ± 130 a	110 ± 10 b
Zn	195 ± 27 b	148 ± 8 b	550 ± 61 a



# 1: DENDRO-EKO-KLIMATO-FIZJOLOGIA



# 1: EKOFIZJOLOGIA

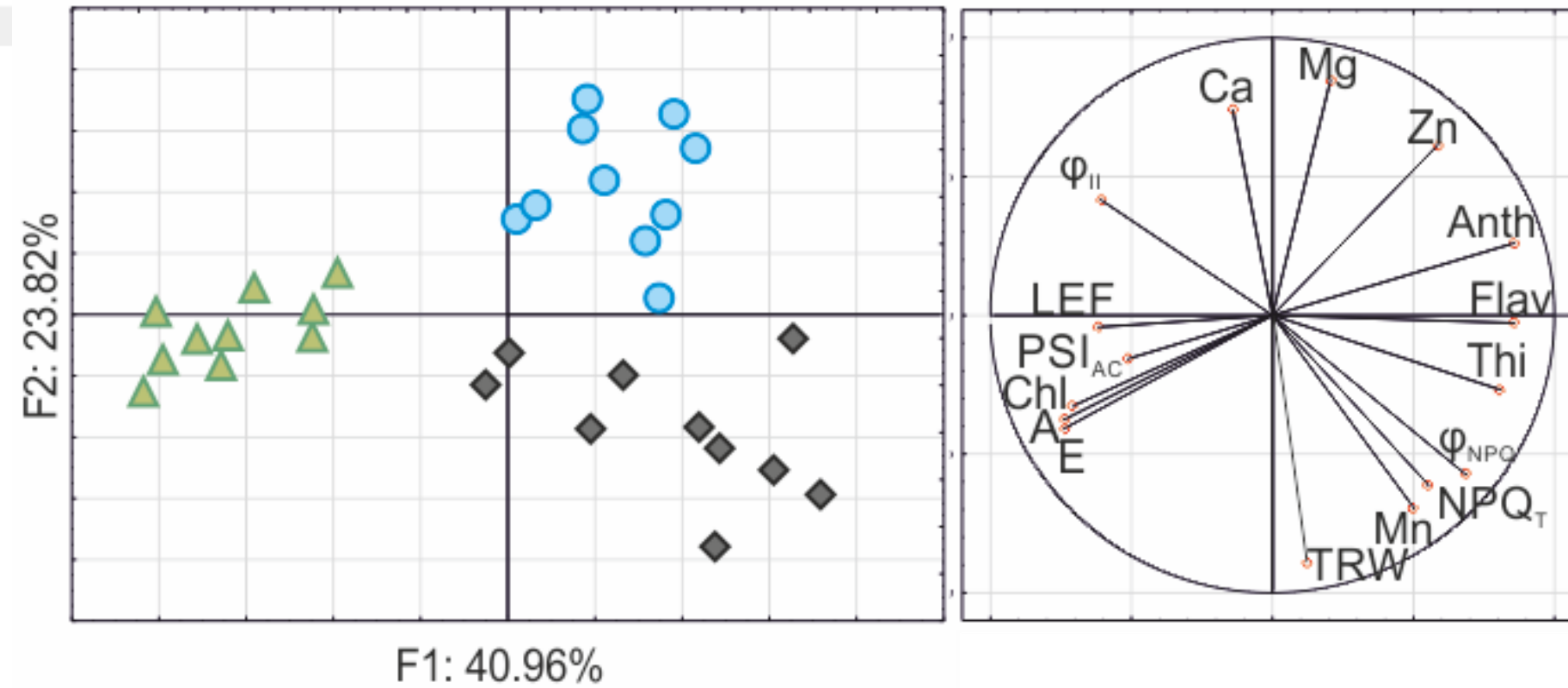


## Brzozy na zwałach poprzemysłowych:

- wyższa zawartość flawonoli i antocyjanów
- grubsze liście i przyrosty roczne
- wyższe niefotochemiczne wygaszanie

...

Pozostaje pytanie – skąd taka wysoka akumulacja Mn u brzóz z hałd pogórnich?





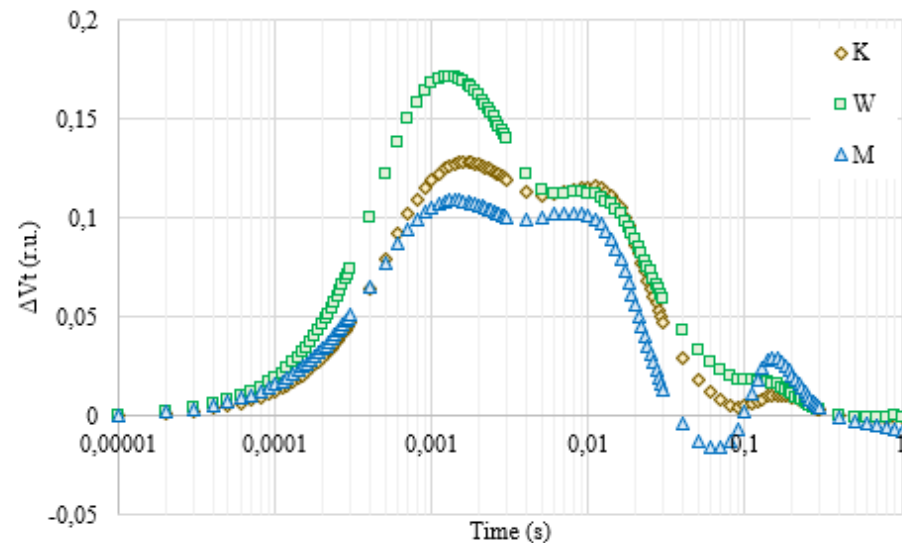
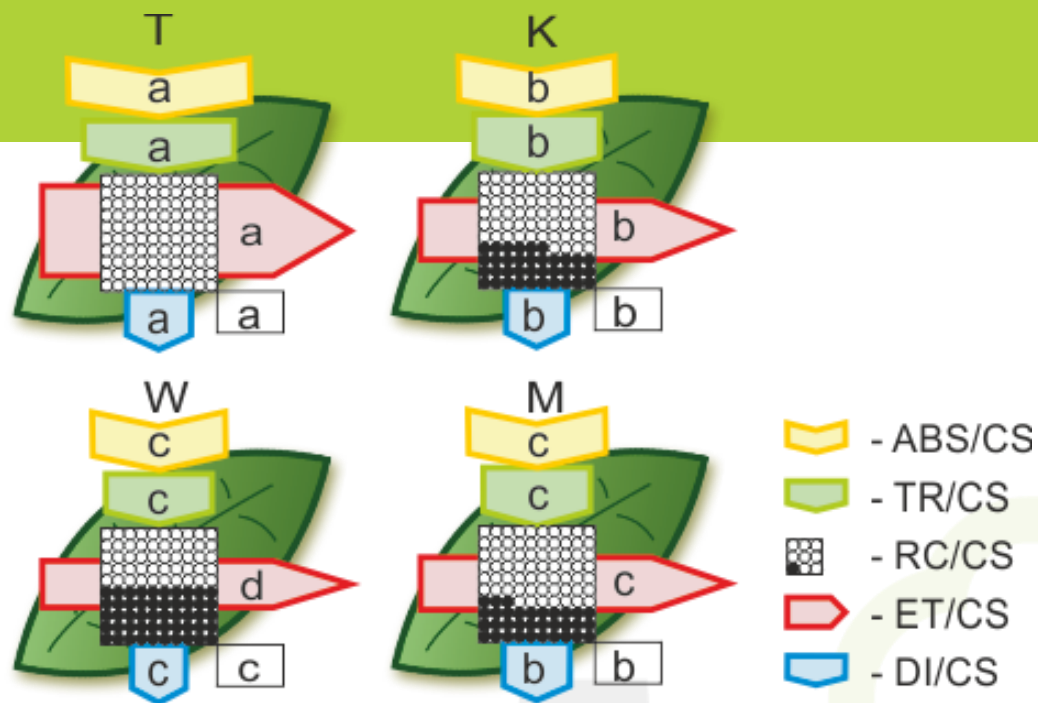
## 2: PROBLEM MANGANU

Site code	T	K	W	M
<b>Site characteristics</b>				
Location	Tychy	Kostuchna	Wesoła	Murcki
Altitude (m AMSL)	259	339	270	321
Temperature (°C) <sup>a</sup>	9.0	9.1	9.0	9.1
Precipitation (mm) <sup>a</sup>	817	910	853	807
Latitude	50°06'15.5"N	50°11'03.0"N	50°10'29.6"N	50°11'24.0"N
Longitude	18°57'52.3"E	19°00'14.6"E	19°05'45.3"E	19°01'56.2"E
Habitat	suburban area	post-coal mine spoil heap	post-coal mine spoil heap	post-coal mine spoil heap
<b>Soil characteristics</b>				
pH(H <sub>2</sub> O)	7.16 ± 0.01 a	4.27 ± 0.01 d	4.57 ± 0.02 b	4.49 ± 0.02 c
pH(KCl)	7.36 ± 0.00 a	3.36 ± 0.01 d	3.52 ± 0.01 c	3.71 ± 0.02 b
EC (μS cm <sup>-1</sup> )	173 ± 2 a	112 ± 1 c	67 ± 2 d	140 ± 2 b
<b>Pseudo-total element concentration (mg kg<sup>-1</sup> DW)</b>				
Mn	490 ± 15 a	146 ± 4 c	236 ± 5 b	266 ± 11 b
Zn	241 ± 5 a	52 ± 23 d	80 ± 4 b	64 ± 2 c
<b>Phytoavailable element concentration (mg kg<sup>-1</sup> DW)</b>				
Mn	0.9 ± 0.1 d	6.9 ± 0.2 c	12.3 ± 0.5 b	18.1 ± 0.7 a
Zn	0.4 ± 0.0 d	1.1 ± 0.1 c	1.6 ± 0.0 b	1.8 ± 0.0 a
Cu	0.05 ± 0.01 c	0.48 ± 0.04 a	0.06 ± 0.01 c	0.16 ± 0.01 b
Fe	0.13 ± 0.03 b	1.59 ± 0.61 a	0.33 ± 0.13 b	0.32 ± 0.06 b



## 2: PROBLEM MANGANU

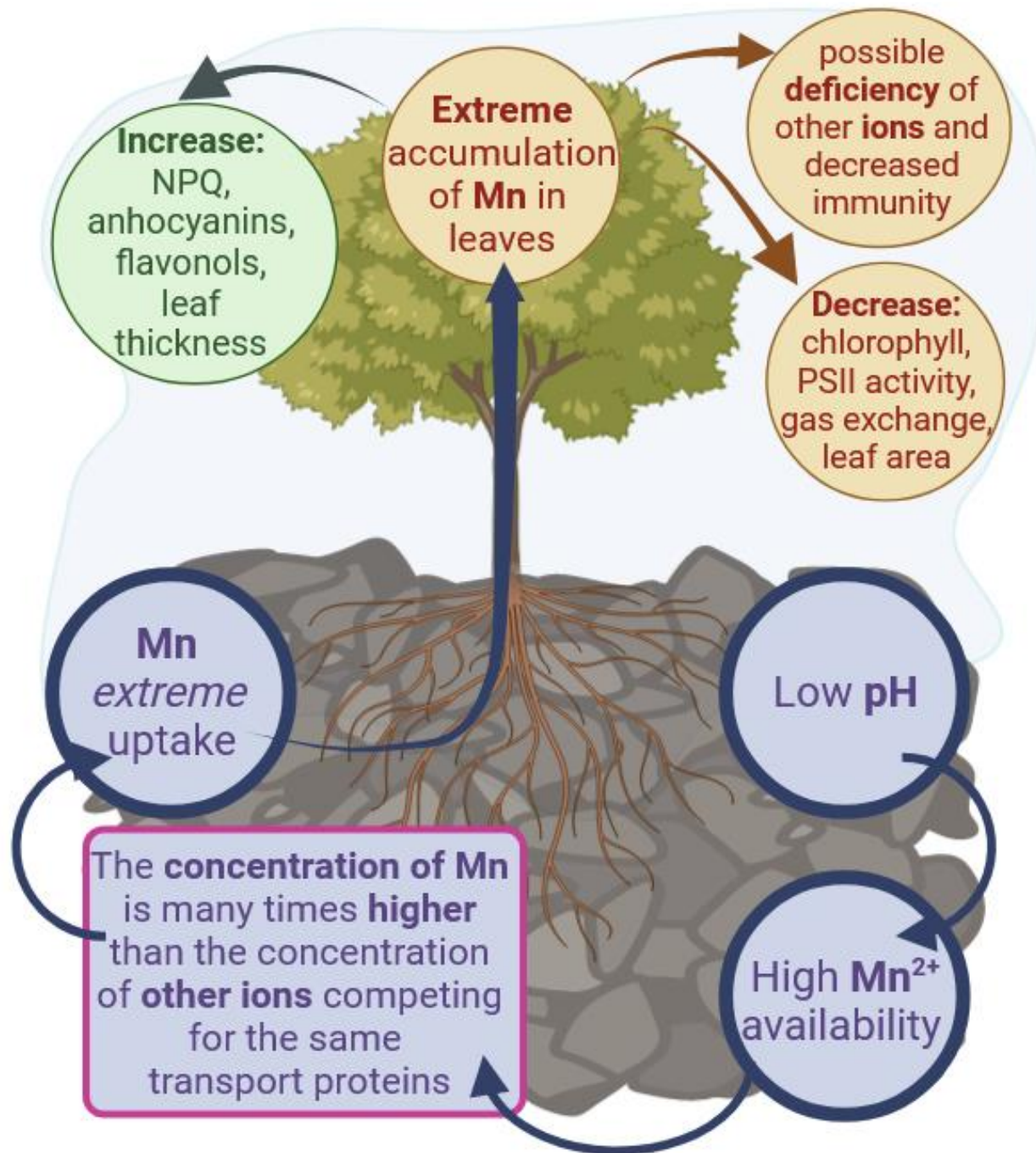
	T	K	W	M
<b>Leaf growth parameters</b>				
Dry weight (g)	0.110 ± 0.010 a	0.091 ± 0.004 a	0.066 ± 0.004 a	0.066 ± 0.004 a
Thickness (mm)	0.139 ± 0.009 b	0.197 ± 0.014 a	0.219 ± 0.013 a	0.139 ± 0.009 a
Length (cm)	4.52 ± 0.21 a	4.01 ± 0.16 b	2.94 ± 0.10 c	3.81 ± 0.08 b
Width (cm)	3.85 ± 0.17 a	3.58 ± 0.08 ab	2.93 ± 0.08 c	3.46 ± 0.07 b
Ratio L/W	1.18 ± 0.02 a	1.12 ± 0.05 a	1.00 ± 0.01 b	1.10 ± 0.02 a
Area (cm <sup>2</sup> )	11.6 ± 1.1 a	9.6 ± 0.5 b	6.2 ± 0.4 c	9.6 ± 0.5 b
<b>Pigment content</b>				
Chlorophyll	37.6 ± 0.7 a	28.6 ± 0.4 b	22.5 ± 0.5 c	27.2 ± 0.4 b
Flavonol	1.42 ± 0.03 c	1.67 ± 0.02 b	1.79 ± 0.02 a	1.83 ± 0.03 a
Anthocyanins	0.002 ± 0.000 c	0.006 ± 0.001 c	0.040 ± 0.003 a	0.015 ± 0.002 b
<b>Element accumulation (mg kg<sup>-1</sup> DW)</b>				
Mn	660 ± 70 d	1650 ± 80 c	2520 ± 120 b	4440 ± 300 a



## 2: PROBLEM MANGANU

population	T			K			W			M		
pH	4.0	5.0	6.0	4.0	5.0	6.0	4.0	5.0	6.0	4.0	5.0	6.0
Growth parameters												
Shoot FW (g)	4.49 ab	4.47 ab	5.39 a	5.03 a	5.16 a	5.01 a	3.48 b	4.11 ab	3.59 a	4.89 a	4.54 ab	5.06 a
Leaf FW (g)	0.38 ab	0.37 ab	0.35 ab	0.39 ab	0.35 ab	0.41 ab	0.41 ab	0.44 a	0.39 ab	0.41 ab	0.35 b	0.38 ab
Leaf DW (g)	0.096 abcd	0.096 abcd	0.078 d	0.095 abcd	0.090 bcd	0.111 abc	0.087 cd	0.083 cd	0.087 cd	0.118 ab	0.121 a	0.096 abcd
Leaf thickness (mm)	0.42 c	0.44 c	0.50 abc	0.57 a	0.43 c	0.54 a	0.46 bc	0.56 a	0.51 abc	0.57 a	0.54 ab	0.54 ab
Leaf length (cm)	8.12 abc	8.33 ab	7.84 bc	8.19 abc	8.06 abc	8.24 abc	8.73 a	8.92 a	8.27 ab	8.50 ab	7.38 c	8.28 ab
Leaf width (cm)	6.83 abc	6.87 abc	6.59 bc	7.10 abc	6.89 abc	7.09 abc	7.42 a	7.08 abc	7.37 ab	7.20 ab	6.31 c	6.78 abc
Ratio L/W	1.19 ab	1.21 a	1.19 ab	1.15 bcd	1.17 abc	1.16 bcd	1.17 abc	1.13 cd	1.12 d	1.19 ab	1.17 bcd	1.22 a
Leaf area (cm <sup>2</sup> )	34.7 abcd	35.1 abcd	32.0 cd	35.3 abcd	33.6 bcd	36.0 abcd	39.7 ab	41.0 a	37.3 abc	37.7 abc	29.6 d	34.3 abcd
Pigment content												
Chlorophyll	18.8 bcd	16.9 fg	16.4 g	19.4 b	18.9 bc	18.2 cde	17.6 defg	17.9 cdef	17.3 efg	21.7 a	17.1 efg	14.1 h
Flavonol	0.33 d	0.33 d	0.44 bc	0.37 cd	0.38 cd	0.48 ab	0.14 e	0.14 e	0.31 d	0.48 ab	0.52 ab	0.55 a
Anthocyanins	0.078 d	0.085 bcd	0.093 bc	0.076 d	0.079 d	0.083 bcd	0.086 bcd	0.095 b	0.082 cd	0.083 bcd	0.088 bcd	0.130 a
Chlorophyll a fluorescence parameters												
Fo	5810 bc	5960 bc	6520 b	5500 bc	5450 bc	5860 bc	8220 a	6390 bc	6220 bc	5360 c	6000 bc	5720 bc
Fm	32090 a	30650 abc	28380 cd	30720 ab	30910 ab	28980 c	31280 ab	30240 abc	29390 b	31650 ab	28410 cd	26600 d
Fv	26280 a	24690 abc	21860 cd	25220 ab	25470 ab	23110 bcd	23060 bcd	23860 abc	23170 bcd	26290 a	22400 cd	20880 d
φDo	0.181 cd	0.195 bcd	0.233 ab	0.179 cd	0.177 cd	0.202 bcd	0.267 a	0.214 bc	0.212 bcd	0.169 d	0.215 bc	0.216 bc
φPo	0.818 ab	0.804 abc	0.766 cd	0.820 ab	0.822 ab	0.797 abc	0.732 d	0.785 bc	0.787 abc	0.830 a	0.784 bc	0.783 bc
ψEo	0.358 ab	0.293 bcd	0.266 cd	0.351 ab	0.371 ab	0.329 abc	0.238 cd	0.305 abcd	0.272 cd	0.419 a	0.353 ab	0.252 d
φEo	0.295 ab	0.237 bcd	0.212 cde	0.288 ab	0.305 ab	0.264 bc	0.184 e	0.241 bcd	0.216 de	0.348 a	0.282 abc	0.200 de
δRo	0.301 cd	0.465 a	0.449 a	0.364 abc	0.331 bcd	0.422 ab	0.250 d	0.313 cd	0.409 abc	0.298 cd	0.317 bcd	0.452 a
φRo	0.088 abc	0.104 ab	0.089 abc	0.103 ab	0.101 ab	0.108 a	0.054 d	0.072 cd	0.088 abc	0.102 ab	0.084 abc	0.083 bc
ΦNPQ	0.367 a	0.268 abcd	0.151 de	0.092 e	0.108 e	0.133 de	0.340 ab	0.274 abcd	0.323 abc	0.139 de	0.193 cde	0.213 bcde
Manganese accumulation (mg kg <sup>-1</sup> DW)												
Mn in leaves	246 de	269 cde	332 b	270 cde	380 ab	343 bc	353 bc	329 bcd	444 a	235 ef	173 f	321 bcde
Mn in stems	111 bcd	118 bcd	131 bcd	99 cd	175 ab	173 ab	145 bcd	170 abc	240 a	83 d	138 bcd	142 bcd
Mn in roots	66 cd	79 cd	282 b	55 cd	84 cd	523 a	43 cd	52 cd	146 c	28 d	154 c	388 b





- 1) pH gleby nie jest czynnikiem bezpośrednio wpływającym na akumulację toksycznej zawartości Mn w liściach brzoź.
- 2) Niskie pH gleby zwiększa biodostępność jonów Mn i w zależności od przewagi liczebnej, jaką Mn uzyskuje nad innymi jonami dwu-dodatnimi, można spodziewać się większej lub mniejszej akumulacji w liściach roślin. To stężenie frakcji biodostępnej ma kluczowe znaczenie dla procesu akumulacji i ogólnej żyzności siedliska.
- 3) Podczas gdy toksyczny wpływ Mn na rośliny jest dobrze znany, wydaje się, że mechanizm ochronny w roślinach może obejmować zwiększoną syntezę flawonoli i antocyjanów oraz wzrost niefotochemicznego wygaszania kosztem fazy jasnej fotosyntezy.

### 3: EKOTOKSYKOLOGIA

Miasteczko Śl.  
HUTA (50 m)



Tychy



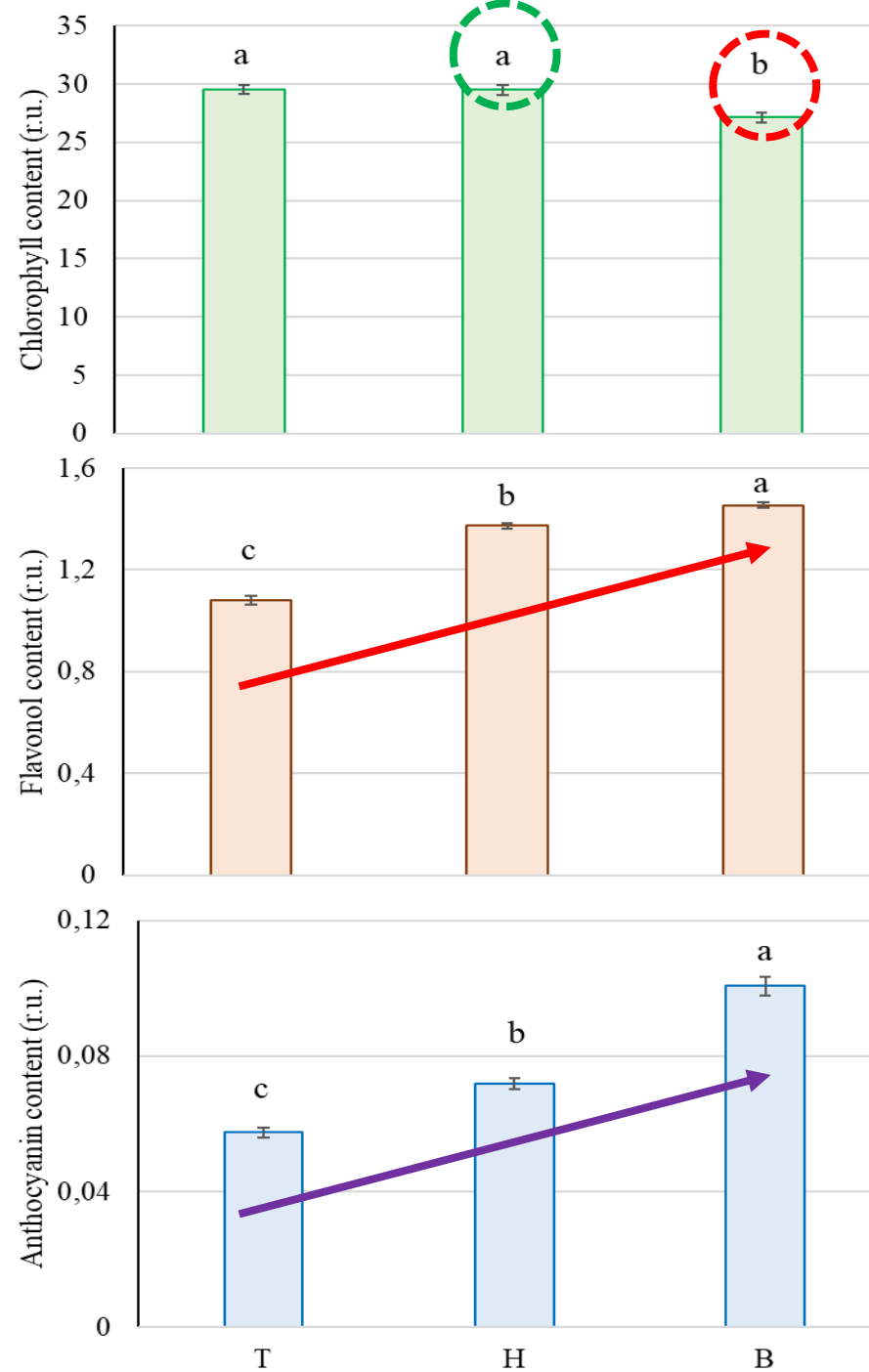
Miasteczko Śl.  
BÓR (500 m)



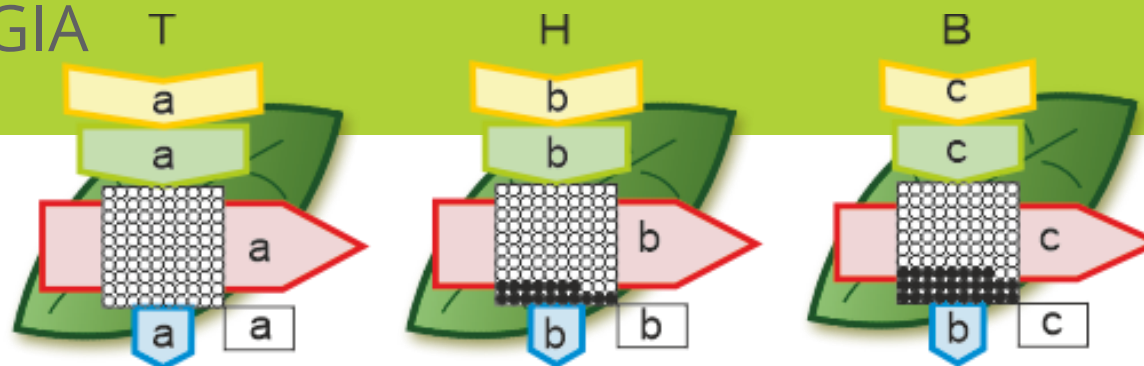
### 3: EKOTOKSYKOLOGIA

Parametry wody pitnej:  
Cd: < 5 µg l<sup>-1</sup>  
Fe: < 200 µg l<sup>-1</sup>  
Mn: < 50 µg l<sup>-1</sup>  
Zn: brak

	T	H	B
<i>Metal bioavailable form in soil (mg kg<sup>-1</sup>)</i>			
Cd	BDL	43.8 ± 0.4 a	11.6 ± 0.1 b
Fe	0.23 ± 0.06 b	0.58 ± 0.13 a	0.68 ± 0.04 a
Mn	7.0 ± 0.2 b	6.0 ± 0.2 c	8.7 ± 0.2 a
Zn	0.5 ± 0.0 c	340.3 ± 11.2 a	265.9 ± 3.7 b
<i>Metal concentration in xylem sap (mg l<sup>-1</sup>)</i>			
Cd	BDL	0.10 ± 0.01 x20!	0.09 ± 0.01 x18!
Fe	0.07 ± 0.02 a	0.05 ± 0.02 a	0.07 ± 0.03 a
Mn	3.2 ± 0.7 a	3.3 ± 0.8 a x66!	2.2 ± 0.4 a x44!
Zn	3.5 ± 0.1 c	14.3 ± 0.5 b	17.4 ± 0.7 a
<i>Metal accumulation in leaves (mg kg<sup>-1</sup>)</i>			
Cd	BDL	105.8 ± 8.5 a	17.9 ± 0.9 b
Fe	47.1 ± 3.2 b	79.2 ± 3.9 a	39.0 ± 4.9 b
Mn	148 ± 33 a	148 ± 19 a	116 ± 22 a
Zn	201 ± 11 c	1303 ± 100 a	645 ± 83 b

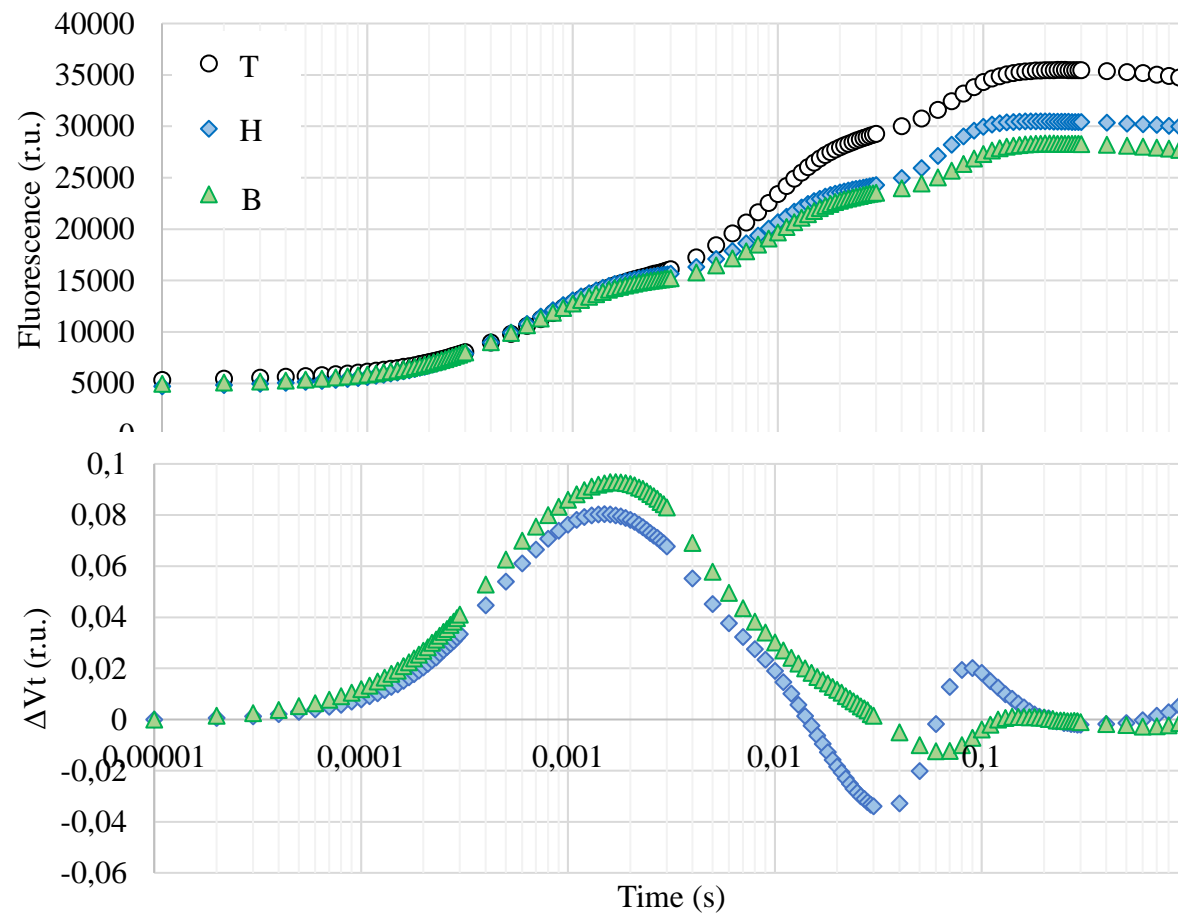
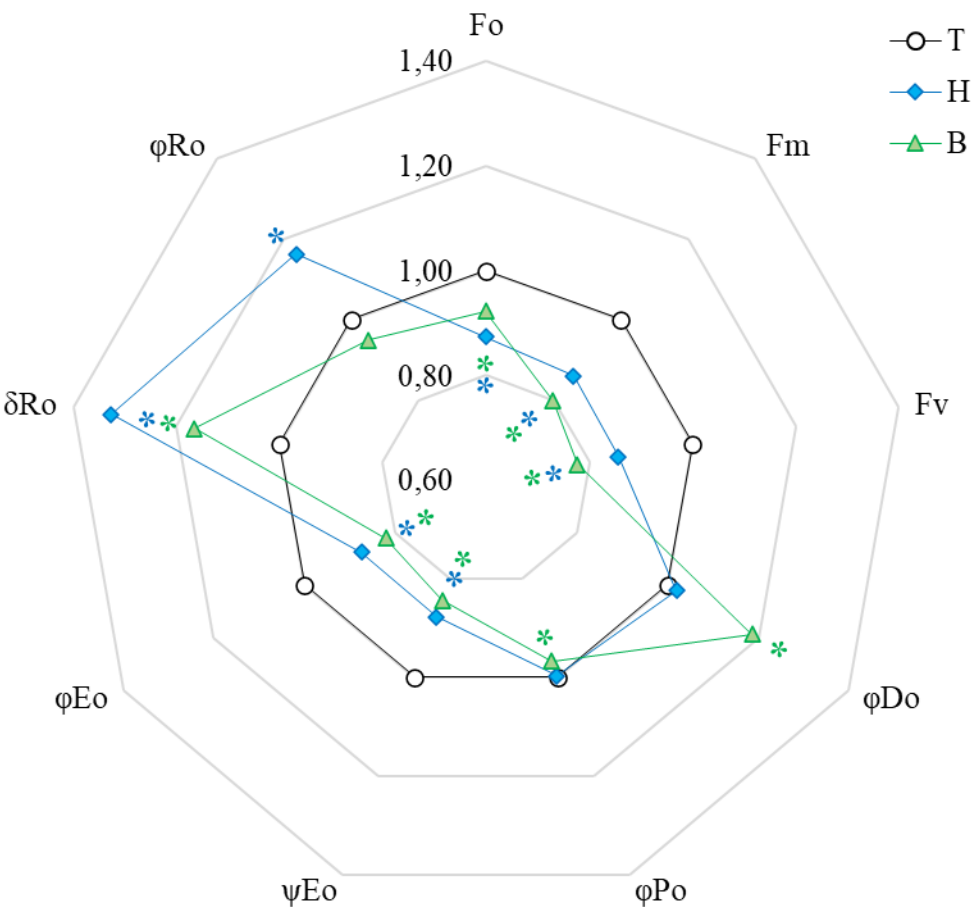


# 3: EKOTOKSYKOLOGIA



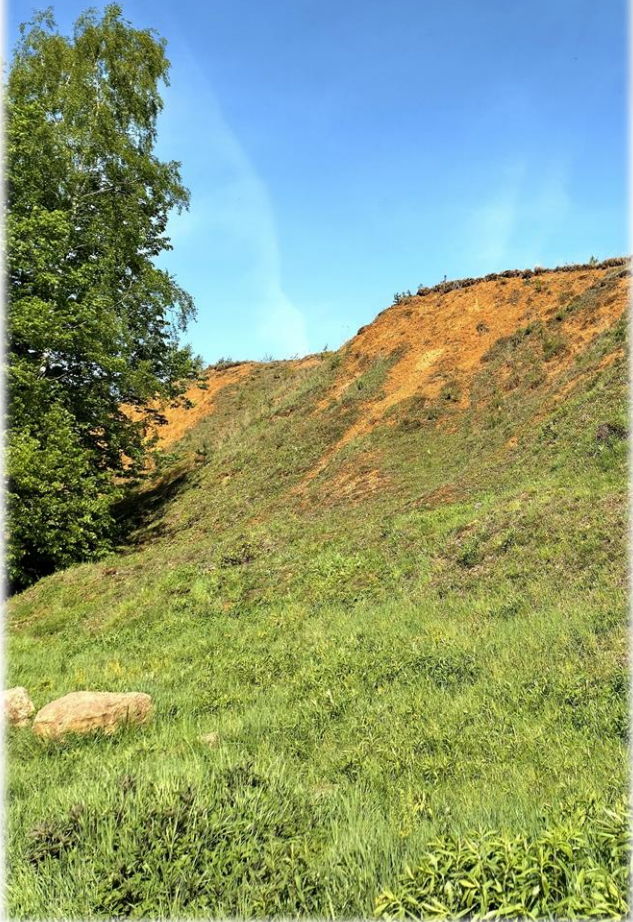
Legend:

- ABS/CS
- TR/CS
- RC/CS
- ET/CS
- DI/CS



Sukces brzoź na hałdach wynika z plastyczności i modyfikacji fizjologii!

- Wydajna strategia rozmnażania;
- Nieenzymatyczne drogi walki ze stresem oksydacyjnym;
- Dostosowanie wzrostu do warunków siedliskowych – grubość liści;
- Ochrona aparatu fotosyntetycznego – rozpraszanie nadmiaru energii + antocyjany;
- Mechanizmy tolerancji na wysokie dawki metali – czy 100ppm Cd w liściach wystarczy do wydajnej fitoremediacji?







**Dziękuję za uwagę**

dr Krzysztof Sitko

UŚ – Zespół Ekofizjologii Roślin

IETU – Remediacja gleb, rozwiązania oparte  
na naturze i rolnictwo miejskie

E-mail: [krzysztof.sitko@us.edu.pl](mailto:krzysztof.sitko@us.edu.pl) // [kr.sitko@ietu.pl](mailto:kr.sitko@ietu.pl)

