

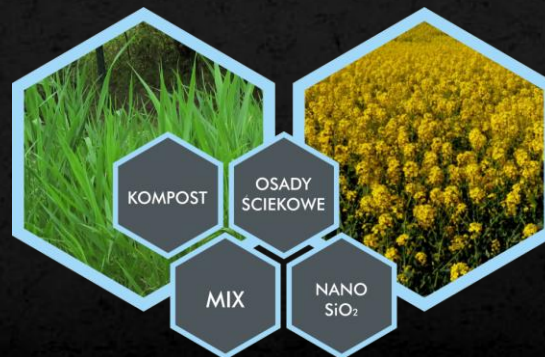


# Efektywność energetyczna procesu fitoremediacji wspomaganego użyciem roślin energetycznych: *B. napus* L. i *P. arundinacea* L.

Dr Dariusz Włóka

Dr Marzena Smol

Prof. Dr hab. Inż.. Małgorzata Kacprzak



# Problem degradacji i dewastacji gleby

## Stan środowiska glebowego

- Obecnie w Polsce 63 tys. ha gruntów wymaga remediacji
- Niestety jedynie niewielki odsetek tego terenu aktywnie poddawany jest remediacji (2% cele rolnicze; 0,7% cele leśne)

## Przyczyny degradacji gleby

- Niezrównoważone rolnictwo
- Przemysł ciężki
- Sektor transportu
- Energetyka (paliwa kopalne)
- Niewłaściwa gospodarka odpadami





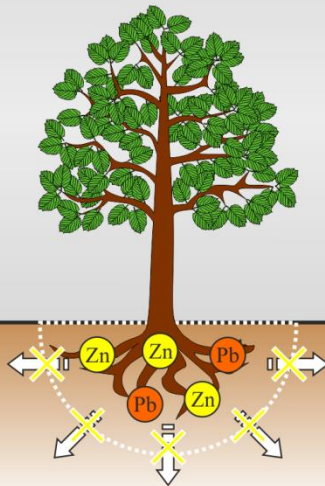
# Biologiczne metody oczyszczania gleby

- Biologiczne metody oczyszczania gleby polegają na wykorzystaniu naturalnego potencjału mikroorganizmów lub roślin do poboru, akumulacji bądź rozkładu zanieczyszczeń

## Bioremediacja

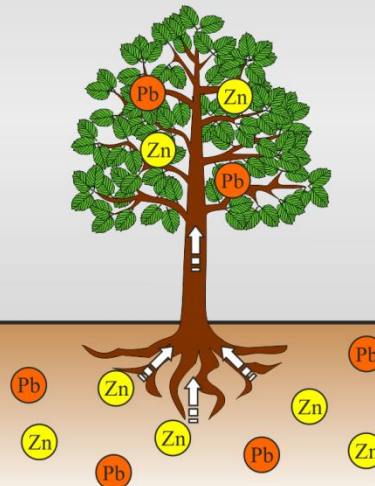
## Fitoremediacja

### Fitostabilizacja



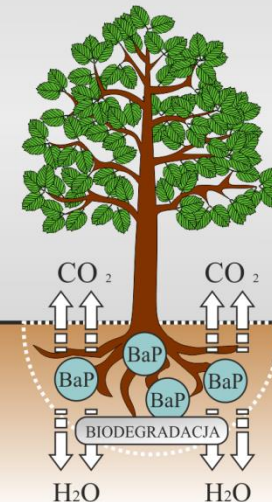
Immobilizacja zanieczyszczeń w obrębie oddziaływania struktury korzeniowej (obszar ryzosfery).

### Fitoekstrakcja



Translokacja oraz akumulacja cząstek zanieczyszczeń w tkankach i organach roślin.

### Ryzodegradacja



Indukcja mikrobiologicznych procesów dekompozycji zanieczyszczeń. Proces realizowany z udziałem mikroflory w strefie ryzosferowej.

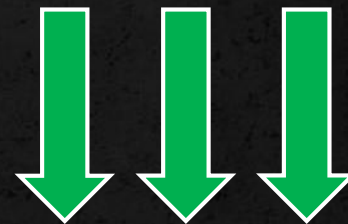
# Zastosowanie roślin energetycznych w fitoremediacji

Koncepcja opiera się na wprowadzeniu roślin energetycznych do układu remediacyjnego pozwalających na intensyfikację procesu oczyszczania środowiska oraz pozyskanie alternatywnej formy paliwa (Biomasa, nasiona, owoce).



**Rośliny energetyczne**

**Pozyskanie surowców energetycznych oraz poprawa ekonomii procesu**



**Korzyść ekonomiczna**

**Korzyść środowiskowa**

# CEL I ZAKRES EKSPERYMENTU

## Cel eksperymentu

- Celem badań była ocena efektywności energetycznej metody fitoremediacji, wspieranej uprawą roślin energetycznych. Prace skoncentrowane zostały na identyfikacji kosztów i zysków energetycznych ponoszonych i uzyskanych w trakcie 3 letnich badań polowych.

## Zakres eksperymentu

- Przygotowanie 3 letnich badań polowych z użyciem 2 gatunków roślin energetycznych: *P. arundinacea* L. oraz *B. napus* L.
- Ocena efektywności procesu fitoremediacji
- Ocena efektywności energetycznej procesu oparta na wyznaczeniu bilansu energetycznego (koszt/zysk)



# METODYKA BADAŃ

## Schemat eksperymentu

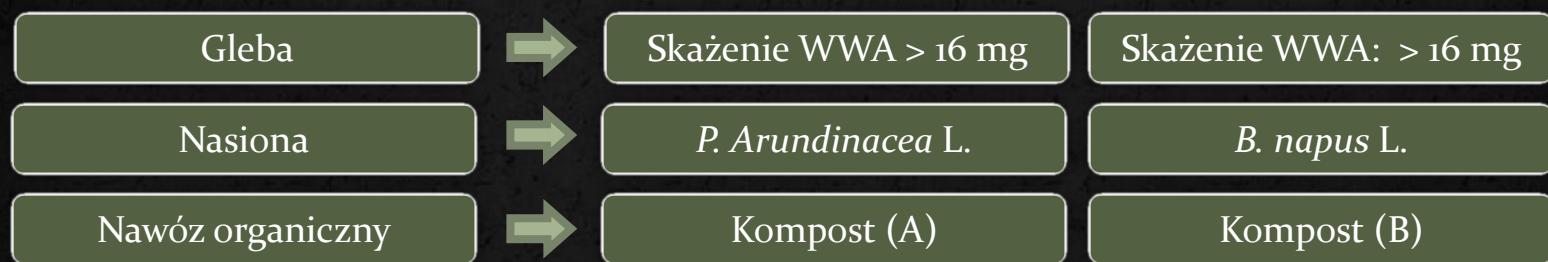


# MATERIAŁY

## Miejsce badań

- Badania prowadzone były na rzeczywistym terenie podlegającym zabiegom remediacyjnym. Obszar rolniczy, skażony w efekcie realizacji prac konstrukcyjnych – remont i budowa drogi szybkiego ruchu. Obszar po wstępnej ocenie skierowany został do remediacji.

## Materiały



P CS – 3 poletka (9m<sup>3</sup>) – Kontrola dla *P. arundinacea* L.

P F – 3 poletka (9m<sup>3</sup>) – obszar nawożony kompostem, uprawa *P. arundinacea* L.

B CS – 3 poletka (9m<sup>3</sup>) – Kontrola dla *B. napus* L.

B F – 3 poletka (9m<sup>3</sup>) – obszar nawożony kompostem, uprawa *B. napus* L.

# MATERIAŁY c.d.

CS – Próba kontrolna (Gleba)

F – Nawóz organiczny (Kompost)

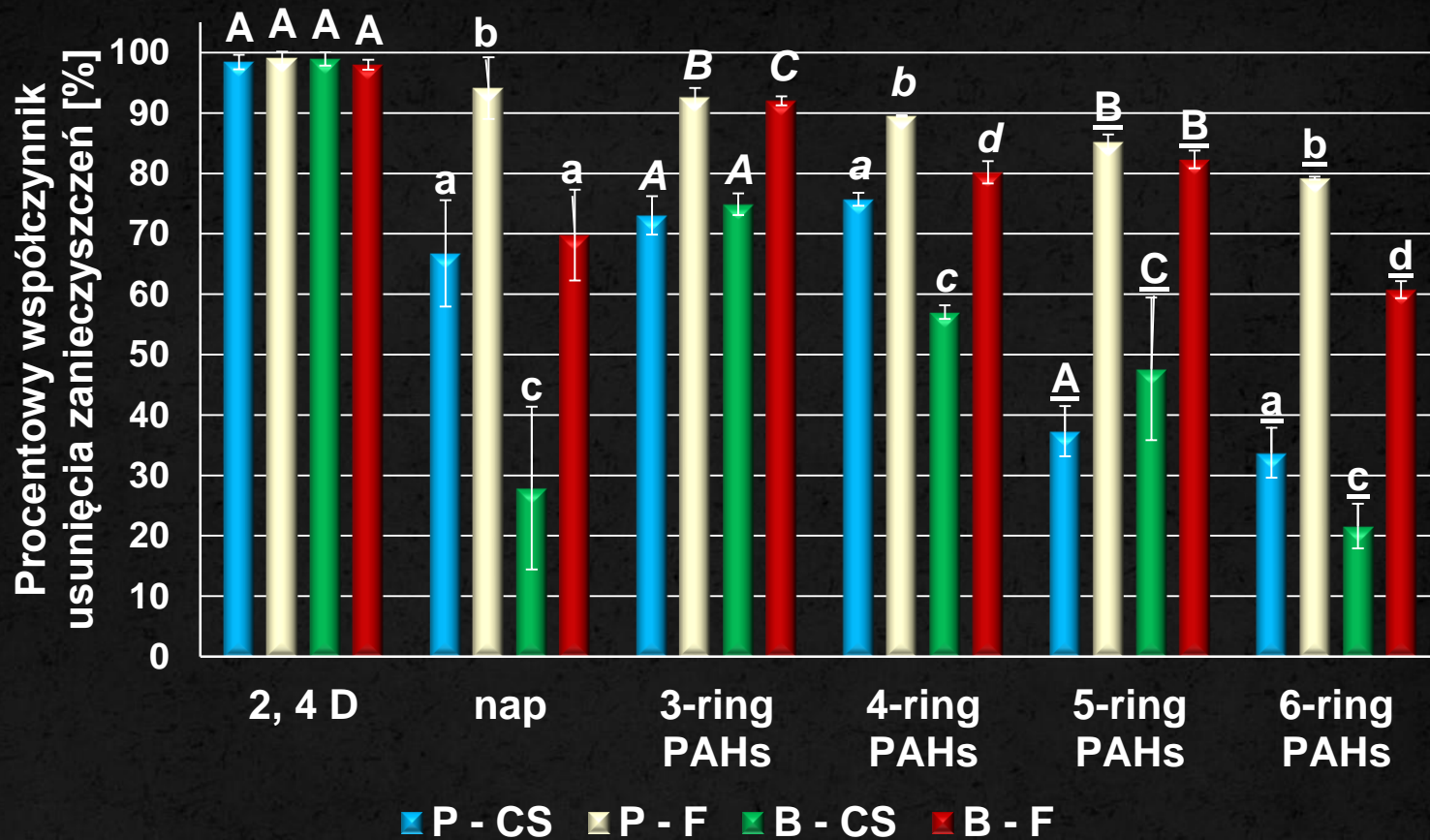
P – *Phalaris arundinacea* L.

B – *Brassica napus* L.

Parametr	P CS	P F	Kompost A	B CS	B F	Kompost B
Sucha masa [%]	91.24 ± 1.12	90.28 ± 0.50	45.22 ± 1.05	92.14 ± 1.20	91.89 ± 0.10	48.10 ± 1.10
LOI [%]	5.14 ± 0.52	3.98 ± 0.20	84.22 ± 0.82	5.20 ± 0.46	4.46 ± 0.22	82.43 ± 0.42
pH (H <sub>2</sub> O)	6.89 ± 0.10	6.88 ± 0.05	6.92 ± 0.05	6.79 ± 0.15	6.82 ± 0.02	6.92 ± 0.10
pH (KCl)	6.34 ± 0.05	6.30 ± 0.05	6.58 ± 0.10	6.40 ± 0.10	6.42 ± 0.08	6.48 ± 0.10
CEC [cmol(+) kg <sup>-1</sup> ]	45.22 ± 1.10	39.54 ± 1.10	-	46.10 ± 1.12	42.09 ± 0.92	-
C [g kg <sup>-1</sup> d.m.]	115.28 ± 5.37	99.51 ± 2.65	276.20 ± 8.21	120.08 ± 4.22	100.22 ± 1.10	240.10 ± 7.10
N [g kg <sup>-1</sup> d.m.]	4.18 ± 0.22	3.82 ± 0.12	39.11 ± 2.82	3.98 ± 0.12	4.24 ± 0.14	42.81 ± 3.20
P [g kg <sup>-1</sup> d.m.]	0.62 ± 0.18	0.70 ± 0.10	3.28 ± 0.10	0.78 ± 0.20	0.64 ± 0.02	4.86 ± 0.10
Cd [mg kg <sup>-1</sup> d.m.]	1.04 ± 0.12	0.98 ± 0.12	0.24 ± 0.10	1.10 ± 0.02	0.92 ± 0.31	0.64 ± 0.18
Cr [mg kg <sup>-1</sup> d.m.]	12.57 ± 0.08	9.59 ± 0.14	11.24 ± 0.41	12.05 ± 0.18	9.24 ± 0.08	12.14 ± 0.21
Ni [mg kg <sup>-1</sup> d.m.]	0.82 ± 0.06	0.48 ± 0.15	0.08 ± 0.05	0.28 ± 0.16	0.08 ± 0.05	0.28 ± 0.07
Pb [mg kg <sup>-1</sup> d.m.]	12.14 ± 0.20	9.20 ± 0.08	4.05 ± 0.18	10.42 ± 0.22	10.72 ± 0.05	2.27 ± 0.28



# ANALIZA PRZYPADKU - Efektywność procesu



CS - Próba kontrolna (Gleba)  
F - Nawóz organiczny (Kompost)  
P - *Phalaris arundinacea* L.  
B - *Brassica napus* L.

# ANALIZA PRZYPADKU - Przyrost biomasy

Tabela przedstawia wyniki pomiarów wielkości plonu uzyskiwanego podczas realizacji procesu fitoremediacji

Parameter	Biomasa [Mg ha <sup>-1</sup> ]				Nasiona [Mg ha <sup>-1</sup> ]	
	P - CS	P - F	B - CS	B - F	B - CS	B - F
1 <sup>st</sup> sezon	0.995 <sub>± 0.005</sub>	2.626 <sub>± 0.012</sub>	0.012 <sub>± 0.001</sub>	0.625 <sub>± 0.001</sub>	0.001 <sub>± 0.001</sub>	0.010 <sub>± 0.002</sub>
2 <sup>nd</sup> sezon	2.188 <sub>± 0.011</sub>	6.173 <sub>± 0.008</sub>	0.174 <sub>± 0.001</sub>	0.866 <sub>± 0.005</sub>	0.015 <sub>± 0.001</sub>	0.064 <sub>± 0.001</sub>
3 <sup>rd</sup> sezon	4.512 <sub>± 0.005</sub>	7.922 <sub>± 0.011</sub>	0.500 <sub>± 0.002</sub>	1.123 <sub>± 0.004</sub>	0.054 <sub>± 0.002</sub>	0.205 <sub>± 0.003</sub>



CS – Próba kontrolna (Gleba)  
F – Nawóz organiczny (Kompost)  
P – *Phalaris arundinacea* L.  
B – *Brassica napus* L.

# ANALIZA PRZYPADKU - Parametry wykorzystane przy ocenie

## Parametry wykorzystane do oceny bilansu energetycznego procesu fitoremediacji

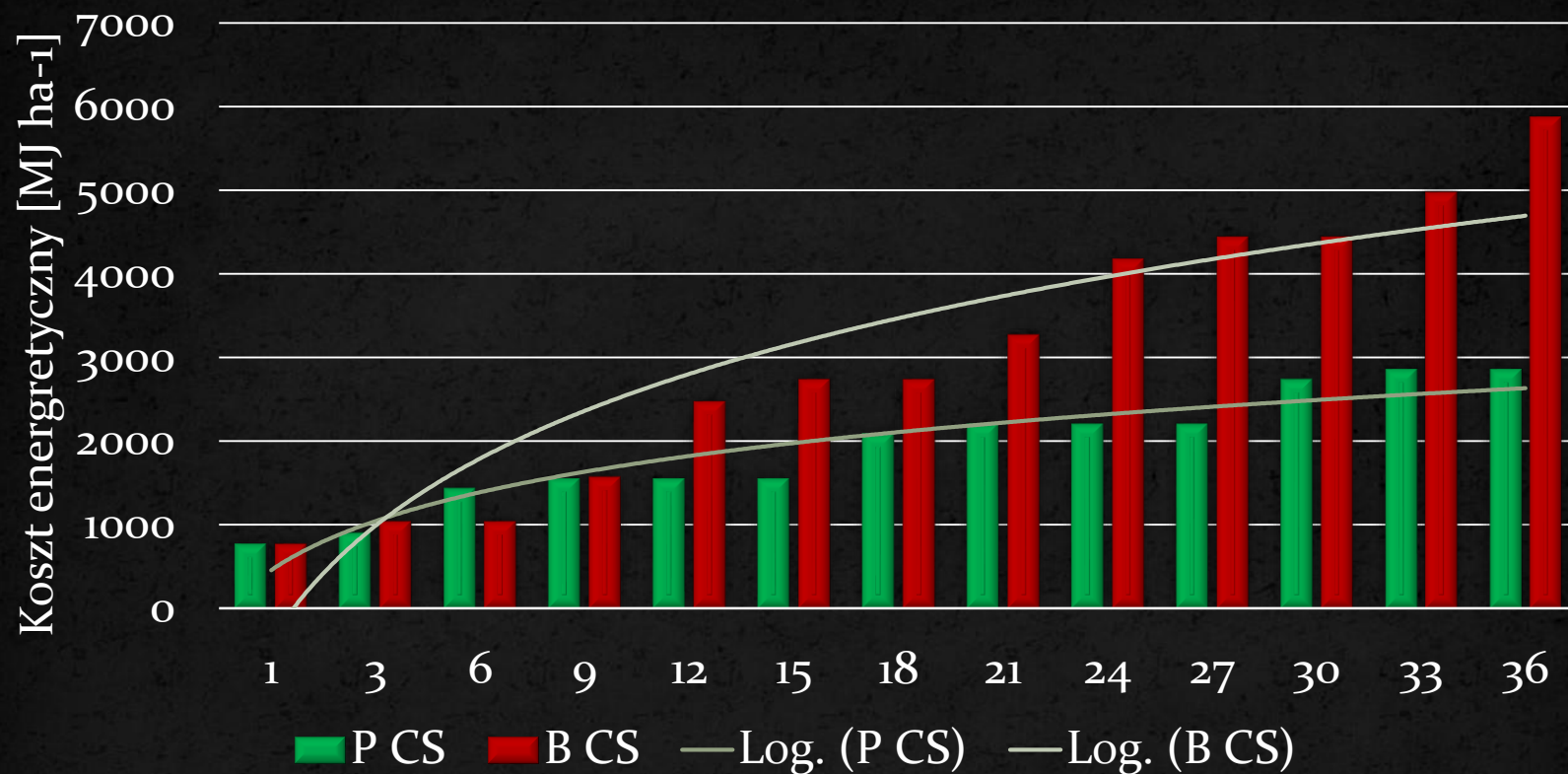
Koszt energetyczny (zużycie paliwa)		
Parametr	Średnie zużycie paliwa [l ha <sup>-1</sup> ]	Wartość energetyczna [MJ ha <sup>-1</sup> ]
Prace agrotechniczne	20.30	783.58
Nawożenie	3.40	131.24
Wysiew	3.10	119.66
Zbiory plonów	13.80	532.68
Transport (10 km)	0.31	119.66

Koszt energetyczny (materiałowy)		
Parametr	Podstawowa jednostka [kg ha <sup>-1</sup> ]	Wartość energetyczna [MJ ha <sup>-1</sup> ]
Nasiona <i>P. arundinacea</i> L.	0.75	9.07
Nasiona <i>B. napus</i> L.	3.75	144.86
Kompost	5700	15619.25

Zysk energetyczny (Przewidywany)		
Parameter	Podstawowa jednostka [kg]	Wartość energetyczna [MJ kg]
Biomasa <i>P. arundinacea</i> L.	1	14.68 ± 0.22
Biomasa <i>B. napus</i> L.	1	18.69 ± 0.05
Nasiona <i>B. napus</i> L.	1	38.63 ± 0.96



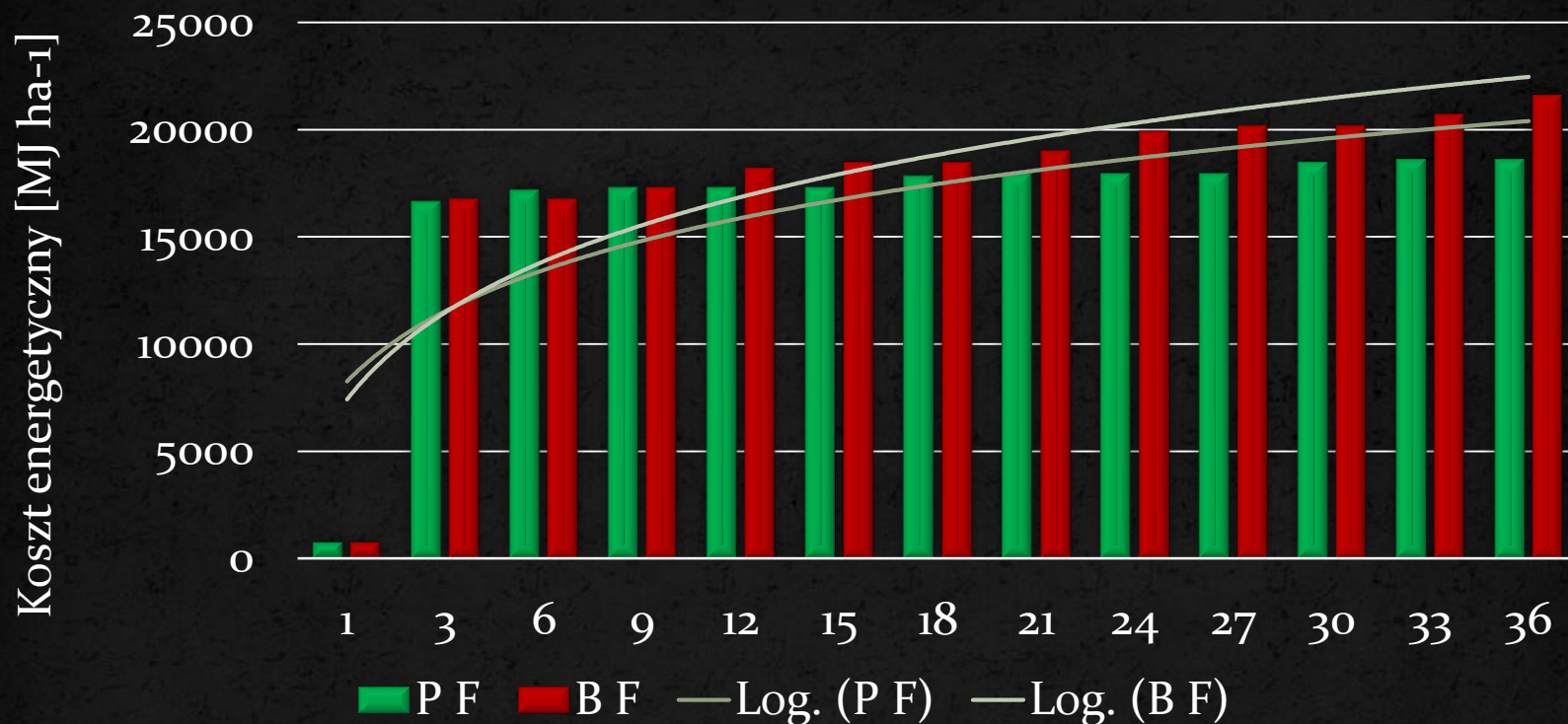
# ANALIZA PRZYPADKU – Poziom zużycia energii



CS – Próba kontrolna (Gleba)  
F – Nawóz organiczny (Kompost)  
P – *Phalaris arundinacea* L.  
B – *Brassica napus* L.

# ANALIZA PRZYPADKU – Poziom zużycia energii

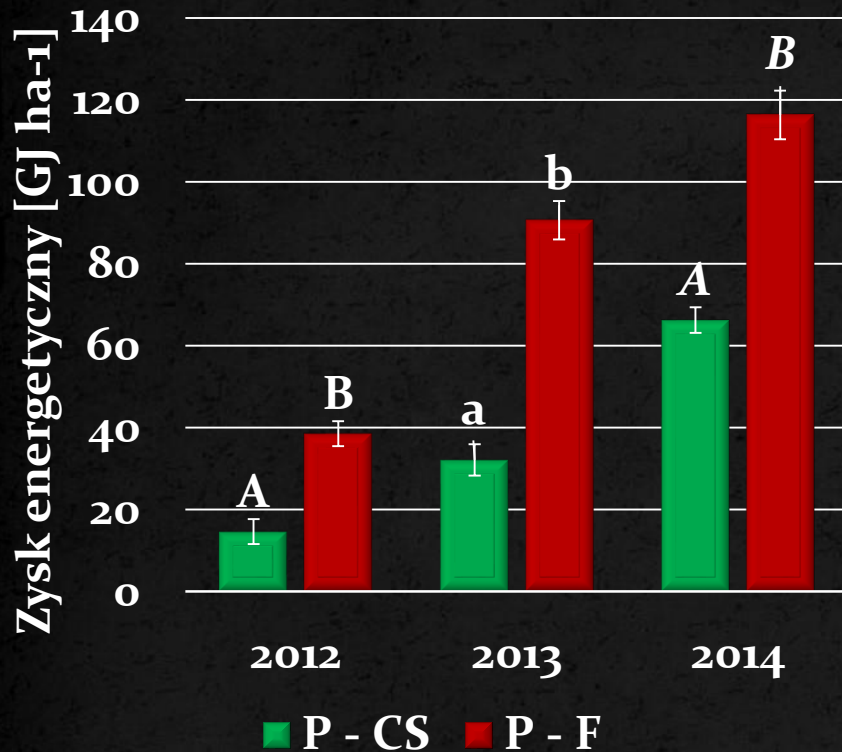
B



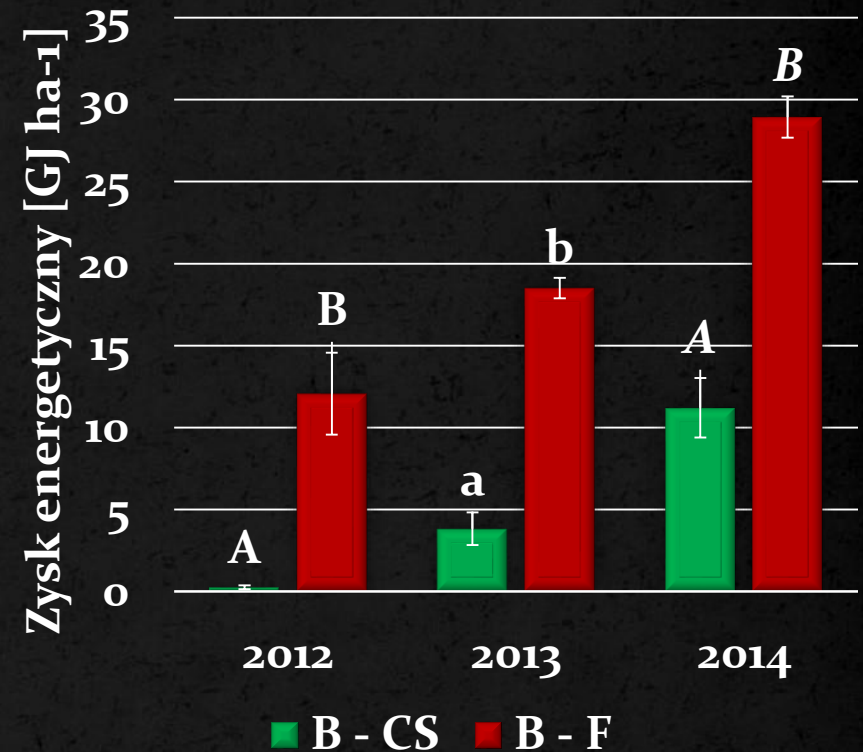
CS - Próba kontrolna (Gleba)  
F - Nawóz organiczny (Kompost)  
P - *Phalaris arundinacea* L.  
B - *Brassica napus* L.

# ANALIZA PRZYPADKU – Korzyść energetyczna

## Phalaris arundinacea L.



## Brassica napus L.



CS - Próba kontrolna (Gleba)  
F - Nawóz organiczny (Kompost)  
P - *Phalaris arundinacea* L.  
B - *Brassica napus* L.



# BILANS ENERGETYCZNY PROCESU

Próba	Koszt energetyczny [GJ ha <sup>-1</sup> ]	Bilans energetyczny [GJ ha <sup>-1</sup> ]	Energy balance [GJ ha <sup>-1</sup> ]	Ekwiwalent węgla kamiennego [Mg]
P CS – 1 sezon	1.68	14.61	12.92	0.73
P CS – 2 sezon	2.34	46.74	44.40	2.50
P CS – 3 sezon	2.99	112.98	109.99	6.19
P F – 1 sezon	17.32	38.55	21.23	1.19
P F – 2 sezon	17.97	129.18	111.21	6.25
P F – 3 sezon	18.62	245.48	226.86	12.76
B CS – 1 sezon	1.58	0.26	-1.33	0
B CS – 2 sezon	3.28	4.08	0.80	0.04
B CS – 3 sezon	5.88	15.29	9.41	0.53
B F – 1 sezon	17.33	12.06	-5.27	0
B F – 2 sezon	19.03	30.57	11.53	0.65
B F – 3 sezon	21.64	59.51	37.87	2.13

# PODSUMOWANIE

## WYNIKI UZYSKANE PODCZAS REALIZACJI EKSPERYMENTU POZWALAJĄ NA WYSUNIĘCIE NASTĘPUJĄCYCH WNIOSKÓW:

- **Technologia fitoremediacji, wspomagana użyciem roślin energetycznych może być dodatnim energetycznie procesem**
- **W celu uzyskania najkorzystniejszych efektów należy prowadzić dodatkowe zabiegi agrotechniczne oraz stosować dedykowaną strategię nawożenia**
- **Szerokie rozpowszechnienie metod o opisywanej charakterystyce może przyczynić się do zwiększenia udziału energii pozyskiwanej ze źródeł odnawialnych**



Instytut Gospodarki  
Surowcami Mineralnymi  
i Energią  
Polskiej Akademii Nauk



**DZIĘKUJEMY ZA UWAGĘ**

[www.researchgate.net/profile/Dariusz\\_Wtoka](http://www.researchgate.net/profile/Dariusz_Wtoka)  
[www.technabio.com](http://www.technabio.com)

---

Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią  
Polska Akademia Nauk

KONTAKT

[dwloka@min-pan.krakow.pl](mailto:dwloka@min-pan.krakow.pl)