

**Jean Diatta**

Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu,  
Katedra Chemii Rolnej i Biogeochemii  
Środowiska, Poznań

# **(FITO)-REKULTYWACJA NA BAZIE KOMPONENTÓW Z UBOCZNYCH PRODUKTÓW SPALANIA**

## **STRESZCZENIE**

---

*Uboczne produkty spalania (UPS) stanowią, z racji procesu technologicznego, mineralnym tworem o zróżnicowanej konsystencji i postaci. Ten aspekt jest podstawą ukierunkowania ich dalszego użytkowania, przetwarzania lub składowania. Kierunek przetwarzania jest coraz bardziej promowany ze względów gospodarczych, przyrodniczych i społecznych. Regulacje formalno-prawne ukierunkowują te zagadnienia.*

*Fito-rekultywacja daje wiele korzyści wynikających z umiejętnego tworzenia substratów / komponentów na bazie UPS oraz ich zastosowania jako podłoża czynne biologicznie. Te z kolei służą do dynamicznej, zintegrowanej i pro-ekologicznej rekultywacji terenów niekorzystnie przekształconych (zdegradowanych) według własnej koncepcji MaxGreen. Tę koncepcję uzupełniono i wzbogacono w aspekt tzw. Green Zysk, co w istocie rzeczy wspiera podstawę pakietu o Obiegu Zamkniętym (Circular Economy Package tzw. CEP).*

---

## **WSTĘP**

Produkcja energii zarówno elektrycznej jak i ciepłej jest od zawsze związana z wytwarzaniem wtórnych materiałów, które można sklasyfikować jako stałe, płynne i gazowe. Z racji procesów technologicznych, spalanie węgla kamiennego i brunatnego oraz biomasy pochodzenia roślinnego generuje przeważnie mineralne odpady określane jako Uboczne Produkty Spalania (UPS), [Gajda i in., 2002; Pyssa, 2005; Przekopowska, 2011; Waclawowicz 2011; Szymańska, 2013; Hycnar i in., 2014]. Ta różnorodność

pod względem fizycznym (postać pylista, lotność niektórych cząstek stałych) oraz chemicznym (zróżnicowana reaktywność związków mineralnych) były jak dotąd utrudnieniem, które rozwiązano między innymi składowaniem na specjalnych wydzielonych stanowiskach lub na wysypiskach odpadów.

Obecnie wprowadzone regulacje zarówno krajowe jak i unijne wytyczają kierunki działań o charakterze zdecydowanie pro-społecznym, pro-innowacyjnym, pro-gospodarczym i pro-środowiskowym. Ten aspekt jest podstawą ukierunkowania UPS-ów po kątem ich dalszego użytkowania a ściślej *przetwarzania/uszlachetniania* lub ewentualnie składowania. Jest to dążenie do eliminowania zanieczyszczeń uciążliwych dla środowiska naturalnego, zwiększenia bazy surowcowej gospodarki narodowej, zmniejszenia zużycia materiałów oraz kosztów produkcji w wyniku wyeliminowania zanieczyszczenia środowiska odpadami.

Przemysł energetyczny w Polsce oparty jest w ponad 90% na węglu. Każdego roku wytwarza się ok. 15 milionów ton popiołów i żużli energetycznych oraz ok. 5 milionów ton gipsów (reagipsów) w instalacjach odsiarczania spalin (IOS). Nowelizacja Dyrektywy Odpadowej, planuje nadać popiołów i żużlom z energetyki status odpadów niebezpiecznych. Zmieni to całkowicie całą branżę odzysku i przetwarzania oraz składowania.

Z drugiej strony, produkcja biomasy oraz jej spalanie jest jednym z podstaw założeń do programu „Polityka Energetyczna Polski do 2030”, gdzie odgrywa ona szczególną rolę wśród odnawialnych źródeł energii [Styszko i in., 2010; Fijałkowska i Styszko 2011, Xiao i in., 2011; Stolarski i in., 2013b; Raport GUS 2014; Uliasz-Bocheńczyk i Mokrzycki, 2015]. Definicja biomasy zawarta jest w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 20 grudnia 2005 r. w sprawie standardów emisyjnych z instalacji (Dz.U. Nr 260 poz. 2181). W świetle tego Rozporządzenia, biomasę stanowi produkt składający się w całości lub części z substancji roślinnych, które pochodzą z rolnictwa, leśnictwa, a są spalane w celu odzyskania zawartej w nich energii. Jako biomasa traktowane są także odpady pochodzące z rolnictwa, leśnictwa, roślinne z przemysłu spożywczego.

Zgodnie z tymi przepisami także drewno jest uznawane jako biomasa, jednak odpady drewniane pokryte lub nasączone impregnatami lub środkami ochrony drewna nie stanowią już biomasy w rozumieniu zacytowanego Rozporządzenia. Za biomasę nie będzie uznawane drewno pełnowartościowe. Należy zasygnalizować, że najczęściej stosowana do produkcji energii jest biomasa leśna, ale znaczenie biomasy rolniczej wzrasta znacznie. Przeszkodą jest formalna niemożliwość zagospodarowania popiołów pochodzących ze spalania biomasy.

Nowelizacja dyrektyw w zakresie gospodarki odpadami, zaproponowana przez Komisję Europejską w ramach pakietu Gospodarki o Obiegu Zamkniętym (*Circular Economy Package* tzw. CEP) stwarza

wyjątkową szansę na zbudowanie w Polsce efektywnego systemu gospodarki odpadami [<http://ec.europa.eu/environment/circular-economy>].

W ostatnim dziesięcioleciu, związanym również z wstąpieniem Polski do Unii Europejskiej, pojawiły się regulacje, które nakładają do zwiększenia odzysku (przetwarzania), czyli recyklingu produktów uważanych wcześniej za odpady. Ten proces utworzenia nowych komponentów lub produktów użytkowych opiera się między innymi na tzw. zasadzie **3R**, czyli **Reduce** (ograniczenie), **Reuse** (ponowne użycie), **Recycle** (odzyskiwanie).

Te dwie ostatnie zasady [**Reuse** (ponowne użycie), **Recycle** (odzyskiwanie)] są siłą napędową promującą silne zaangażowanie coraz więcej podmiotów gospodarczych jak i wyspecjalizowanych organizacji społecznych na rzecz ochrony środowiska a między innymi bezpieczeństwa i zdrowia człowieka. Zagospodarowanie UPS-ów powinno także uwzględnić inne odpady takie jak osady ściekowe, choć bardzo uciążliwe, ale o wysokiej wartości biologicznej.

Niniejszy artykuł jest koncepcyjnym podejściem w kierunku kompleksowego przetwarzania/uszlachetniania szczególnie popiołów (fluidalnych, dennych) ze spalania węgla kamiennego i brunatnego, biomasy roślinnej oraz produktów i substratów uzyskanych w instalacjach odsiarczania spalin (IOS), mianowicie gips (reagips).

Daleko idącym rozważaniem jest włączenie aspektu środowiskowego w formie fito-rekultywacji (wykorzystując roślinność) na gruntach i glebach zniekształconych antropogenicznie. Jednym słowem, należy mocno się przychylić w kierunku **UPS-(Fito)rekultywacja** lub prościej **UPS-Green**.

## **FITO-REKULTYWACJA JAKO NARZĘDZIE PRO-UPS**

Podstawą formalną działań rekultywacyjnych jest Ustawa o ochronie gruntów rolnych i leśnych z 3 lutego 1995r. (Dz.U. nr 16, poz.78), znowelizowana 22 maja 1997r. (Dz.U. nr 60, poz.370), a w szczególności Art. 4:

18) rekultywacja gruntów – rozumie się przez to nadanie lub przywrócenie gruntom zdegradowanym albo zdewastowanym wartości użytkowych lub przyrodniczych przez właściwe ukształtowanie rzeźby terenu, poprawienie właściwości fizycznych i chemicznych, uregulowanie stosunków wodnych, odtworzenie gleb, umocnienie skarp oraz odbudowanie lub zbudowanie niezbędnych dróg. Po dekadzie, rozszerzono pewne regulacje formalne w nawiązaniu do wcześniej osiągniętych celów z jednej strony i do zaplanowanych, zwłaszcza w ramach uregulowań unijnych.

W II Polityce Ekologicznej Państwa, wśród celów długookresowych (do 2025r.), przyjmuje się realizację maksymalnie możliwej odbudowy zniszczeń zaistniałych w środowisku przyrodniczym i stworzenie systemów zabezpieczającego przed ich ponownym powstaniem. Przede wszystkim o maksymalne zagospodarowanie nieużytków poprzemysłowych i zamkniętych już składowisk odpadów przemysłowych oraz realizację programów ich inwentaryzacji i rekultywacji.

Zgodnie z opracowaniami przez Ministerstwo Środowiska i przyjętymi przez Radę Ministrów w kwietniu 2003r., „Założenia Programu Rządowego dla terenów poprzemysłowych” oraz art. 102 Ustawy Prawo Ochrony Środowiska, władający powierzchnią ziemi, na której występuje zniszczona gleba lub ziemi albo niekorzystne przekształcenie naturalnego ukształtowania powierzchni terenu jest zobowiązany do przeprowadzenia rekultywacji [Ochrona i Rekultywacja Gruntów 2000]. W przypadku terenów związanych z eksploatacją i przetwórstwem surowców skalnych, jedną z form zwrócenia przyrodzie zdegradowanych terenów jest ich wykorzystanie poprzez ustalony kierunek fito-rekultywacji. Więc, racjonalne użytkowanie ziemi i jej ochrona jest jednym z ważniejszych priorytetów polityki ekologicznej państwa.

Zabiegi zaplanowane w ramach czynności rekultywacyjnych są ściśle związane ze stanem środowiska naturalnego oraz stopniem jego degradacji.

## **KONCEPCJA MAXGREEN czyli UPS-GREEN**

### ***1. Odpady o wysokiej wartości biologicznej (np. osady ściekowe)***

Rocznie w Polsce wytwarzanych jest około 12 mld metrów sześciennych ścieków, z czego powstaje około 700 tys. ton osadów ściekowych. Według prognoz Izby Gospodarczej Wodociągi Polskie, za kilka lat może ich być nawet 1 mln ton rocznie.

Od 01.01.2016r. następuje w Polsce formalny zakaz składowania osadów ściekowych, który wynika z dyrektywy 1999/31/WE z 26 kwietnia 1999 r. w sprawie składowania odpadów. Zabrania ona składowania osadów ściekowych, których ciepło spalania wynosi powyżej 6 MJ/kg suchej masy. Do polskiego prawa zostało wprowadzone *Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu (Dz.U. z 2013 r. poz. 38).*

*Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Warszawa, dnia 25 lutego 2015 r. Dz. Ust., Poz. 257)* stanowi, że osady ściekowe wykorzystywane na

różne cele muszą spełniać odpowiednie wymagania sanitarno-higieniczne i nie mogą przekraczać zawartości metali ciężkich powyżej wartości dopuszczalnych, określonych w Rozporządzeniu (Tabela 1, Tabela 2)

**Tabela 1:** Dopuszczalna zawartość metali ciężkich w komunalnych osadach ściekowych\*

Metal	Zawartość metali ciężkich w suchej masie osadów nie większa niż przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych		
	<b>w rolnictwie oraz do rekultywacji gruntów na cele rolne</b>	<b><u>do rekultywacji terenów na cele nierolne</u></b>	<b><u>przy dostosowywaniu gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu, do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu, do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i produkcji pasz</u></b>
	mg / kg		
Kadm (Cd)	20	25	50
Miedź (Cu)	50	75	100
Nikiel (Ni)	30	45	60
Ołów (Pb)	50	75	100
Cynk (Zn)	150	220	300
Rtęć (Hg)	1	1,5	2
Chrom (Cr)	100	150	200

\* Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Warszawa, dnia 25 lutego 2015 r. Dz. Ust., Poz. 257)

**Tabela 2:** Wartości dopuszczalne ilości metali ciężkich w wierzchniej warstwie gruntu o głębokości 0–25 cm przy stosowaniu komunalnych osadów ściekowych do rekultywacji terenów na cele nierolne, przy dostosowywaniu gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu, do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu oraz do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i produkcji pasz\*

Lp	Metal	Wartość dopuszczalna ilości metali ciężkich w suchej masie gruntu nie większa niż na gruntach		
		lekkich	średnich	ciężkich
		mg / kg		
1	Kadm (Cd)	3	4	5
2	Miedź (Cu)	50	75	100
3	Nikiel (Ni)	30	45	60
4	Ołów (Pb)	50	75	100
5	Cynk (Zn)	150	220	300
6	Rtęć (Hg)	1	1,5	2
7	Chrom (Cr)	100	150	200

\* Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 6 lutego 2015 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych (Warszawa, dnia 25 lutego 2015 r. Dz. Ust., Poz. 257)

Zgodnie z hierarchią postępowania z odpadami, określoną w *Ustawie z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach (Dz. U. 2013 poz. 21)*, składowanie stanowi ostateczne rozwiązanie. Biorąc jednak pod uwagę możliwości obciążenia środowiska przyrodniczego, popioły muszą być przed właściwym zagospodarowaniem przebadane pod kątem ewentualnego stopnia ich szkodliwości i potencjalnego oddziaływania na środowisko.

## 2. Przetwarzanie jako metoda uszlachetniania UPS-ów

Jedną z najważniejszych charakterystyk materiałów użytych w praktykach rekultywacyjnych są ich właściwości fizyczne i chemiczne, które w wielu przypadkach skrajnie się różnią. Z jednej strony, najpopularniejsze UPS-y to *popioły fluidalne* (ze spalania węgla kamiennego oraz brunatnego), *popioły ze spalania biomasy roślinnej*, *gips określany także jako reagips* (z Instalacji Odsiarczania Spalin – IOS). Z drugiej strony uwzględnić należy różnego rodzaju *odpady organiczne*, które traktować jako dodatek uszlachetniający i wzbogacający UPS-y w związki i substancje organiczne bardzo potrzebne drobnoustrojom

i roślinność do zasiedlania „wyjałowione” grunty, zwałowiska i tereny silnie zniekształcone działalnością górniczo-przemysłową.

## **2. a. Rozpoznanie stanu i właściwości gruntu/podłoża**

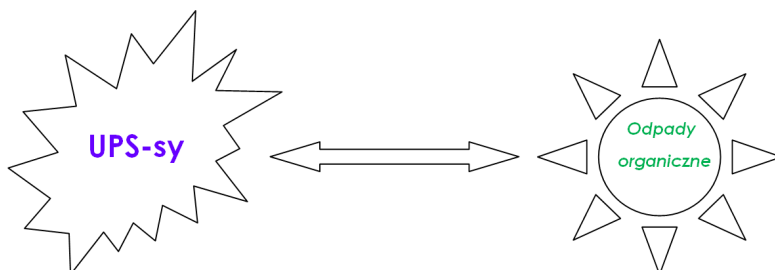
Przed przestąpieniem do działań rekultywacji biologiczno-roślinnej, a ściślej fito-rekultywacji, trzeba koniecznie skoordynować podstawowe etapy, jak poniżej:

1. Rodzaj gruntu/podłoża/materiału
  - Poeksploatacyjne tereny (zwałowiska, nieczynne osadniki, ...)
  - Odpady mineralne (UPS-sy) oraz inne: gips/reagips (z IOS), popioły paleniskowe (z gospodarstw domowych)
  - Odpady organiczne (osady ściekowe)
  - Głębokość zalegania gruntu/podłoża/materiału
2. Skład gruntu/podłoża/materiału
  - Typ zanieczyszczenia: mineralne, organiczne substancje, związki
  - Stężenia czynników zanieczyszczających
  - Formy i postać czynników zanieczyszczających (przemieszczanie, reaktywność)
3. (Fito)Rekultywacja
  - Remediacja fizyczno-chemiczna: przygotowanie i poprawianie stanu gruntu/podłoża/stanowiska (komponenty *mineralne*, *organiczne*, *dawki*)
  - Fito-rekultywacja (Roślinność trawiasta, krzewiasta, przemysłowa)
4. Cechy materiałów/substratów/komponentów do fito-rekultywacji
  - Łatwo dostępne!
  - Względnie tanie!
  - Łatwo w transporcie!
  - Nie oddziaływujące negatywnie na otoczenie i środowisko naturalne!

## **2. b. Fito-rekultywacji wg koncepcji tzw. MaxGreen**

Opracowana koncepcja opiera się na kilku etapach powiązanych ze sobą. Pierwszym etapem to opracowanie składu komponentu/produktu ściśle zintegrowanego z rodzajem i stanem gruntu/podłoża/stanowiskiem do fito-

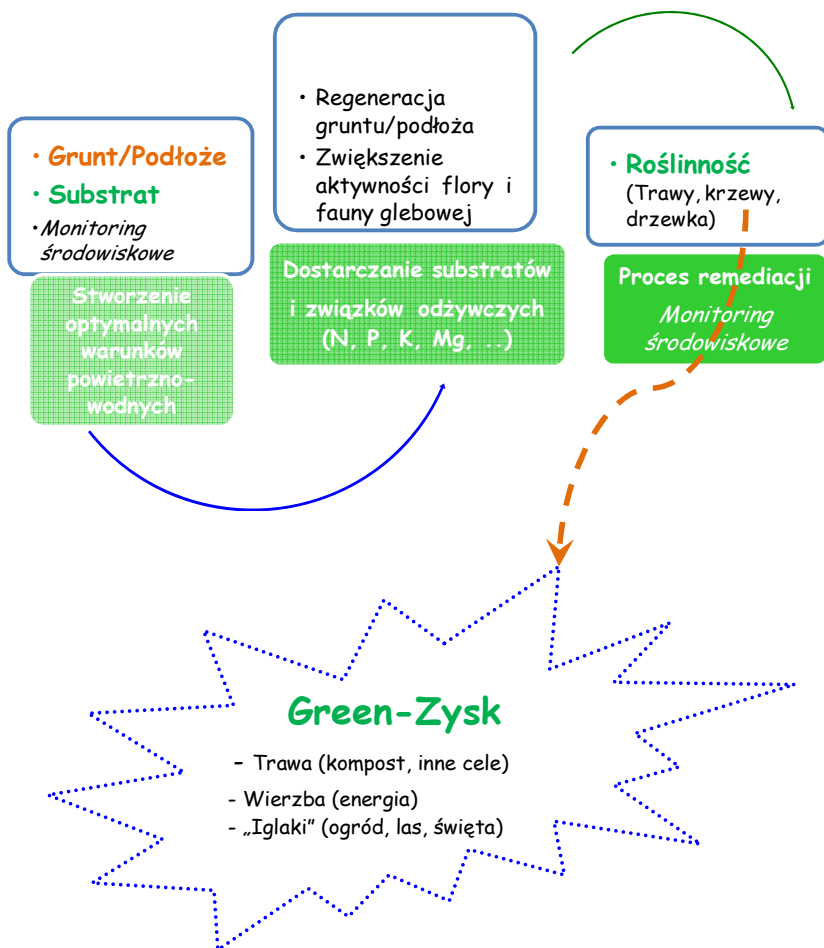
rekultywacji. Umiejętne dobranie UPS-sów oraz odpadów organicznych stanowi kluczem do dalszych postępowań (Rys. 1).



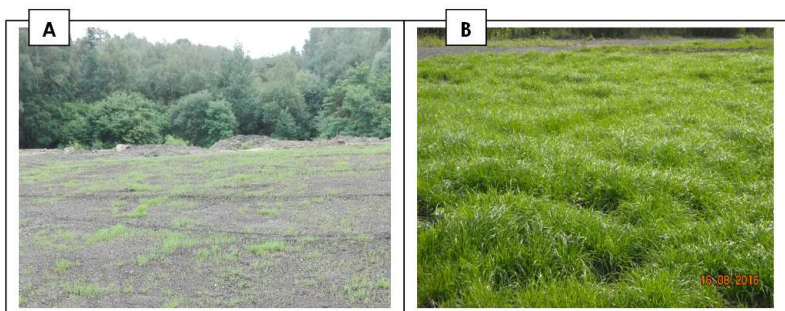
**Rys. 1:** Pierwszy etap opracowania składu komponentu/produktu ściśle zintegrowanego z rodzajem i stanem gruntu/podłoża/stanowiskiem do fito-rekultywacji

Kolejne etapy polegają na utworzenie warunków implementacji układu **UPS-GREEN**, który wymaga zintegrowania wielu dziedzin nauki a między innymi z zakresu geochemii, agrochemii, fizjologii roślin, mikrobiologii oraz ekonomii (Rys. 2). Ten ostatni aspekt ujęto w koncepcji MaxGreen jako **Green Zysk** (Zdjęcia), co w istocie rzeczy wspiera podstawę pakietu o Obiegu Zamkniętym (*Circular Economy Package* tzw. CEP).





**Rys. 2:** Pro-ekologiczna rekultywacji terenów zdegradowanych wg własnej koncepcji tzw. **MaxGreen**



**Zdjęcia:** Przykład testu rekultywacji metodą MaxGreen przy użyciu podłoża UPS – osadu ściekowego: Trawa (Życica trwała, odmiany Fawn). Warstwa podłoża 25 – 30 cm [A: 18 lipca; B: 16 sierpnia, 2016 r.]

Współpraca koncepcyjna: Zespół MaxGreen

## LITERATURA

- [1] Circular Economy Package (CEC): [http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/index_en.htm)
- [2] Gajda A., Jaworski W., Barc W. (2002): Prognoza wytwarzania ubocznych produktów spalania w energetyce zawodowej do 2015r. Biuletyn Miesięczny PSE SA 11(137):2-14.
- [3] Fijałkowska D., Styszko L. (2011): Ciepło spalania i wartość opałowa biomasy wierzby z różnej liczby lat odrastania pędów. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 564: 65–72.
- [4] Hycnar J.J., Szczygielski T., Lysek N., Rajczyk K., (2014): Kierunki optymalizacji zagospodarowania ubocznych produktów spalania węgla. Piece Przemysłowe & Kotły, 5-6:16-27
- [5] Ochrona i Rekultywacja Gruntów (2000): Materiały Konferencji Naukowo-Technicznej. Polskie Towarzystwo Inżynierii Ekologicznej. Str. 1-198, ISBN 83-911390-0-X
- [6] Raport GUS (2014): Energia ze źródeł odnawialnych w 2013 r. Główny Urząd Statystyczny. Warszawa, 72 s.
- [7] Stolarski M.J., Szczukowski S., Tworowski J., Krzyżaniak M. 2013b. Cost of heat energy generation from willow biomass. Renewable Energy 59:100–104.
- [8] Styszko L., Fijałkowska D., Sztyma M., Ignatowicz M. (2010): Wpływ warunków uprawy na pozyskanie biomasy wierzby energetycznej w czteroletnim cyklu. Roczn. Ochr. Środ./Annual Set Environ. Prot. 12: 575–586.

- [9] Uliasz-Bocheńczyk A., Mokrzycki E. (2015): Biomasa jako paliwo w energetyce. ŚRODKOWO-POMORSKIE TOWARZYSTWO NAUKOWE OCHRONY ŚRODOWISKA. Annual Set The Environment Protection. Rocznik Ochrona Środowiska. 17: 900–913.
- [10] Przekopowska M. (2011): Zagospodarowanie produktów ubocznych spalania biomasy. Seminarium 23 listopada 2011, Warszawa. Źródło: <http://spalaniebiomasy.pl/pl/inne-wydarzenia/52-seminarium-zagospodarowanie-produktow-ubocznych-spalania-biomasy.html>
- [11] Pyssa J. (2005): Odpady z energetyki – przemysłowe zagospodarowanie odpadów z kotłów fluidalnych. Gospodarka Surowcami Mineralnymi 21(3): 83-92.
- [12] Szymańska I. (2013): Uboczne Produkty Spalana – odpad, produkt, surowiec.
- [13] Źródło: [www.surowiec-naturalne.pl](http://www.surowiec-naturalne.pl)
- [14] Waclawowicz R., (2011): Rolnicze wykorzystanie popiołów ze spalania biomasy. Seminarium Zagospodarowanie ubocznych produktów spalania biomasy, Warszawa, s. 181–206.
- [15] Xiao R., Chen X., Wang F., Yu G. (2011): The physicochemical properties of different biomass ashes at different ashing temperature. Renewable Energy 36: 244–249

## **(PHYTO)-RECUITIVATION ON COAL COMBUSTION PRODUCTS AS SUBSTRATE**

### **ABSTRACT**

---

*Coal Combustion Products (CCP), due to the process of their arising are a mineral formation of varied consistency and form. This aspect is key for their further utilization, processing or storage. Processing, as a directional approach is more preferred for economic, biological and social reasons. Formal and legal regulations specify the issues involved.*

*Phyto-recultivation brings many benefits because of a skilful preparation of substrata / components based on CCPs and their application as a biologically active bedding. Such bedding allows for a dynamic, integrated and ecologically-oriented recultivation of unfavourably impacted (degraded) areas, according to a proprietary MaxGreen concept. This concept was supplemented and expanded with a so-called GreenGain aspect, which essentially supports the foundations of the Circular Economy Package CEP.*

---