



Wykorzystanie osadów ściekowych i kompostu w nawożeniu roślin energetycznych na przykładzie miskanta i ślazuwca

Agnieszka Ociepa-Kubicka, Piotr Pachura
Politechnika Częstochowska

1. Wstęp

W Polsce problem zagospodarowania systematycznie wzrastających ilości osadów ściekowych jest ciągle nierozwiązany. W oczyszczalniach corocznie powstaje ok. 700 tys. t s.m. osadów ściekowych. Wybór metody ich zagospodarowania musi być zgodny z uwarunkowaniami prawnymi spowodowanymi wejściem Polski do UE. Obecnie większość osadów jest składowanych co zgodnie z obowiązującymi przepisami jest bardzo ograniczone, a od roku 2013 niemożliwe. Osady ściekowe można wykorzystywać do nawożenia, ponieważ zawierają cenne dla roślin składniki pokarmowe oraz substancję organiczną. Stwarza to zachęcające warunki do zastosowania osadów jako substancji nawozowych pod uprawy energetyczne. Jednak wykorzystanie przyrodnicze osadów jest możliwe po spełnieniu rygorystycznych przepisów, dlatego że mogą zawierać metale ciężkie oraz biogeny w ilościach dyskwalifikujących nawozowe wykorzystanie osadów [11].

Do użyźniania gleby w prowadzonym doświadczeniu zastosowano osady ściekowe i komposty z uwagi na ich wysokie właściwości nawozowe. Użyźnianie gleb substratami tego rodzaju jest zalecane nie tylko z gospodarczego punktu widzenia lecz także niezbędne dla zachowania i odtwarzania równowagi ekologicznej [1,9,7]. Spośród wielu z roślin energetycznych, do badań wybrano ślazuwca i miskanta olbrzymiego z uwagi na dobre ich przystosowanie do polskich warunków glebowo-

klimatycznych. Rośliny te należą do wieloletnich i przy odpowiednim nawożeniu mają zdolność wysokiego plonowania, a ich wartość opałowa jest porównywalna z drewnem [3, 12].

Należy jednak podkreślić, że wykorzystanie biomasy do celów energetycznych ma sens wówczas gdy nakłady energii poniesione na jej wytworzenie są znacznie niższe od energii z niej uzyskanej. Wartość wskaźnika efektywności energetycznej produkcji powinna przekraczać 5. O kosztach decydują nakłady na pozyskiwanie biomasy i jej przetwarzanie [10]. Wyniki badań wskazują, że ślázowiec jak i miskant mogą być uprawiane na glebach o niskiej żyzności, ale wtedy rośliny wymagają stosunkowo wysokiego nawożenia NPK, które rocznie powinno wynosić N 100–170, P 60–80, K 100–120 kg/ha. Według analiz przeprowadzonych przez Matykę [6] koszty nawozów w czasie prowadzenia plantacji miskanta i ślázowca wynoszą ok. 800 zł/ha/rok co stanowi ok. 40% całości nakładów. Pozostałe 60% to koszty zużycia maszyn i narzędzi, wynagrodzenie za pracę, podatki itp. Produkcja nawozów mineralnych azotowych i fosforowych jest bardzo energochłonna, co zmniejsza korzyści energetyczne. Wytwarzanie nawozów mineralnych generuje dodatkowo wiele problemów ekologicznych. Dlatego jako źródła składników pokarmowych dla tego typu roślin uzasadnione z punktu ekonomicznego i ekologicznego jest wykorzystywanie różnego typu odpadów.

Celem badań była ocena wpływu nawożenia gleb z regionu oddziaływania Huty Częstochowa osadami ściekowymi i kompostami na wielkość plonów miskanta olbrzymiego i ślázowca.

2. Materiał i metody

2.1. Charakterystyka doświadczenia

W celu realizacji projektu w maju 2007 roku założono doświadczenie wazonowe. Gleba, na której uprawiano miskanta olbrzymiego i ślázowca została pobrana z obszaru sąsiadującego z Hutą Częstochowa. Do doświadczenia pobrano około 600 kg gleby z kilkudziesięciu punktów leżących w obrębie obszaru 20 000 m² z warstwy 0–25 cm. Materiał glebowy pobierano zgodnie z obowiązującą procedurą tak aby jak najwiarygodniej odzwierciedlał stan badanego obszaru [8]. Przygotowano doświadczenie wazonowe zgodnie ze schematem przedstawionym w tabeli 1.

Tabela 1. Schemat doświadczenia wazonowego**Table 1.** The investigated fertilization combinations in the pot experiment

Kombinacja nawożenia	Rodzaj i dawka nawozu
O	Kontrola – gleba bez nawożenia
I oś	Gleba z dodatkiem osadów ściekowych w dawce 10 t s.m./ha
II oś	Gleba z dodatkiem osadów ściekowych w dawce 20 t s.m. /ha
III oś	Gleba z dodatkiem osadów ściekowych w dawce 40 t s.m. /ha
D	Gleba nawożona kompostem typu DANO z zieleni miejskiej, w dawce 20 t s.m./ha
K	Gleba nawożona kompostem z osadów ściekowych i odpadów leśnych, w dawce 20 t s.m./ha
NPK	Gleba nawożona NPK (mocznik, sól potasowa i superfosfat), w dawce: N–120 kg/ha, P ₂ O ₅ – 80 kg/ha, K ₂ O – 100 kg/ha

W doświadczeniu zastosowano siedem kombinacji nawożenia, każdą w trzech powtórzeniach. W sumie (dla obu roślin) założono 42 wazon, każdy po 12 kg gleby. Do uprawy roślin zastosowano osady ściekowe oraz komposty z uwagi na ich bardzo dobre właściwości nawozowe. Osad ściekowy użyty do doświadczenia pochodził z komunalnej oczyszczalni w Dźbowie. Oprócz osadów użyto do nawożenia kompost produkowany na Wydziale Inżynierii i Ochrony Środowiska Politechniki Częstochowskiej na bazie osadu Dźbów i odpadów leśnych. Ponadto zastosowano nawożenie kompostem Dano wykonanym z odpadów miejskich. Zastosowany osad oraz komposty charakteryzowały się dobrymi właściwościami nawozowymi z uwagi na zawartość azotu, fosforu, potasu itp. Całkowita zawartość metali ciężkich była stosunkowo niska co pozwalało na zastosowanie ich pod uprawy roślin energetycznych [11]. Sadzonki miskanta i ślazuca uzyskano z pola doświadczalnego SGGW.

2.2. Metody badań

- pH w H₂O – pomiar wykonano metodą potencjometryczną zgodnie z PN-ISO-10390:1997.
- zawartość węgla organicznego wyznaczono zmodyfikowaną kolorymetryczną metodą Tiurina zgodnie z PN-ISO 14235:2003.
- ilość azotu ogólnego Kjeldahla określono zgodnie z PN-ISO 11261:2002 przy wykorzystaniu mineralizatora BUCHI 426 i aparatu destylacyjnego BUCHI 323.
- fosfor ogólny (w formie fosforanowej) oznaczono metodą molibdenianową zgodnie z PN-EN 1189-2000.
- potas oznaczono metodą Egnera-Riehamy (PN-R-04023:1996) po ekstrakcji roztworem mleczanu wapnia i oznaczenie intensywności barwy kompleksu fosfomolibdenowego na spektrofotometrze HACH dla długości fali $L = 660$ nm.
- zawartość metali ciężkich w glebie oznaczono na spektrofotometrze plazmowym ICP-AES firmy Thermo zgodnie z PN-ISO 11047: 2001, po uprzednim zmineralizowaniu materiału w stężonym kwasie azotowym za pomocą mineralizatora mikrofalowego UniClever firmy Plasmotronik.
- obecność jaj pasożytków jelitowych: *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.*, *Toxocara sp.* oznaczono zgodnie z normą PN-Z-19000-4:2001. Pałeczki *Salmonella* wykryto zgodnie z normą PN-ISO 6579:1998.

2.2.1. Charakterystyka gleby użytej do doświadczenia

Analiza granulometryczna wykazała, że użyta do doświadczenia gleba należała do gleb lekkich. Charakteryzowała się słabym zanieczyszczeniem cynkiem (wg skali IUNG), oraz podwyższoną zawartością kadmu i ołowiu (tab. 2). Zawartość miedzi, niklu i chromu były na poziomie zawartości naturalnych.

Zawartość poszczególnych metali ciężkich w glebie oraz użytym do nawożenia osadzie mieściła się w dopuszczalnym zakresie [11].

Tabela 2. Charakterystyka gleby użytej do doświadczenia**Table 2.** The soil characteristic used for the experiment

Badany parametr										
pH	C _{or}	N	P	K	Pb	Cd	Zn	Cu	Ni	Cr
	%	%	mg/kg s.m.							
6,1	1,38	0,11	19,4	24,0	36,2	0,8	119,0	8,3	7,0	13,0

2.2.2 Charakterystyka osadów i kompostów użytych w doświadczeniu

Do nawożenia użyto osadów ustabilizowanych, odwodnionych, o odczynie lekko kwaśnym, wysokiej zawartości substancji organicznej i niewielkiej ilości metali ciężkich. Osady pobrano z oczyszczalni ścieków w Dźbowie. W tabeli 3 przedstawiono charakterystykę zastosowanych substratów do użyźniania gleby.

Tabela 3. Charakterystyka substratów**Table 3.** Characteristics of substrates

Rodzaj oznaczenia	Osady ściekowe	Kompost z osadów i odpadów leśnych	Kompost DANO
C [% s.m]	25,06	18,80	19,00
N [% s.m]	4,24	2,50	2,28
P [% s.m]	2,50	1,20	0,98
K [% s.m]	0,50	1,05	1,1
Ca [mg/kg]	28000,00	8500,00	1540,00
Mg [mg/kg]	4600,00	1000,00	580,00
Pb [mg/kg]	40,00	25,00	52,00
Cd [mg/kg]	2,40	1,20	1,40
Zn [mg/kg]	1000,00	270,00	242,00
Cu [mg/kg]	160,00	48,00	40,00
Ni [mg/kg]	18,00	19,00	14,00
Cr [mg/kg]	22,00	16,00	15,00
Salmonella	brak	brak	brak
<i>Ascaris sp.</i> , <i>Trichuris sp.</i> , <i>Toxocara sp.</i> , szt./kg s.m.	3	brak	brak
pH w H ₂ O	6,5	6,80	7,80

Osady oraz komposty zastosowane do nawożenia charakteryzowały się dobrymi właściwościami nawozowymi z uwagi na zawartość azotu, fosforu i potasu. Całkowita zawartość metali ciężkich była stosunkowo niska, co pozwoliło na zastosowanie ich do celów rolniczych pod uprawy energetyczne. Ilość metali ciężkich w osadach i kompostach nie przekraczała dopuszczalnych norm zawartości metali przy stosowaniu ich do upraw nieprzeznaczonych do spożycia zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 1 sierpnia 2002 roku w sprawie komunalnych osadów ściekowych oraz Rozporządzeniem Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 19 października 2004 roku w sprawie wykonania niektórych przepisów ustawy o nawozach i nawożeniu. Analizowane komposty oraz osady ściekowe spełniały wymagania rozporządzenia [11] i tym samym kwalifikowały się do zastosowania do rekultywacji gleb.

3. Wyniki badań

3.1. Wpływ nawożenia na plonowanie roślin

Zbioru roślin dokonano w listopadzie 2007, 2008 i 2009 roku po zakończeniu wegetacji. W czasie trwania doświadczenia prowadzono obserwacje wzrostu roślin. Trzyletni cykl badań wykazał, że wielkość plonów roślin była istotnie zależna od rodzaju nawożenia. Zarówno miskant olbrzymi, jak i ślazier najslabiej rozwijały się na glebie kontrolnej. Wprowadzone z nawożeniem substancje organiczne działają jako stimulatory wzrostu, wpływają korzystnie na przyrost biomasy roślin [13, 14]. W pierwszym roku badań wielkość uzyskanych plonów była niższa w porównaniu z drugim i trzecim sezonem wegetacyjnym. Obserwacje dynamiki wzrostu plonów pozwalają stwierdzić, że rośliny w trzecim roku weszły w okres pełnej produktywności (rys. 1, 2). Prawdopodobnie tą potwierdzają wyniki badań plonowania roślin energetycznych prowadzonych przez innych autorów [4].

Miskant olbrzymi – rozwój miskanta najintensywniej przebiegał przy nawożeniu osadami ściekowymi w dawce 40 t/ha. Sumaryczne średnie zbiory z trzech lat dla tej kombinacji nawożenia wynosiły ok. 340 g z wazonu i były znacznie wyższe w porównaniu z kombinacją kontrolną. Stosunkowo wysoki wzrost plonów otrzymano dla nawożenia osadami ściekowymi w dawce 20 t/ha (ok. 290 g z wazonu) i dla obiektów nawożonych mineralnie (ok. 260 g z wazonu). Wysokie plonowanie

roślin na obiektach nawożonych z udziałem osadów ściekowych wiąże się z ich wysoką zasobnością w składniki pokarmowe oraz korzystnym wpływem na właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne gleb. Autorzy badań określają osady ściekowe jako nawozy o powolnym, stopniowym uwalnianiu N i P w wyniku zachodzących procesów mineralizacji substancji organicznej [1, 2, 5]. Znacznie słabszy rozwój roślin przebiegał przy nawożeniu najniższą dawką osadów ściekowych (10 t/ha) i kompostem z osadów i odpadów leśnych w dawce 20 t/ha (tab. 4).

Uzeregowując kombinacje nawożenia według wysokości uzyskanych plonów uzyskano:

I rok: III os > II os > NPK > I os > K > D > O

II rok: III os = D > II os > NPK > K > I os > O

III rok: III os > D > II os > NPK > K > I os > O

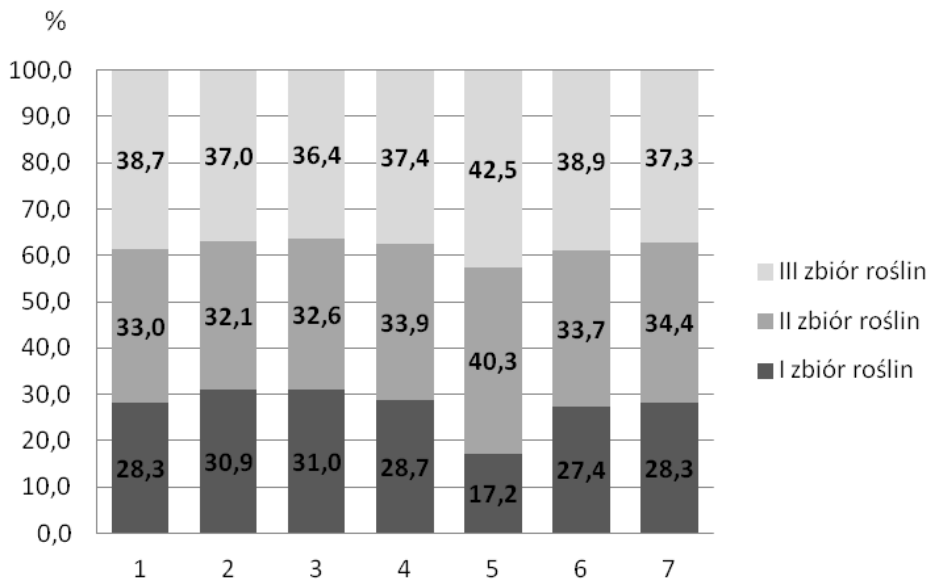
Tabela 4. Średnia wielkość plonów miskanta olbrzymiego [g s.m. z wazonu]

Table 4. Average Miscanthus yields pot experiment [g d.m. for pot]

Kombinacja nawożenia	Miskant olbrzymi		
	I zbiór roślin	II zbiór roślin	III zbiór roślin
O	46,23±0,52	54,02±0,92	63,12±1,08
I os	57,07±1,61	59,30±0,83	68,44±2,12
II os	89,40±1,92	94,03±0,85	105,12±1,80
III os	98,13±2,21	116,00±1,15	127,62±2,13
D	49,49±1,31	116,00±1,15	122,54±0,95
K	50,36±1,23	62,05±0,70	71,42±3,70
NPK	74,29±2,11	90,47±1,11	98,11±4,00

Ślázowiec – rozwój ślázowca najintensywniej przebiegał przy nawożeniu osadami ściekowymi w dawce 40 t/ha oraz 20 t/ha. Dla obu dawek osadów ściekowych wielkość plonowania była zbliżona. Sumaryczne średnie zbiory z trzech lat dla tych kombinacji nawożenia wynosiły ok. 240 g z wazonu i były wyższe w porównaniu z kombinacją kontrolną. Zdecydowanie niższą wielkość plonów otrzymano dla nawożenia mineralnego (ok. 150 g z wazonu) oraz nawożenia kompostami. Również znacz-

nie słabszy rozwój roślin przebiegał przy nawożeniu najniższą dawką osadów ściekowych (10 t/ha) i wynosił ok. 170 g z wazonu (tab. 5).



Rys. 1. Dynamika wzrostu plonów miskanta w kolejnych latach uprawy (plony całkowite = 100%), kombinacje nawożenia: 1 – O, 2 – I os, 3 – II os, 4 – III os, 5 – D, 6 – K, 7 – NPK

Fig. 1. Miscanthus crop growth in the coming years, growing as a percentage (total field=100%), combinations of fertilization: 1 – O, 2 – I os, 3 – II os, 4 – III os, 5 – D, 6 – K, 7 – NPK

Uzeregowując kombinacje nawożenia według wielkości plonów, uzyskano:

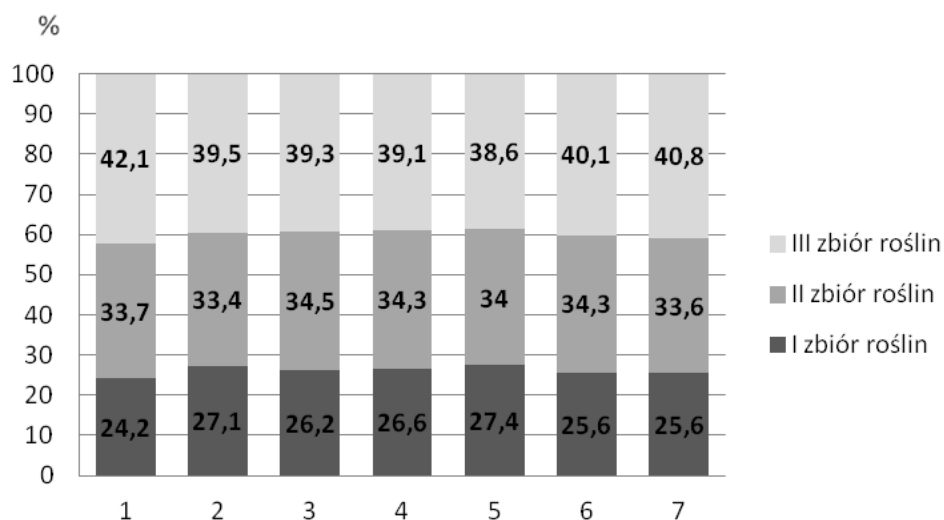
I rok: – III os > II os > D > I os > K > NPK > O

II rok: – III os > II os > D > I os > K > NPK > O

III rok: – III os > II os > I os > D > K > NPK > O

Tabela 5. Średnia wielkość plonów ślazuwca [g s.m. z wazonu]**Table 5.** Average Sida yields pot experiment [g d.m. for pot]

Kombinacja Nawożenia	ślazowiec pensylwański		
	I zbiór roślin	II zbiór roślin	III zbiór roślin
O	23,02±0,61	32,09±0,31	40,04±2,05
I os	46,30±1,12	57,06±0,92	67,42±1,80
II os	63,28±1,52	83,32±1,16	95,01±3,10
III os	65,40±1,40	84,07±1,23	95,84±1,10
D	47,03±2,11	58,17±1,11	66,12±2,06
K	39,04±1,60	52,26±2,15	61,34±1,70
NPK	38,37±0,92	50,19±2,11	60,92±2,11

**Rys. 2.** Dynamika wzrostu plonów ślazuwca w kolejnych latach uprawy (plony całkowite = 100%), kombinacje nawożenia: 1 – O, 2 – I os, 3 – II os, 4 – III os, 5 – D, 6 – K, 7 – NPK**Fig. 2.** Virginia Mallow crop growth in the coming years, growing as a percentage (total field = 100%), combinations of fertilization: 1 – O, 2 – I os, 3 – II os, 4 – III os, 5 – D, 6 – K, 7 – NPK

4. Wnioski

Uzyskane wyniki badań są podstawą do sprecyzowania następujących wniosków:

1. Wielkość uzyskanej biomasy zależała od gatunku rośliny, rodzaju nawożenia i roku zbioru.
2. Wzrost miskanta najintensywniej przebiegał pod wpływem wzbogacenia gleby w osady ściekowe w dawce 40 t/ha. Sumaryczne średnie zbiory z trzech lat dla tego nawożenia wynosiły ok. 340 g z wazonu i były ok. 2,0-krotnie wyższe w porównaniu z kombinacją kontrolną i 1,3-krotnie wyższe w porównaniu z plonami uzyskiwanymi przy nawożeniu mineralnym.
3. Wzrost ślazuca najintensywniej przebiegał pod wpływem wzbogacenia gleby w osady ściekowe w dawce 40 t/ha oraz 20 t/ha. Dla obu dawek osadów ściekowych wysokość plonowania była zbliżona. Sumaryczne średnie zbiory z trzech lat przy zastosowaniu tych substratów wynosiły ok. 240 g z wazonu i były ok. 2,5-krotnie wyższe w porównaniu z glebą nienawożoną i 1,6-krotnie wyższe w porównaniu z plonami uzyskiwanymi przy nawożeniu mineralnym.
4. Porównując plonowanie obu gatunków roślin stwierdzono, że rośliną wyraźniej reagującą na rodzaj zastosowanego nawożenia i dającą większy plon był miskant.

Literatura

1. **Bień J. B.:** *Osady ściekowe: teoria i praktyka*. Wyd. Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2007.
2. **Gasco G., Martinez-Inigo M., Lobo M.:** *Soil organic matter transformation after a sewage sludge application*. EJEAFChE, 3, 716–723 (2004).
3. **Kalembasa S., Symonowicz B., Kalembasa D., Malinowska L.:** *Możliwości pozyskiwania i przeróbki biomasy z roślinami szybko rosnących (energetycznych)*. Materiały konferencyjne Nowe spojrzenie na osady ściekowe. Wyd. Politechniki Częstochowskiej, 358–364 (2003).
4. **Kowalczyk-Juśko A., Kościak B., Kościak K.:** *Spartina preriowa*. Agroenergetyka, 3, 9 (2004).
5. **Marcinkowski T.A.:** *Przetwarzanie osadów ściekowych w procesie wapnowania*. Wyd. Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych, Poznań, 2010.

6. **Matyka M.:** *Optycalność i konkurencyjność produkcji wybranych roślin energetycznych.* Studia i raporty IUNG-PIB, zeszyt 11 (2008).
7. **Mercik S. (red):** *Chemia rolna,* Wyd. SGGW, Warszawa, 2004.
8. **Namieśnik, Łukasiak J., Jamrogiewicz Z.:** *Pobieranie próbek środowiskowych do analiz.* Wyd. PWN. Warszawa, 1995.
9. **Ociepa E, Lach J, Stępień W.:** *Wpływ zróżnicowanego nawożenia na bioakumulację metali ciężkich oraz plonowania roślin.* Ecol. Chem. Eng. T 14 nr S2, 223–231 (2007).
10. **Piskier T.:** *Efektywność energetyczna różnych technologii uprawy topinamburu z przeznaczeniem na opał.* Inżynieria Rolnicza, 5(123), 233–239 (2010).
11. Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie komunalnych osadów ściekowych z dnia 13 lipca 2010 r. (Dz.U.Nr.137, poz.813).
12. **Stańczyk K., Trząski L., Bieniecki M., Katlewicz K., Kruk M.:** *Niektóre aspekty środowiskowe roślin energetycznych.* Ekologia dla Przedsiębiorstw (1) 25–29 (2004).
13. **Wang X., Chen T., Yinghua G., Yongfeng J.:** *Studies of land application of sewage sludge and its limiting factors.* Journal of Hazardous Materials, 160, 554–558 (2008).
14. **Zawadzki S. (red):** *Gleboznawstwo.* PWRiL, Warszawa, 2003.

The Use of Sewage Sludge and Compost for Fertilization of Energy Crops on the Example of Miscanthus and Virginia Mallow

Abstract

In the article there have been presented the results of research on the influence of soil fertilization by means of sewage sludge, waste and composts made from urban green, produced in Dano technology, within the crop growth of *Miscanthus Giganteus* and *Virginia Mallow*. Furthermore, there have been also studied the basic soil properties, soil, nitrogen, phosphorus, potassium, heavy metals. and the content of organic carbon. Among a lot of well-known energy plants there have been chosen *Miscanthus Giganteus* and *Virginia Mallow* because of their good adaptation to the Polish soil and weather conditions. These plants are perennial and within the appropriate fertilization they have the ability of the high crop whereas their fuel value is similar to the wood one. In the purpose of research conducted in May 2007 there have been established the vase experiment which was continued within three years. The soil, on which *Miscanthus Giganteus* and *Virginia Mallow* were planted, was taken from the

area in the neighbourhood with Huta Częstochowa. The vase experiment was conducted from April 2007 to November 2009 outside the direct reach of the foundry. The activity of deposits and composts was compared with the impact of mineral fertilization. The complex analysis of interactions of these tested substrates enabled the following conclusion that the most beneficial for the physical and chemical properties of soil was to insert the deposits into the soil in the dose of 20 and 40 t/ha.

The most intensive growth of *Miscanthus Giganteus* has been noted by the means of fertilization with sewage sludge in the dose of 40t/ha. The general average crops within three years for this specific fertilization are amounted to be at approximately 340 g from the vase and they were twice higher in comparison to the control combination. The relatively high growth of crops was obtained for fertilization of sewage sludge in the dose of 20t/ha (about 290 g from the vase) whereas for the mineral fertilization of the objects it was approximately 260 g. The high crops in the objects fertilized by the means of sewage sludge are closely connected with their high affluence within nutrients and their effective influence on physical, chemical and biological soil properties.

What is more, the most intensive growth of *Virginia Mallow* has been admitted with sewage sludge in the dose of 40t/ha and 20t/ha. The growth of crops was similar within two of sewage sludge doses. The general average crops from three years time for these mentioned earlier fertilization combinations were about 240 g from the vase, twice higher in comparison to the control combination. The definitely lower amount of crops was obtained for the mineral fertilization (approximately 150 g from the vase) and by the means of composts. The results of experiment have shown that the growth of crops of these two plants is dependent on the year. In the first year crops were lower in comparison to the second or the third one.