

Edward MELLER\*, Eliza BILENDA\*\*

## Wpływ nawożenia popiołami z biomasy na plon i pobranie składników przez kukurydzę zwyczajną

**STRESZCZENIE.** Polska jako członek Unii Europejskiej jest zobowiązana do wykorzystania odnawialnych źródeł energii. Ze względu na to, że w energetyce coraz częściej jako paliwo stosowana jest biomasa, wzrasta zainteresowanie popiołami, które powstają po jej spalaniu. Doświadczenie przeprowadzono w 2012 roku koło Stargardu Szczecińskiego na glebie lekkiej. Przedmiotem badań były popioły powstające w wyniku spalania mieszaniny zrębków drzewnych, wierzby energetycznej, kukurydzy i słomy w Elektrociepłowni Czechnica. W pracy oceniono plon, skład chemiczny oraz pobranie makroskładników przez kukurydzę zwyczajną (*Zea mays* L.). Doświadczenie obejmowało cztery bloki, stanowiące kolejne powtórzenia, w każdym z nich uwzględniono po pięć obiektów; cztery obiekty odpowiadały poszczególnym dawkom popiołów (A – 15,0 Mg·ha<sup>-1</sup>, B – 30,0 Mg·ha<sup>-1</sup>, C – 60 Mg·ha<sup>-1</sup>, D – 120 Mg·ha<sup>-1</sup>), pozostały obiekt to kontrola K – nawożenie mineralne NPK. Zastosowany popiół z biomasy, jako substytut nawożenia mineralnego NPK, pod względem plonotwórczym jest skuteczniejszy od tradycyjnego nawożenia mineralnego. W stosunku do obiektu kontrolnego (K) plon w obiektach nawożonych popiołami był nieco wyższy. Zebrane z doświadczenia ziarno kukurydzy było bogate w fosfor, magnez oraz potas, a ubogie w wapń i sód. Pobranie makroskładników (K, P) było największe w obiektach C nawożonych dawką popiołów 60 Mg·ha<sup>-1</sup>. Powrót popiołów z biomasy do gleby, a zwłaszcza do tej, z której został zebrany plon przeznaczony na cele energetyczne jest zgodny ze zrównoważonym rozwojem i stanowi dobry sposób ich zagospodarowania.

**SŁOWA KLUCZOWE:** popioły z biomasy, nawożenie, plon, skład chemiczny, kukurydza zwyczajna

---

\* Dr hab. inż. \*\* Mgr inż. – Zakład Gleboznawstwa, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, e-mail: edward.meller@zut.edu.pl, eliza.bilenda@zut.edu.pl

## Wprowadzenie

Zasoby energetyczne świata w postaci kopalin są ograniczone i ulegają stopniowemu zużyciu. Należy dążyć do powszechnego stosowania odnawialnych źródeł energii (OZE) (Jasiulewicz 2008). Wykorzystanie ich łączy się ze stosunkowo niewielkim oddziaływaniem na środowisko w porównaniu z tzw. technologiami konwencjonalnymi oraz umacnia niezależność od paliw kopalnych (Jaworski 2011). Hydrogeologiczne uwarunkowania Polski nie pozwalają uzyskać tak dużego udziału odnawialnych źródeł z energetyki wodnej, wiatrowej czy też geotermalnej (Wisz, Matwiejew 2005). Prowadzone badania w zakresie potencjału OZE w Polsce wskazują, że rozwój energetyki w tym zakresie można oprzeć głównie na wykorzystaniu biomasy (Jasiulewicz 2007). Prognozowane zapotrzebowanie na biomasę przez energetykę zawodową w Polsce wynosi 8,3 mln ton suchej masy w 2020 roku i 10,6 mln ton suchej masy w 2030 roku (Celińska 2009).

Spalanie biomasy powoduje powstanie ubocznego produktu, jakim jest popiół. Popiół ten może zostać wykorzystany jako nawóz mineralny na polach, pod warunkiem, że spalono czystą biomasę (Kowalczyk-Juśko 2009). Powrót popiołów z biomasy do gleby, a zwłaszcza do tej, z której został zebrany plon przeznaczony na cele energetyczne, jest zgodny ze zrównoważonym rozwojem i stanowi dobry sposób ich utylizacji (Wacławowicz 2011).

Kukurydza jest wszechstronnie użytkowanym gatunkiem. Stanowi cenne źródło surowca dla przemysłu spożywczego, spirytusowego i chemicznego oraz doskonałą paszę dla zwierząt. Przyszłościowym kierunkiem jej wykorzystania staje się produkcja na cele energetyczne (Kaszkowiak E., Kaszkowiak J. 2011).

Celem przeprowadzonego doświadczenia jest ocena oddziaływania popiołów z biomasy, pochodzących z przemysłu energetycznego, na plon oraz pobranie składników przez kukurydzę zwyczajną.

## 1. Metodyka badań

Badania zrealizowano na podstawie doświadczenia polowego, zlokalizowanego we wsi Grzędzice koło Stargardu Szczecińskiego na glebie lekkiej. Doświadczenie jednoczynnikowe (nawożenie popiołem) założono w układzie bloków losowych. Obejmowało ono cztery bloki, stanowiące kolejne powtórzenia, w każdym z nich uwzględniono po pięć obiektów; cztery obiekty odpowiadały poszczególnym dawkom popiołów (A – 15,0 Mg·ha<sup>-1</sup>, B – 30,0 Mg·ha<sup>-1</sup>, C – 60 Mg·ha<sup>-1</sup>, D – 120 Mg·ha<sup>-1</sup>), pozostały obiekt to kontrola K – nawożenie mineralne NPK. W pracy przedstawiono dla analizowanych cech średnią arytmetyczną z czterech powtórzeń. Zastosowano następujące podstawowe nawożenie mineralne: azotu przedsięwzięcie 40 kg N·ha<sup>-1</sup>, pogłównie 40 kg N·ha<sup>-1</sup> w formie siarczanu amonu, fosfor jednorazowo w ilości 50 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>·ha<sup>-1</sup> w postaci superfosfatu pojedynczego

oraz potas przedsięwzięcie w ilości  $115 \text{ kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$  w formie soli potasowej. Powierzchnia jednego poletka wynosiła  $2 \text{ m}^2$ . Zastosowane popioły ze spalania zrębki drzewnej, wierzby energetycznej, kukurydzy i słomy pochodziły z Elektrociepłowni Czechnica. Zawartość ogólna makroskładników w  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  w zastosowanych popiołach wynosiła: K – 26,8, P – 2,0 Mg – 6,3, Ca – 32,0, Na – 1,6 i w  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ : Fe – 12470, Mn – 1389, Zn – 719,3, Ni – 20,1, Cu – 130,4, Co – 9,4, Cd – 6,8.

Jako roślinę testową wybrano kukurydzę zwyczajną (*Zea mays* L.). W uprawianej roślinie obserwacjami objęto plon ziarna, zielonej masy oraz skład chemiczny (zawartość makro- i mikroskładników). W próbkach zostały określone:

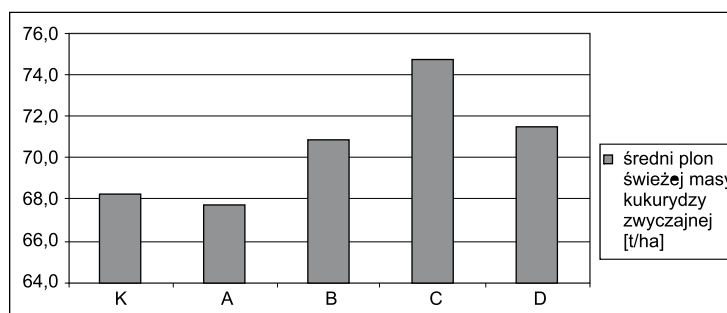
- ✧ formy rozpuszczalne w mieszaninie stężonych kwasów  $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ : Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Co, Cd – przy użyciu spektrofotometru absorpcji atomowej Solaar 929,
- ✧ K, Na – metodą fotometrii płomieniowej,
- ✧ P – metodą kolorymetryczną w postaci błękitu fosforanowo-molibdenowego, wcześniej trawiąc materiał w mieszaninie stężonych kwasów  $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ .

Z iloczynu suchej masy plonu i oznaczonej w roślinie testowej zawartości pierwiastków obliczono pobranie ich przez rośliny.

## 2. Wyniki

Średni plon kukurydzy w przeprowadzonym doświadczeniu wynosił  $75,0 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . W strukturze plonu masa kolb stanowiła 49%, zaś zielona masa kukurydzy 50%. Średni plon kukurydzy zebrany w doświadczeniu przez Burczyka (2012) był o 14% niższy od plonu uzyskanego w badaniach własnych w obiekcie C. Natomiast Wielogórska i in. (2008) podają, że  $100 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$  zielonej masy kukurydzy to największy plon uzyskany przez rolników w Polsce, a  $12 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$  najmniejszy.

Wprowadzenie popiołu z biomasy do gleby zwiększyło uzyskany plon kukurydzy zwyczajnej (rys. 1). Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że najlepsze warunki



Rys. 1. Średni plon świeżej masy kukurydzy zwyczajnej w zależności od zastosowanej dawki popiołów z biomasy [ $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ]

Fig. 1. Average yield of fresh of flint maize depending on the applied biomass ash dose [ $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ]

wzrostu rośliny miały w obiekcie C, gdzie zastosowano dawkę popiołów  $60,0 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Plon w tym obiekcie był średnio o 10% wyższy od plonu zebranego z obiektu kontrolnego K, gdzie zastosowano nawożenie mineralne NPK. Podobnie na obiektach B i D, nawożonych popiołami, średni plon kukurydzy był wyższy od zebranego z obiektu kontrolnego.

Zawartość fosforu oraz magnezu w ziarnie kukurydzy była największa w obiekcie C nawożonym dawką popiołu  $60 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$  (tab. 1), natomiast najwyższą zawartość potasu odnotowano w ziarnie kukurydzy uzyskanym w obiekcie B nawożonym dawką popiołu  $30 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Uzyskane ziarno kukurydzy było ubogie w wapń oraz sód. Zawartość potasu w suchym ziarnie podana przez Gąsiorowską i in. (2011) była ponad trzykrotnie niższa w porównaniu do własnego doświadczenia, natomiast zawartość wapnia dziewięciokrotnie wyższa.

Nie zaobserwowano wyraźnych zależności między zawartością pierwiastków śladowych w ziarnie kukurydzy a poziomem nawożenia popiołami z biomasy (tab. 2).

Zawartość wapnia, magnezu i sodu w zielonej masie kukurydzy (tab. 3) w stosunku do obiektu kontrolnego K była najwyższa w obiekcie D nawożonym najwyższą dawką popiołu ( $120 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Najwyższą zawartość potasu odnotowano w obiekcie C ( $60 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), a fosforu w obiekcie A, nawożonym najniższą dawką popiołu  $15 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Zawartość manganu, cynku i miedzi w zielonej masie kukurydzy (tab. 3) była wyższa na ogół w obiektach, w których zastosowano najwyższą dawkę popiołu  $120 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Żelazo

TABELA 1. Średnia zawartość makroskładników w ziarnie kukurydzy zwyczajnej [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

TABLE 1. Average content of macroelements of flint maize grain yield [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

| Wariant nawożenia | P       | K       | Ca   | Mg      | Na   |
|-------------------|---------|---------|------|---------|------|
| K                 | 3 096,5 | 6 692,5 | 44,0 | 1 802,9 | 57,0 |
| A                 | 3 308,3 | 7 250,0 | 32,7 | 1 896,4 | 55,5 |
| B                 | 3 195,5 | 7 453,8 | 38,5 | 1 912,0 | 55,8 |
| C                 | 3 421,0 | 6 798,8 | 38,7 | 1 965,0 | 56,0 |
| D                 | 2 950,8 | 7 423,8 | 43,8 | 1 820,4 | 56,8 |

TABELA 2. Średnia zawartość mikroskładników w ziarnie kukurydzy zwyczajnej [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

TABLE 2. Average content of microelements of flint maize grain yield [ $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ]

| Wariant nawożenia | Fe   | Mn   | Zn   | Ni   | Cu   | Co   | Cd   |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| K                 | 59,4 | 9,6  | 34,1 | 5,11 | 2,94 | 6,77 | 0,38 |
| A                 | 51,0 | 9,9  | 34,5 | 3,17 | 1,99 | 5,96 | 0,31 |
| B                 | 51,0 | 9,5  | 37,3 | 3,41 | 2,77 | 5,66 | 0,34 |
| C                 | 54,7 | 10,9 | 34,7 | 4,02 | 2,97 | 5,64 | 0,36 |
| D                 | 63,8 | 9,9  | 32,1 | 4,51 | 2,62 | 6,65 | 0,47 |

i nikiel w największej ilości w zielonej masie kukurydzy, w stosunku do obiektu kontrolnego K, wystąpiły w obiekcie C, nawożonym dawką popiołu 60 Mg·ha<sup>-1</sup>.

Największe pobranie potasu i fosforu przez kukurydzę zwyczajną (tab. 5) wystąpiło w obiekcie C (nawożonym dawką popiołu 60,0 Mg·ha<sup>-1</sup>) w stosunku do obiektu K, nawożonego tradycyjnymi nawozami – NPK. Wapń, magnez i sód w największej ilości zostały pobrane w obiekcie D, nawożonym najwyższą dawką popiołów (120 Mg·ha<sup>-1</sup>).

TABELA 3. Średnia zawartość makroskładników w zielonej masie kukurydzy zwyczajnej [mg·kg<sup>-1</sup>]

TABLE 3. Average macroelement content of flint maize green matter [mg·kg<sup>-1</sup>]

| Wariant nawożenia | P     | K      | Ca    | Mg    | Na   |
|-------------------|-------|--------|-------|-------|------|
| K                 | 2 082 | 20 963 | 2 987 | 844   | 45,9 |
| A                 | 2 148 | 27 540 | 3 407 | 854   | 58,0 |
| B                 | 2 030 | 30 157 | 2 960 | 989   | 62,0 |
| C                 | 1 889 | 34 083 | 3 866 | 901   | 60,3 |
| D                 | 1 889 | 16 947 | 4 683 | 1 249 | 63,0 |

TABELA 4. Średnia zawartość mikroskładników w zielonej masie kukurydzy zwyczajnej [mg·kg<sup>-1</sup>]

TABLE 4. Average microelement content of flint maize green matter [mg·kg<sup>-1</sup>]

| Wariant nawożenia | Fe    | Mn   | Zn   | Ni   | Cu   | Co   | Cd   |
|-------------------|-------|------|------|------|------|------|------|
| K                 | 118,0 | 28,2 | 12,3 | 8,2  | 4,33 | 4,01 | 0,45 |
| A                 | 117,3 | 33,4 | 11,6 | 7,1  | 4,40 | 3,73 | 0,46 |
| B                 | 129,9 | 27,7 | 14,9 | 8,0  | 4,09 | 3,17 | 0,40 |
| C                 | 167,1 | 34,0 | 16,0 | 13,7 | 5,07 | 3,70 | 0,45 |
| D                 | 143,4 | 41,4 | 19,6 | 7,7  | 5,21 | 3,88 | 0,46 |

TABELA 5. Pobranie ogółem [kg·ha<sup>-1</sup>]

TABLE 5. Macroelements uptake in [kg·ha<sup>-1</sup>]

| Wariant nawożenia | K     | P     | Ca   | Mg   | Na   |
|-------------------|-------|-------|------|------|------|
| K                 | 378,9 | 89,6  | 35,6 | 48,3 | 1,73 |
| A                 | 471,7 | 97,5  | 38,8 | 51,6 | 1,85 |
| B                 | 528,1 | 94,2  | 37,7 | 53,6 | 1,97 |
| C                 | 596,4 | 103,5 | 51,4 | 57,0 | 2,08 |
| D                 | 380,1 | 92,2  | 62,5 | 58,5 | 2,13 |

## Podsumowanie

Udowodniono możliwość wykorzystania popiołów z biomasy do nawożenia kukurydzy zwyczajnej uprawianej na cele energetyczne. Najskuteczniejsza jest dawka popiołów  $60,0 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Przy wprowadzeniu takiej ilości popiołu do gleby uzyskano najwyższy plon oraz najkorzystniejszą zawartość fosforu i magnezu w ziarnie kukurydzy. Zawartość metali ciężkich po zastosowaniu popiołów z biomasy nie zwiększyła się.

## Literatura

- BURCZYK H., 2012 – Przydatność jednorocznych roślin, uprawianych do produkcji biomasy na potrzeby energetyki zawodowej. *Problemy Inżynierii Rolniczej (I–III)*: z. 1 (75), s. 59–68.
- CELIŃSKA A., 2009 – Charakterystyka różnych gatunków upraw energetycznych w aspekcie ich wykorzystania w energetyce zawodowej. *Polityka Energetyczna*, t. 12, z. 2/1, IGSMiE PAN, Kraków, s. 59–72.
- GĄSIOROWSKA B., MAKAREWICZ A., NOWOSIELSKA A., 2011 – Zawartość wybranych makroskładników w ziarnie odmian kukurydzy wysiewanych w trzech terminach. *Fragm. Agron.* 28(3), s. 7–15.
- JASIULEWICZ M., 2007 – Rozwój lokalny w oparciu o biomasę z rolnictwa. Stowarzyszenie ekonomistów rolnictwa i agrobiznesu, *Roczniki Naukowe t. IX*, z. 1, s. 193–197.
- JASIULEWICZ M., 2008 – Wykorzystanie upraw energetycznych w strategii konkurencyjności regionów. Stowarzyszenie ekonomistów rolnictwa i agrobiznesu. *Roczniki Naukowe t. X*, z. 2, s. 98–102.
- JAWORSKI Ł., 2011 – Uwarunkowania rozwoju inwestycji w odnawialne źródła energii do produkcji energii elektrycznej w Unii Europejskiej do roku 2020 i w latach kolejnych. *Polityka Energetyczna t. 14*, z. 1, IGSMiE PAN, Kraków.
- KASZKOWIAK E., KASZKOWIAK J., 2011 – Wykorzystanie ziarna kukurydzy na cele energetyczne. *Inż. Ap. Chem.* 2011, 50, 3, s. 35–36.
- KOWALCZYK-JUŚKO A., 2009 – Popiół z różnych roślin energetycznych. *Proceeding of ECOpole*, Vol. 3, No. 1, s. 159–164.
- WACŁAWOWICZ R., 2011 – Rolnicze wykorzystanie popiołów ze spalania biomasy. *Seminarium Zagospodarowanie ubocznych produktów spalania biomasy*, Warszawa, s. 181–206.
- WIELOGÓRSKA G., TURSKA E., CZARNOCKI S., 2008 – Ocena technologii stosowanych w gospodarstwach uprawiających kukurydzę na kiszonkę w rejonie środkowowschodniej Polski. *Pamiętniki Puławskie*, s. 203–213.
- WISZ I., MATWIEJEW A., 2005 – Biomasa badana w laboratorium w aspekcie przydatności do energetycznego spalania. *Energetyka – wrzesień*, s. 631–641.

Edward MELLER, Eliza BILENDA

## Effects of biomass ash fertilisation on flint maize yield and nutrient uptake

### Abstract

Poland, as a member state of the European Union, is obliged to make use of renewable energy sources. Due to the fact that biomass has increasingly been used as a source of fuel, there is a growing interest in the ash residues from its combustion.

Studies were conducted on light soil near Stargard Szczeciński in 2012. The subject of the examination was ash generated from the combustion of wood chips, energy willow, maize, and straw in the electrical power and heating plant in Czechnica. This analysis assessed flint maize (*Zea mays L*) yield, chemical composition, and macroelement uptake. The experiment included 5 blocks constituting successive replications and 5 objects in each block, with 4 objects corresponding to particular ash doses (A – 15,0 Mg·ha<sup>-1</sup>, B – 30,0 Mg·ha<sup>-1</sup>, C – 60 Mg·ha<sup>-1</sup>, D – 120 Mg·ha<sup>-1</sup>) and the remaining object a control K-NPK mineral fertilisation.

Biomass ash application as a substitute for conventional NPK mineral fertilisation proved to be more effective with respect to yield improvement. In comparison with the control object (K), the yield in the objects fertilised with ash was slightly higher. Harvested maize grain was rich in phosphorus, magnesium, and potassium, but poor in calcium and sodium. The uptake of macroelements (K, P) was found to be the greatest in the C objects fertilised with 60 Mg·ha<sup>-1</sup>.

Returning biomass ash to the soil, especially from where the crop was harvested for energy purposes, is consistent with sustainable development and provides a further benefit of its utilization.

KEY WORDS: biomass ash, fertilisation, yield, chemical composition, flint maize

