

The summary of the doctoral thesis

Anita Konieczna M. Sc.

„Energy efficiency of maize production technology
intended for energy purposes”

The purpose of the work was to determine the impact of selected corn for silage cultivation technologies, including energy inputs in the production chain (cultivation, harvesting, prism formation) for energy efficiency and GHG emissions to the atmosphere. Demand for biomass for energy purposes be partially satisfied by yields of maize, a plant particularly suitable for use in biogas plants. The cultivation of maize requires high energy inputs, the process requires the use of energy carriers in the form of fuels, fertilizers and plant protection chemicals, hence the need to conduct research aimed to increase energy efficiency of production, and to increase the reduction of greenhouse gas emissions. The applied cultivation technologies affect the environment to a different extent, therefore in the context of maize growing for energy purposes, the calculation of energy efficiency and the estimation of GHG emissions into the atmosphere acquires significant importance. From 2016, the agricultural sector is an economic sector obliged to reduce GHG emissions. The analysis of energy inputs, energy efficiency and GHG emissions generated as a result of the applied silage maize production technology were estimated.

The research was carried out for 27 farms producing corn for silage crops from farms located in the Podlasie voivodship. Cultivation was carried out under real farming conditions. The area of corn planatation ranged from 0.57 to 11.3 ha. Data - from farms - concerning the analyzed technologies were included in technological charts, which compiled all activities and performed agrotechnical measures (record of operations and activities and inputs for production), including:

- types and technical parameters of used machines, tools and tractors,
- efficiency of machine aggregates,
- work outlays,
- used materials and raw materials as well as fuel consumption.

The selected variants varied in terms of the type and amount of fertilization applied. The farms surveyed showed significant differences in the tractors and machines used. Tractors engaged for agrotechnical operations and activities, harvesting, technological transport or molding of prisms varied in terms of power and weight. Depending on the type of work performed, using own tractors, machines and tools or on the basis of service, the power and weight of tractors ranged from 22 kW for the Ursus C330 weighing 1 675 kg, up to 152 kW Valtra N 143 weighing 5,450 kg. To transport the chopped corn from the field to the place of unloading to the prism, transport sets of the tractor plus a volume trailer from 4 t to 18 t were used. For the kneading of forage and for the prism formation, tractors were used which, together with the additional weights, reached a mass of 3.5 t to 9 tons.

The calculations of energy expenditures incurred on the corn for silage production in selected technologies were made on the basis of the method developed by IBMER [Anuszewski et al. 1979, Wójcicki 2001] after its verification and adaptation to the needs and conditions of own research.

Cumulative energy consumption expresses the total material and energy inputs in corn for silage technologies production. The following dependence was used to calculate it:

$$E_{\text{pro}} = \sum E_{\text{mat}} + \sum E_{\text{cmn}} + \sum E_{\text{ON}} + \sum E_r, [\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}]$$

where:

- E_{pro} – the sum of energy inputs incurred on the corn for silage production [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$],
- $\sum E_{\text{mat}}$ – the sum of energy consumption of used materials [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$],
- $\sum E_{\text{cmn}}$ – the sum of energy consumption of the used aggregates [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$],
- $\sum E_{\text{ON}}$ – the sum of energy consumption of the consumed fuel [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$],
- $\sum E_r$ – amount of energy brought in the form of human labour [$\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$].

To calculate energy inputs related to direct energy carriers, mineral fertilizers, agrochemicals, the use of tractors, machines and human labour, the cumulated energy consumption indexes provided by Wójcicki were used.

Energy efficiency of yield production is understood as the ratio of the energy value of the product obtained to the amount of energy input in its production. The energy efficiency index was calculated according to the relation given by Harasim [1997], Kuś [2002] and expressed in the form of a non-quantified coefficient:

$$E_e = P_e / E_{\text{pro}}$$

where:

- Ee – energy performance index of corn for silage technology,
- Pe – energy value of crop [$\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$],
- Epro – the sum of energy inputs incurred on the corn for silage production [$\text{MJ}\cdot\text{ha}^{-1}$].

Based on IPCC guidelines, KOBiZE developed the methodology for estimating the analyzed emissions according to their sources:

- N_2O direct emission from the use of natural fertilizers: manure and cattle slurry,
- N_2O direct emission from the use of inorganic fertilizers,
- N_2O direct emission from crop residues left in the field,
- CO_2 direct emission from the use of urea and lime fertilizers,
- GHG (N_2O , CO_2 and CH_4) emissions from fuel combustion by tractor engines and agricultural machinery.

Based on cumulated energy production and energy accumulated in the yield, energy efficiency indexes for 27 silage maize cultivation technologies were calculated. Values range from 0.92 (technology 12) to 1.72 (technology 1). In 26 out of 27 analyzed corn for silage technologies, the index was rated higher than one. This means that the biomass produced of the higher cumulative energy value than the energy expenditures incurred. For one of the researched variants this index was less than one. This means that the technological solution in this case showed lack of energy efficiency, the cumulated energy expenditure incurred to produce the unit of biomass yield was greater than the energy accumulated in it. It was an unjustified solution in terms of energy. The greatest impact on the obtained results of energy efficiency calculations was shared by expenditures in the form of fertilizers and fuel.

In conclusion, it can be stated that in terms of energy efficiency, maize cultivation is justified and can bring energy benefits.

According to the adopted research methodology, estimated GHG emissions (N_2O , CH_4 and CO_2) from the analyzed sources (inorganic and natural fertilization, crop residues, fuel combustion), per 1 ha of crop and 1 t of green mass yield, in order to compare technologies, emissions were calculated in accordance with the greenhouse gas potential of individual gases (GWP - global warming potential) and expressed in the equivalent unit - CO_2eq . The average amount of emissions from 27 technologies for these three gases was $1,963.50 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$. The total GHG emission from the technologies studied was in the range from $1\,431.0 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$ to $2\,538.3 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$ in technologies 6 and 27 respectively. As a result of the

analyzes it was found that, on average, production of 1 ton of green mass is associated with emitting 40.41 kg of CO²eq into the atmosphere.

As expected, the results of the conducted research and their analysis confirmed the existence of a negative correlation between energy efficiency and the level of GHG emissions to the atmosphere for the tested corn for silage technologies. There is a negative correlation $r = -0.56$ between the examined features, which means that together with the increase of energy efficiency of investigated technologies, the emission of air pollutants in the form of analyzed greenhouse gases from the sources under consideration decreases.

Streszczenie rozprawy doktorskiej

mgr inż. Anita Konieczna

„Efektywność energetyczna technologii produkcji kukurydzy z przeznaczeniem na cele energetyczne”

Celem pracy było określenie wpływu wybranych technologii uprawy kukurydzy na kiszonkę z uwzględnieniem nakładów energetycznych w łańcuchu produkcji (uprawa, zbiór, formowanie pryzmy) na efektywność energetyczną oraz na poziom emisji GHG do atmosfery. Częściowe zapotrzebowanie na biomasę na cele energetyczne mogą zaspokoić plony z upraw kukurydzy, rośliny szczególnie przydatnej do zastosowania w biogazowni. Uprawa kukurydzy wymaga wysokich nakładów energetycznych, proces wymaga zastosowania nośników energii w postaci paliw (ON), nawozów, środków ochrony roślin, stąd potrzeba prowadzenia badań nad zwiększeniem efektywności energetycznej produkcji, a także zwiększeniem ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Stosowane technologie uprawy w różnym stopniu wpływają na środowisko, dlatego w kontekście uprawy kukurydzy na cele energetyczne wyliczenie efektywności energetycznej i oszacowanie emisji GHG do atmosfery nabiera istotnego znaczenia. Od 2016 r. sektor rolnictwa jest sektorem gospodarki zobligowanym do redukcji emisji GHG. Przeprowadzono analizę nakładów energetycznych, obliczono efektywność energetyczną oraz oszacowano emisje GHG powstające w wyniku zastosowanej technologii produkcji kukurydzy na kiszonkę.

Badania przeprowadzono dla 27 upraw kukurydzy na kiszonkę z gospodarstw zlokalizowanych w województwie podlaskim. Uprawy prowadzone były w rzeczywistych warunkach gospodarowania. Areał upraw mieścił się w zakresie od 0,57 do 11,3 ha. Dane – z gospodarstw rolnych – dotyczące analizowanych technologii zamieszczone zostały w opracowanych i sporządzonych kartach technologicznych, w których zestawiono wszystkie czynności oraz wykonane zabiegi agrotechniczne (ewidencja zabiegów i czynności oraz nakładów przy produkcji), w tym:

- rodzaje i parametry techniczne stosowanych maszyn, narzędzi i ciągników,

- wydajność agregatów maszynowych,
- nakłady pracy,
- zużyte materiały i surowce oraz zużycie paliwa.

Wybrane warianty zróżnicowane były pod względem rodzaju i ilości zastosowanego nawożenia. W badanych gospodarstwach występowały znaczne różnice w stosowanych ciągnikach i maszynach. Ciągniki zaangażowane do zabiegów i czynności agrotechnicznych, zbioru, transportu technologicznego czy formowania przyzmy były zróżnicowane pod względem mocy i masy. W zależności od rodzaju wykonywanych prac, z wykorzystaniem własnych ciągników, maszyn i narzędzi lub na zasadzie usługi, moce i masy ciągników wynosiły od 22 kW w przypadku Ursusa C330 o masie 1 675 kg, do 152 kW Valtra N 143 o masie 5 450 kg. Siew odbywał się przy pomocy siewników 4- lub 6-rzędowych. Zbioru dokonywano za pomocą zestawu ciągnik plus siewkarnia 1-, 4- lub 6-rzędowa. Do transportu siewki zielonki z pola do miejsca rozładunku na przyzmy stosowano zestawy transportowe ciągnik plus przyczepa objętościowa od 4 t do 18 t. Do ugniatania zielonki i formowania przyzmy kiszonki stosowano ciągniki, które wraz z dociążeniem osiągały masę od 3,5 t do 9 t.

Obliczeń nakładów energetycznych poniesionych na produkcję kukurydzy na kiszonkę w wybranych technologiach dokonano w oparciu o metodę obliczeń opracowaną przez IBMER [Anuszewski i in. 1979, Wójcicki 2001] po jej weryfikacji i dostosowaniu do potrzeb i warunków badań własnych.

Energochłonność skumulowana wyraża sumaryczne nakłady materiałowo-energetyczne w technologiach produkcji kukurydzy na kiszonkę. Do jej obliczenia wykorzystano poniższą zależność:

$$E_{\text{pro}} = \sum E_{\text{mat}} + \sum E_{\text{cmn}} + \sum E_{\text{ON}} + \sum E_r, [\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}]$$

gdzie:

E_{pro} – skumulowane nakłady materiałowo-energetyczne na produkcję, $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$,

$\sum E_{\text{mat}}$ – energochłonność materiałów i surowców użytych do produkcji, $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$,

$\sum E_{\text{cm}}$ – energochłonność użytkowania ciągników, maszyn i narzędzi, $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$,

$\sum E_{\text{ON}}$ – energochłonność użytego paliwa, $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$,

$\sum E_r$ – energochłonność pracy ludzi, $\text{MJ} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Do obliczeń nakładów energetycznych związanych z bezpośrednimi nośnikami energii, nawozami mineralnymi, agrochemikaliami, zastosowaniem ciągników, maszyn i pracą ludzi wykorzystano wskaźniki energochłonności skumulowanej podawane przez Wójcickiego.

Efektywność energetyczną produkcji określonego plonu, rozumianą jako stosunek wartości energetycznej otrzymanego produktu do ilości energii włożonej w jego wyprodukowanie. Wskaźnik efektywności energetycznej obliczono według zależności podanej przez Harasima [1997], Kusia [2002] i wyrażono w postaci współczynnika niemianowanego:

$$Ee = Pe/Epro$$

gdzie:

- Ee – wskaźnik efektywności energetycznej produkcji zielonki z kukurydzy,
- Pe – wartość energetyczna plonu kukurydzy na zielonkę uzyskanego z 1ha [MJ·ha-1],
- Epro – skumulowane nakłady materiałowo-energetyczne na produkcję kukurydzy na kiszonkę [MJ·ha-1].

Na podstawie wytycznych IPCC, raportów KOBiZE opracowano metodykę do oszacowania analizowanych emisji według ich źródeł:

- emisja bezpośrednia N₂O ze stosowania nawozów naturalnych: obornik i gnojowica bydłęca,
- emisja bezpośrednia N₂O ze stosowania nawozów nieorganicznych,
- emisja bezpośrednia N₂O z resztek poźniwnych pozostawianych na polu,
- emisja bezpośrednia CO₂ ze stosowania mocznika i wapna nawozowego,
- emisja GHG (N₂O, CO₂ i CH₄) ze spalania paliwa (ON) przez silniki ciągników i maszyn rolniczych.

Na podstawie energochłonności skumulowanej produkcji i energii skumulowanej w plonie obliczono wskaźniki efektywności energetycznej 27 technologii uprawy kukurydzy na kiszonkę. Wartości wahają się od 0,92 (technologia 12) do 1,72 (technologia 1). W 26 na 27 badanych technologii uprawy kukurydzy na kiszonkę oceniany wskaźnik był większy od jedności. Oznaczało to, że w wyprodukowanej biomase uzyskano wyższą wartość energii skumulowanej niż energii w poniesionych nakładach energetycznych. Dla jednej spośród badanych upraw wskaźnik ten był mniejszy od jedności. Oznaczało to, że rozwiązanie technologiczne zastosowane w uprawie oznaczonej numerem 12 wykazało brak efektywności energetycznej, nakłady energii skumulowanej poniesione na wyprodukowanie jednostki plonu biomasy były większe od energii w nim skumulowanej. Było to rozwiązanie nieuzasadnione pod względem energetycznym. Największy wpływ na uzyskane wyniki obliczeń efektywności energetycznej miały nakłady w postaci nawozów i paliwa. Podsumowując, można stwierdzić, że pod względem efektywności energetycznej uprawa kukurydzy jest uzasadniona i może przynosić korzyści energetyczne.

Zgodnie z przyjętą metodyką badań oszacowane ilości emisji GHG (N_2O , CH_4 i CO_2) z analizowanych źródeł (nawożenie nieorganiczne i naturalne, resztki poźniwne, spalanie paliwa), przypadające na 1 ha uprawy oraz na 1 t plonu zielonej masy, w celu możliwości porównywania technologii, emisje przeliczono zgodnie z potencjałem cieplarnianym poszczególnych gazów (GWP - global warming potential) i wyrażono w jednostce ekwiwalentnej – CO_2eq . Średnia ilość emisji z 27 technologii, dla tych trzech gazów wyniosła $1\,963,50 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$. Łączna emisja GHG z badanych technologii mieściła się w zakresie od $1\,431,0 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$ do $2\,538,3 \text{ kg CO}_2\text{eq}\cdot\text{ha}^{-1}$ odpowiednio w technologiach 6 i 27. W wyniku przeprowadzonych analiz stwierdzono, że średnio, wyprodukowanie 1 tony zielonej masy wiąże się z wyemitowaniem do atmosfery $40,41 \text{ kg CO}_2\text{eq}$.

Zgodnie z oczekiwaniami, uzyskane wyniki przeprowadzonych badań oraz ich analiza potwierdziły istnienie ujemnej korelacji pomiędzy efektywnością energetyczną a poziomem emisji GHG do atmosfery z badanych upraw kukurydzy na kiszonkę. Pomędzy zbadanymi cechami istnieje korelacja ujemna $r = -0,56$, co oznacza, że wraz ze wzrostem efektywności energetycznej badanych upraw kukurydzy na kiszonkę maleją emisje zanieczyszczeń powietrza w postaci analizowanych gazów cieplarnianych z rozpatrywanych źródeł.