

# KONCEPCJA MASZYNY DO ZBIORU WIERZBY KRZEWIASTEJ

Streszczenie

Przedstawiono koncepcję maszyny do zbioru roślin energetycznych. Maszyna o konstrukcji dwumodułowej składa się z bazy wraz z zespołami zagęszczająco-wciągającym i rozdrabniającym oraz przystawki ścinającej z zespołami zabierającym i podnosząco-podającym. Strukturę kinematyczną i konstrukcyjną zespołów roboczych dobrano na podstawie szczegółowej analizy procesów cięcia, rozdrabniania i transportu oraz cech fizycznych roślin, wymagań odbiorców surowca i warunków agrotechnicznych rozwoju roślin krzewiastych przeznaczonych na cele energetyczne.

Ostatnie lata pokazują, że możliwość uprawy na gruntach rolniczych wieloletnich roślin energetycznych, w celu pozyskiwania biomasy na cele energetyczne, może stać się czynnikiem rozwoju obszarów wiejskich. Stąd uprawa roślin energetycznych, a w szczególności wierzby, cieszy się coraz większym zainteresowaniem wśród rolników i inwestorów. O ile sama uprawa roślin opiera się w znacznej mierze na technikach stosowanych w tradycyjnym rolnictwie, to zbiór stwarza duże problemy. Rośliny, których wysokość pędów, w zależności od cyklu zbioru, może przekraczać 9 m a średnica 70 mm, wymagają maszyn specjalnej konstrukcji, które będą w stanie ścinać i zrębkować takie rośliny.

W ramach zamawianego projektu badawczego realizowanego przez konsorcjum ośmiu krajowych ośrodków badawczych i koordynowanego przez Instytut Energetyki w Warszawie, pt. „Nowoczesne technologie energetycznego wykorzystania biomasy i odpadów biodegradowalnych (BiOB) - konwersja BiOB do energetycznych paliw gazowych” (PBZ-MNiSW-1/3/2006), finansowanego ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, jednym z podzadań jest opracowanie szczegółowych założeń technicznych do konstrukcji prototypu przystawek ścinających oraz do modernizacji sieczkarni, które pozwolą w kolejnym etapie na projekt i wykonanie maszyny z przeznaczeniem do zbioru roślin energetycznych. Zadanie to realizowane jest przez Katedrę Maszyn Rolniczych i Leśnych SGGW w Warszawie przy współpracy z SIPMA SA w Lublinie.

Opracowanie koncepcji konstrukcji prototypu przystawek ścinających oraz modernizacji sieczkarni poprzedzone było szczegółową analizą istniejących maszyn rolniczych do zbioru roślin wysokołodygowych adaptowanych do zbioru roślin energetycznych oraz maszyn specjalnie konstruowanych z myślą o zbiorze roślin energetycznych. Dokonano również szczegółowego przeglądu literatury dotyczącego sposobów uprawy plantacji wierzby, z których wynikają przesłanki rozwiązań konstrukcyjnych maszyny. Przeanalizowano potrzeby i oczekiwania odbiorców surowca w formie zrębków, który jest wykorzystywany jako materiał opałowy, co pozwoliło na sprecyzowanie parametrów pracy zespołu rozdrabniającego maszyny zbierającej.

Analiza wymagań agrotechnicznych, cech fizycznych roślin i odbiorców surowca stała się podstawą do przyjęcia założeń parametrów technicznych i konstrukcyjnych maszyny do zbioru roślin krzewiastych przeznaczonych na cele energetyczne. Ponieważ wierzba krzewiasta jest rośliną dominującą, dlatego też kluczowe parametry zespołów roboczych są podporządkowane wymaganiom zbioru tej rośliny. Przyjęto, że maszyna powinna zbierać także inne rośliny krzewiaste i w ogólnym rozwiązaniu może być ona wykorzystana do zbioru

kukurydzy na kiszonkę.

Założono modułową konstrukcję maszyny, której główną strukturą jest baza z zespołami zagęszczająco-wciągającym i rozdrabniającym. Kluczowym rozwiązaniem konstrukcyjnym jest przystawka ścinająca z zespołami zabierającym i podnosząco-podającym w postaci obrotowych zabieraków palcowych. Podstawowe parametry techniczne prototypu maszyny zbierającej zamieszczono w tabeli.

Tab. Parametry i cechy techniczne maszyny do ścięcia i zrębkowania roślin energetycznych

Table. Parameters and technical features of machine for cutting and slivering of energetic plants

Wyszczególnienie	Parametry
<b>Maszyna bazowa:</b>	
Źródło napędu	Ciągnik rolniczy 118 kW (160 KM), kl. 2 (20 kN)
Liczba rzędów /szerokość robocza	1/0,75 m
Prędkość robocza	do 8 km·h <sup>-1</sup>
Rodzaj połączenia z ciągnikiem	Przyczepiana
Przepustowość masowa	30 t·h <sup>-1</sup>
Prześwit	300 mm
Zespół tnący	Toporowy
Długość cięcia	Do 60 mm
<b>Przystawka ścinająca:</b>	
Liczba tarcz tnących	2
Wysokość cięcia	100 mm
Prędkość obwodowa tarcz	75-100 m·s <sup>-1</sup>
Zespół podnosząco-podający	Zabierak palcowy z walcem podnosząco-podającym
Średnica zbieranych pędów	Do 70 mm
Wysokość ścinanych pędów	Do 9 m
<b>Napędy:</b>	
Tarcze ścinające	Hydrostatyczny
Zespół podnosząco-podający	Hydrostatyczny z rewersem
Zespół tnący-wyrzutowy	Mechaniczny
<b>Cechy dodatkowe:</b>	
Zaczepek do przyczepy	20 kN
Kanał wyrzutowy zasięg wysokości	5 m
Sterowanie kanałem	Hydrauliczno-elektryczne

Przyjęto, że maszyna zbierająca będzie przyczepiana do ciągnika klasy 2 o mocy około 120 kW. W ogólnym rozwiązaniu zastosowano zespół ścinający bezrządowy, ale w standardowej wersji dostosowany jest on do zbioru z jednego rzędu roślin o rozstawie 0,75 m. Taki układ jest wynikiem dość dużego zróżnicowania w stosowanej uprawie roślin energetycznych. Z dostępnych źródeł literatury wynika bowiem, że spotyka się różne rozstawy międzyrzędzi roślin krzewiastych, zwłaszcza wierzby energetycznej (0,7 m [16]; 0,75 m [1]; 0,7-0,75 m [3]; 0,75-0,8 m [2]; 0,7-0,8 m [13]).

Prędkość robocza maszyny dostosowana jest do wielkości plonu, z uwzględnieniem możliwych prędkości jazdy stosowanych w ciągnikach rolniczych. Z przeglądu literatury wynika, że w tego typu maszynach dochodzi ona do  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $3,6\text{-}5,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  [17],  $3\text{-}8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  [10]). Dla konstruowanej maszyny przyjęto jako maksymalną prędkość roboczą  $8 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ .

Przystawka ścinająca wyposażona jest w dwie piły tarczowe z możliwością montowania pił o średnicy do 700 mm i różnym rozstawie, co pozwoli na empiryczne określenie najlepszych układów pracy, gdyż źródłowe dane wskazują na dość duży rozrzut średnic (450-600 mm [10]).

W celu zapewnienia „czystego” cięcia pędów, bez strzępienia i rozrywania karpki, które ma szczególne znaczenie dla dalszego rozwoju rośliny, prędkość obwodowa pił tarczowych wynosi  $100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . W dotychczasowych rozwiązaniach spotyka się znaczne zakresy wartości ( $63\text{-}118 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  [15];  $100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  [11]), dlatego zostanie zastosowany napęd hydrostatyczny zasilany z autonomicznego obwodu, co zapewni możliwość regulacji prędkości obrotowej tarcz w celu osiągnięcia wymaganej prędkości obwodowej w zależności od średnicy piły tarczowej.

Przewidywana maksymalna przepustowość maszyny powinna zapewniać zbiór roślin z wydajnością chwilową do  $30 \text{ t}\cdot\text{h}^{-1}$ , o plonie świeżej masy do  $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (rys. 1), który może być osiągnięty w dobrych warunkach [6, 8, 9, 18, 19].

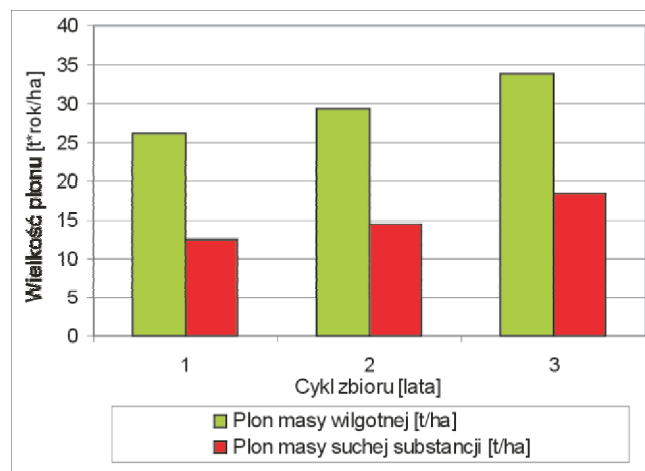
Kierowanie roślin do zespołu przystawki ścinającej jest realizowane przez dwa rozdzielacze aktywne, ustawione skośnie do podłoża i do gardzieli zespołu (rys. 2). Nad przystawką zastosowano element nachylający pędy wierzby w kierunku do przodu, sterowany siłownikiem hydraulicznym, z możliwością regulacji punktów mocowania. Układ taki zapewni nakierowanie zbieranych pędów odziomkiem w kierunku gardzieli maszyny.

Wysokość cięcia roślin wynosi około 100 mm nad powierzchnią gruntu, co odpowiada zakresowi spotykanemu w dotychczasowych rozwiązaniach (50-100 mm [3, 11, 19]). Przystawka zapewni cięcie roślin o średnicy do 70 mm i wysokości do 9 m. Z badań wynika, że jest to spójne z wymiarami pędów 3-letnich (32 mm [19]; 30-50 mm [3]; 80 mm [5]). Minimalny prześwit maszyny wynosi 300 mm, co powinno zapewnić bezpieczną pracę nad pozostawionymi karpkami roślin.

Zbierane rośliny przytrzymywane są podczas cięcia i kierowane do gardzieli przez zabieraki palcowe. Średnica pracy zabieraków palcowych jest większa niż pił tarczowych. Obszar pracy zabieraków palcowych wyprzedza cięcie pędów roślin (pędy są naginane w kierunku maszyny przed ich cięciem). Prędkość obwodowa dostosowywana jest do prędkości jazdy ciągnika, z nadwyżką rzędu 20%. Napęd zespołu jest hydrauliczny w celu zapewnienia wymaganej nadwyżki prędkości w zależności od prędkości ruchu agregatu, gdyż prędkość obwodowa musi być zawsze większa od prędkości jazdy.

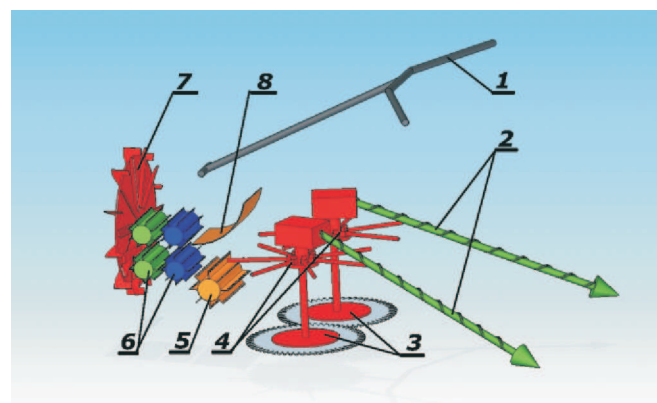
Zabrane końcowe części pędów przez zabieraki są przechwytywane przez walec podnosząco-podający, który pracując nasiębiernie podaje je w szczelinę między walcami zagęszczająco-wciągającymi. Wyoblona osłona pozwala nakierować pędy od góry, które są częściowo podnoszone przez

walec podnosząco-podający. Dalej proces transportu powinien przebiegać bez zakłóceń między walcami zgęszczająco-podającymi. Układ ma za zadanie zapewnić nakierowanie zbieranych pędów odziomkiem w kierunku zespołu rozdrabniającego. Napęd na walec podnosząco-podający zastosowano hydrostatyczny z rewersem, umożliwiając ewentualne odblokowanie zapchania zespołu.



Rys. 1. Wielkość plonu wierzby krzewiastej w zależności od cyklu zbioru

Fig. 1. Yield of shrubby willow depending on harvesting cycle



Rys. 2. Schemat przystawki ścinającej: 1 - element nachylający, 2 - rozdzielacz aktywny, 3 - zespół ścinający z piłami tarczowymi, 4 - zabierak palcowy, 5 - walec podnosząco-podający, 6 - walce zagęszczająco-podające, 7 - tarczowy zespół rozdrabniający, 8 - osłona kierująca

Fig. 2. Cutting adapter scheme: 1 - hanging element, 2 - active distributor, 3 - cutting unit with dial saws, 4 - finger gathering, 5 - pick-up-feed roll, 6 - press-feed rolls, 7 - chopping disc unit, 8 - deflector shield

Ścięte pędy roślin kierowane są do zespołu rozdrabniającego, który wchodzi w skład maszyny bazowej.

Maszyna bazowa wyposażona jest w tarczowy zespół do zębkwania, który wyrzuca rozdrobniony materiał kanałem wyrzutowym wyposażonym w kierownicę na przyczepę transportową. Ze źródeł literatury wynika, że dopuszcza się dość duży rozrzut otrzymanych i wykorzystywanych zębkwów, nawet do 15 cm (2-15 cm [2]; 2,2-4,5 cm [7]; 3,5-5,5 cm [10]; 3-4 cm [12]; < 5 cm [4]; średnio 5,5 cm [13]). Dlatego też, zgodnie z obowiązującą normą PN-91/D-95009, dla drzew liściastych z przeznaczeniem na opał, jako podstawowe wymaganie przyjęto wielkości zębkwów do 60 mm.

Kanał wyrzutowy i parametry robocze tarczy rozdrabniającej z rzutnikami pozwolą na uzyskanie zasięgu wyrzutu zębkwów do około 5 m, z możliwością obrotu, tak aby można

było kierować zębki na przyczepę dołączoną do maszyny lub transportowaną przez inny ciągnik, jadący obok podstawowego agregatu zbierającego. W celu łączenia przyczepy z maszyną jest ona wyposażona w zaczep transportowy. Sterowanie kierownicą kanału wyrzutowego realizowane jest elektrohydraulicznie.

## Literatura

- [1] Abrahamson L., Volk T., Kopp R., White E.: Willow Biomass Producer's Handbook, 2002.
- [2] Dubas J., Grzybek A., Kotowski W., Tomczyk A.: Wierzba energetyczna uprawa i technologii przetwarzania. Bytom 2004.
- [3] Gaworski M.: Techniczne wyposażenie technologii produkcji wierzby. Wieś Jutra 2006, nr 8/9 (97/98).
- [4] Głazar K.: Fuel wood chips fraction. Acta Sci. Pol., Sliv Colendar. Rat. Ind. Lignar 2006, no. 5(2).
- [5] Hofmann M.: Energieholzproduktion in der Landwirtschaft, 2007.
- [6] Jeżowski S.: Rośliny energetyczne - produktywność oraz aspekt ekonomiczny, środowiskowy i socjalny ich wykorzystania jako ekopaliwa. Postępy Nauk Rolniczych 2003, nr 3.
- [7] Jirjis R.: Effects of particle size and pile height on storage and fuel quality of comminuted Salix Viminalis. Biomass and Bioenergy 2005, no. 28.
- [8] Kąkol J., A., Gąsiorek S.: Wpływ wybranych czynników siedliskowych na plonowanie wierzby wiciowej w warunkach górskich. Inżynieria Rolnicza 2005, nr 10.
- [9] Król K.: Wierzba wiciowa - cenna roślina energetyczna. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna 2004, nr 3.
- [10] Lechasseur G., Savoie P.: Cutting, bundling and chipping short rotation willow. The Canadian Society for Engineering in Agricultural, Food, and Biological Systems 2005, 05-080.
- [11] Lisowski A.: Ścinanie i rozdrabnianie wierzby energetycznej. Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna 2006, nr 4.
- [12] Nordh N., Dimitriou I.: Harvest techniques in Europe. Short Rotation Crops for Bioenergy, 2003.
- [13] Picchi G., Gordon A., Thevathasan N.: Potential in Ontario for the Implementation of Willow Short Rotation Coppice Cultivation for Greenhouse Heating. Feedstock to Furnace: Bioenergy Systems for the Ontario Greenhouse Industry, 2003.
- [14] PN-91/D-95009 Surowiec drzewny. Zębki leśne.
- [15] Savoie P., D'Amours L., Lavoie F., Lechasseur G., Joannis H.: Development of a cutter-shredder-baler to harvest long-stem willow. ASAE Annual Meeting 2006, no. 061016.
- [16] Senneby-Forsse L.: Handbook for Energy Forestry. AB DD-Tryck, Falun 1986.
- [17] Spinelli R.: Report on the CRL Mk II SRC harvester, 2001.
- [18] Stolarski M.: Produkcja oraz pozyskiwanie biomasy z wieloletnich upraw roślin energetycznych. Problemy Inżynierii Roln. 3/2004.
- [19] Szczukowski S., Tworkowski J., Stolarski M.: Wierzba energetyczna. Wyd. Plantpress, Kraków 2006.

## CONCEPTION OF MACHINE FOR THE SHRUBBY WILLOW HARVESTING

### Summary

*The conception of machine for the energetic plants' harvesting was introduced. The two-modules construction machine is consisted from base with feed rolls and chopping units as well as cutting adapter from gathering and pick-up units. The kinematic and constructional structure of the working units was chosen on the basis the detailed analysis of cut and chopping and transportation processes as well as the physical plants' features and requirements of raw material recipients and agricultural conditions of the shrubby plants using for energetic purpose.*