

REDUKCJA CZĘSTOTLIWOŚCI CIĘCIA I ZASTOSOWANIE DODATKOWEGO ROZDRABNIANIA - KIERUNKIEM DO ZMNIEJSZENIA OBCIĄŻEŃ ENERGETYCZNYCH ZESPOŁU ROZDRABNIAJĄCEGO

Aleksander Lisowski, Krzysztof Kostyra

Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

Streszczenie. Celem pracy było określenie możliwości zmniejszenia obciążeń energetycznych toporowego zespołu rozdrabniającego stosowanego w siewkarni polowej przez redukcję częstotliwości cięcia i zastosowanie dodatkowych elementów wspomagających rozdrabnianie roślin kukurydzy. Stwierdzono, że zmniejszenie częstotliwości cięcia przez zmniejszenie liczby noży było korzystniejsze niż przez zmniejszenie prędkości obrotowej tarczy nożowej. Redukując częstotliwość cięcia i stosując dodatkowe elementy rozdrabniające w postaci cepowej płytki dennej i gładkich łopatek rzutnika z ostrą krawędzią natarcia osiągnięto znaczące zmniejszenie obciążeń energetycznych i poprawiono strukturę rozdrobnionych ziaren i innych części roślin kukurydzy. Bardzo dobry efekt pracy zespołu osiągnięto przez zastosowanie szczeliny roboczej o kształcie klina.

Słowa kluczowe: kukurydza, zespół toporowy, mocy efektywna, częstotliwość cięcia

Wstęp

Najbardziej energochłonnym procesem podczas pracy siewkarni z toporowym zespołem tnącym jest rozdrabnianie materiału roślinnego. Nakłady te mogą osiągnąć nawet 85% zapotrzebowania całkowitego, zwłaszcza jeśli w dążeniu do spełnienia wymagań jakościowych jest zmniejszana długość cięcia [Čepurnoj, Belov 2004, O'Dogherty 1982, Savoie i in. 1989]. Ale zbyt krótka siewka nie jest korzystna dla żywicy [Zhang 2002, Zhang i in. 2003] i kierunkiem rozwiązania tego problemu jest zmniejszenie częstotliwości cięcia i zastosowanie dodatkowych elementów wspomagających rozrywanie źdźbeł roślin i rozdrabnianie ziaren.

Jako dodatkowe elementy wspomagające pracę toporowego zespołu tnącego stosuje się łopatki rzutnika, współpracujące z płytką denną oraz listwy promieniowe montowane pod nożami tnącymi, których zadaniem jest ukierunkowanie odciętej porcji materiału roślinnego i odrzucenie jej na zewnętrzną obudowę zespołu rozdrabniającego [Lisowski i in. 2008a, Lisowski i in. 2008b]. Zastosowanie listew promieniowych ma na celu skoncentrowanie odciętej masy roślinnej w szczelinie roboczej między płytką denną a łopatkami rzutnika.

Zmianę częstotliwości cięcia można uzyskać przez zmianę prędkości obrotowej tarczy nożowej i liczby noży zainstalowanej na tarczy [Kanfojski 1980]. Tylko pozornie może się wydawać, że na efekty energetyczne i jakościowe pracy toporowego zespołu rozdrabniającego nie ma wpływu sposób zmiany częstotliwości cięcia. Z tej wątpliwości wynika pytanie, czy zmniejszając częstotliwość cięcia i stosując dodatkowe elementy, generujące opory, ograniczy się obciążenie zespołu i poprawi jakość rozdrabniania materiału roślinnego.

Dlatego też postawiono hipotezę badawczą, zawartą w tytule oraz sformułowano problem badawczy w postaci dwóch pytań:

1. Który ze sposobów zmniejszenia częstotliwości cięcia pozwala na efektywniejsze zmniejszenie obciążeń energetycznych zespołu rozdrabniającego?

2. Jakie z dodatkowych elementów wspomagających rozdrabnianie roślin kukurydzy są najlepsze ze względów energetycznych, ale z utrzymaniem dobrego rozdrabniania ziaren?

Celem pracy jest określenie możliwości zmniejszenia obciążeń energetycznych toporowego zespołu rozdrabniającego stosowanego w siewczarni polowej dokładnego cięcia przez redukcję częstotliwości cięcia i zastosowanie dodatkowych elementów wspomagających rozdrabnianie roślin kukurydzy.

Jako kryterium oceny przyjęto zapotrzebowanie na moc efektywną do pracy zespołu rozdrabniającego (P_i) w połączeniu z rzeczywistą długością siewczki (l_{rz}) i wskaźnikiem rozdrobnienia ziaren (k_z).

Metodyka badań i obliczeń

Aby odpowiedzieć na wyżej postawione pytania przeprowadzono badania stanowiskowe zmieniając parametry związane z redukcją częstotliwości cięcia: liczbę noży i prędkość obrotową tarczy.

W badaniach stosowano trzy rodzaje elementów dodatkowych: płytkę denną, łopatkę rzutnika i listwy promieniowe, które różniły się ukształtowaniem powierzchni roboczych.

Ponadto zmieniano szczelinę roboczą między płytką denną a łopatkami rzutnika. Szczelina na wejściu była stała i wynosiła 8 mm, a na wyjściu ustawiano ją na trzech poziomach.

Stanowisko badawcze składało się z ciągnika, zmodyfikowanej siewczarni dla potrzeb badań i aparatury pomiarowej.

Zastosowano:

- momentomierz i obrotomierz na WOM ciągnika do pomiaru mocy całkowitej,
- czujniki ciśnienia i przepływomierze do pomiaru mocy hydraulicznej w układzie napędowym na walce wciągająco-zgniatające i adapter,
- tachometry z czujnikami zbliżeniowymi do pomiaru prędkości obrotowych wałów napędowych,
- transformatorowy czujnik przemieszczeń do pomiaru grubości warstwy materiału roślinnego między walcami wciągająco-zgniatającymi,
- elektroniczną wagę pomostową ze zbiornikiem do ciągłego pomiaru masy siewczki,
- wzmacniacz i komputer z oprogramowaniem do sterowaniem układu pomiarowego i zapisu danych.

Analizę wyników badań przeprowadzono dla średniej masa pojedynczej próbki roślin – 15 kg, prędkości przenośnika taśmowego – $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ i wilgotności roślin kukurydzy – 44%.

Za moc efektywną potrzebną do napędu zespołu rozdrabniającego przyjęto różnicę między mocą brutto, zmierzoną w czasie pracy zespołu pod obciążeniem, a mocą biegu jałowego. Zapotrzebowanie na moc zespołu rozdrabniającego otrzymano odejmując od mocy zmierzonej na WOM moc pobieraną przez walce wciągająco-zgniatające i adapter.

Wyniki badań i dyskusja

Analiza wariancji wykazała, że tylko rodzaj płytki nie miał istotnego wpływu na różnicowanie wartości mocy efektywnej (tab. 1).

Tabela 1. Analiza wariancji mocy efektywnej toporowego zespołu rozdrabniającego dla badanych czynników

Table 1. Variance analysis of effective power of the flywheel chopping unit for investigation factors

Czynnik	Suma kwadratów	Liczba stopni swobody	Średni kwadrat	F _{emp}	Krytyczny poziom istotności
Liczba noży	93,82	2	46,91	8,09	0,0004 ^a
Prędkość obrotowa tarczy	1642,68	3	547,56	94,45	<0,0001 ^a
Płytko denno	12,18	2	6,09	1,05	0,3510
Łopatkę rzutnika	79,23	2	39,61	6,83	0,0013 ^a
Listwy promieniowe	117,17	2	58,58	10,11	0,0001 ^a
Szczelina robocza	51,32	2	25,66	4,43	0,0128 ^b
Błąd losowy	1663,78	287			
Ogółem	16023,60	306			

^a Różnica istotna przy poziomie istotności $\alpha=0,01$.

^b Różnica istotna przy poziomie istotności $\alpha=0,05$.

Źródło: obliczenia własne autorów

Zwiększenie liczby noży z 2 do 10 spowodowało wzrost mocy z 14,3 do 16,7 kW (rys. 1a), czyli 5-krotne zwiększenie częstotliwości cięcia zwiększyło opory jedynie o 21%.

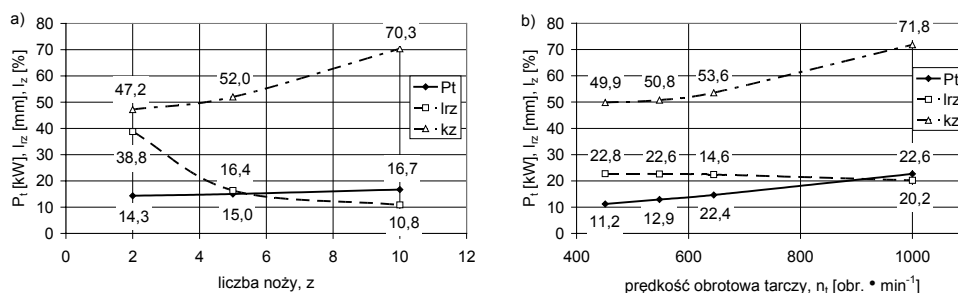
Ale zmianę częstotliwości cięcia można osiągnąć przez zmianę prędkości obrotowej (rys. 2). Zwiększając tę prędkość z 451 do 1000 obr/min, czyli ponad 2-krotnie, zapotrzebowanie na moc zwiększyło się o 100% (rys. 1b), czyli w stosunku do zmiany liczby noży ten przyrost był znacząco większy. Konsekwencją zwiększenia częstotliwości cięcia, przez zwiększenie liczby noży, było ponad 3-krotne zmniejszenie długości siewki i zwiększenie rozdrobnienia ziaren o 23%. Zmiana prędkości obrotowej tarczy spowodowała tylko nieznaczne skrócenie cząstek siewki, a wskaźnik rozdrobnienia ziaren zwiększył się o 22%.

Nasuwa się pytanie: dlaczego są takie różnice?

Niewielka zmiana długości siewki przy zwiększającej się prędkości obrotowej wynikała z pewnej zależności prędkości obrotowej walców wciągająco-zgniatających od prędkości obrotowej tarczy (rys. 3).

Natomiast duży wzrost mocy efektywnej w funkcji prędkości obrotowej był związany z większymi obciążeniami dynamicznymi wirującej masy roślinnej, większymi naciskami

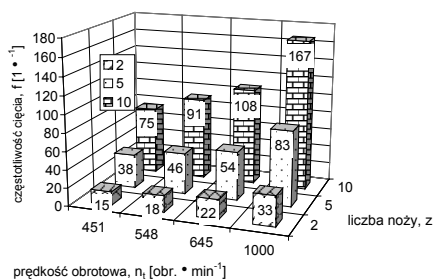
na dno obudowy, które pochodziły od siły odśrodkowej, większym tarcie i większymi oporami wentylacyjnymi tarczy z nożami, gdyż zgodnie z teorią wirników moc jest proporcjonalna do trzeciej potęgi prędkości obrotowej.



Źródło: wyniki własne autorów

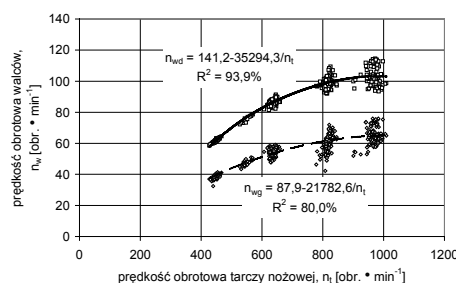
Rys. 1. Charakterystyki efektów pracy toporowego zespołu rozdrabniającego dla: a) liczby noży (z), b) prędkości obrotowej (n_1); gdzie: P_t – zapotrzebowanie na moc efektywną, l_{rz} – rzeczywista długość siewki, k_z – wskaźnik rozdrobnienia ziaren

Fig. 1. The working effects characteristics of the chopping flywheel unit for: a) number of knives (z), b) rotational speed (n_1); where: P_t – requirement on the effective power, l_{rz} – real chaff length, k_z – grain chopping index



Rys. 2. Zależność między częstotliwością cięcia a prędkością obrotową (n_1) i liczbą noży (z)

Fig. 2. Dependence between cut frequency and rotational speed (n_1) and number of knives (z)



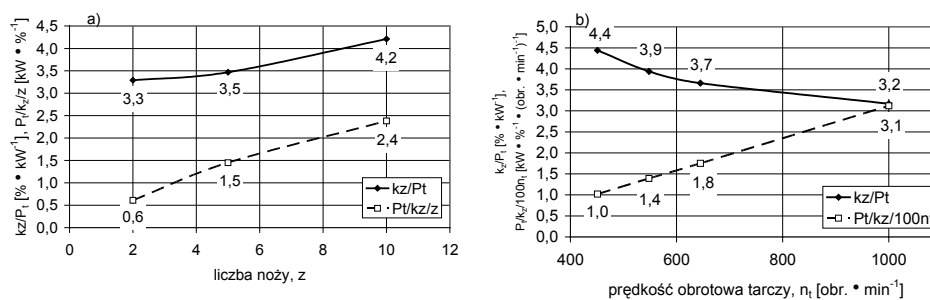
Rys. 3. Zależność między prędkością obrotową walców wciągająco-zgniatających (n_w) a prędkością obrotową tarczy nożowej (n_1)

Fig. 3. Dependence between rotational speed of feed-compaction rollers (n_w) and rotational speed of knife disc (n_1)

O ile moc na cięcie zależała od częstotliwości cięcia, to ilość masy odcinana przez pojedynczy nóż, pracujący przy różnej konfiguracji liczbowej noży, zmieniała się nieliniowo. W przypadku konfiguracji pracy siewkarni z 2 nożami, masa roślin odciętych jednym nożem była bowiem 5 razy większa od masy roślin odcinanych przy konfiguracji z 10 nożami.

Przy zastosowaniu 2 noży wystąpiła większa nierównomierność obciążenia porcjami odciętego materiału roślinnego, który był przeciskany przez szczelinę roboczą między płytką denną a łopatkami rzutnika. Większe cząstki siewki wymagały ponadto dodatkowego zapotrzebowania na moc, aby pokonać zwiększone obciążenie, które było spowodowane rozrywaniem, miażdżeniem i kruszeniem grubszych i dłuższych cząstek roślin kukurydzy. Przy zmniejszonej częstotliwości cięcia, z gardzieli wysuwały się dłuższe odcinki roślin, co mogło również przyczynić się do zwiększenia oporów tarcia czołowej powierzchni kolejno wysuwanej warstwy materiału o powierzchnie tarczy nożowej i noży.

Efektywność rozdrabniania ziarna, obliczona jako stosunek wskaźnika rozdrobnienia do mocy była znacznie większa podczas zmiany częstotliwości cięcia przez zmianę liczby noży niż przez zmianę prędkości obrotowej (rys. 4). Potwierdzeniem tego spostrzeżenia jest jednostkowy wskaźnik efektywności rozdrabniania ziarna, który w przeliczeniu na jeden nóż miał tendencję rosnącą (rys. 4a), a w odniesieniu do 100 obr. \cdot min⁻¹ tarczy nożowej – malejącą (rys. 4b). Przy podwojeniu wartości parametrów, wzrost energochłonności w pierwszym przypadku wynosił 57% (dla 2z), a w drugim – 178% (dla 2n_t).



Źródło: wyniki własne autorów

Rys. 4. Wskaźniki efektywności rozdrabniania w zależności od: a) liczby noży (z), b) prędkości obrotowej tarczy nożowej (n_t); gdzie: k_z/P_t – wskaźnik rozdrobnienia na jednostkę mocy, $P_t/k_z/z$ – jednostkowy wskaźnik efektywności rozdrobnienia przypadający na jeden nóż, $P_t/k_z/100n_t$ – jednostkowy wskaźnik efektywności rozdrobnienia przypadający na 100 obrotów

Fig. 4. Chopping efficiency indexes dependence on: a) number of knives, b) rotational speed of knife disc; where: k_z/P_t – chopping index on power unit, $P_t/k_z/z$ – specific chopping efficiency index in relative to one knife, $P_t/k_z/100n_t$ – specific chopping efficiency index in relative to 100 revolutions

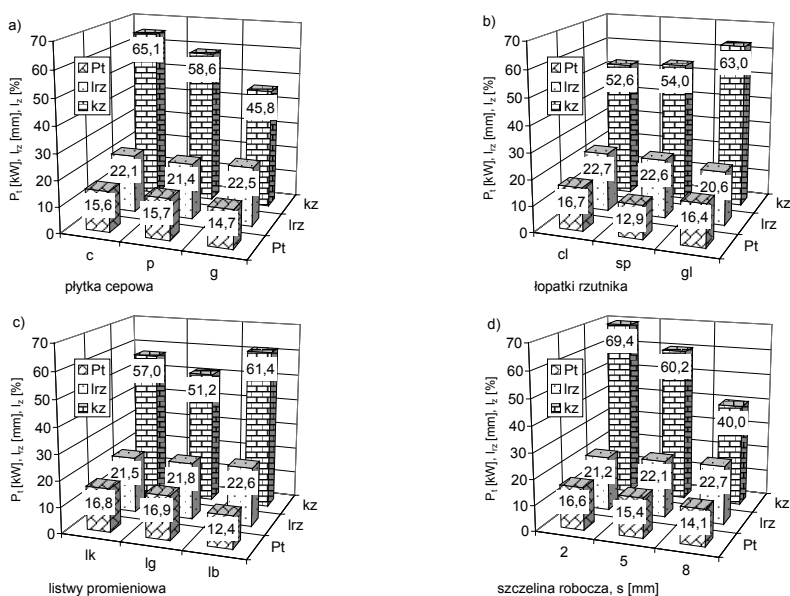
Na podstawie wartości średnich mocy efektywnej można stwierdzić, iż płytki denne z powierzchnią karbowaną, niezależnie od ich konstrukcji w większym stopniu oddziaływały na cząstki w porównaniu z płytką gładką (rys. 5a). Przy porównywalnym obciążeniu energetycznym, wyboru określonego rodzaju płytki można dokonać na podstawie wartości wskaźnik rozdrobnienia ziarna, który dla płytki cepowej okazał się największy (65,1%).

Istotny wpływ na zapotrzebowanie na moc miał rodzaj łopatek rzutnika. Najmniejsze zapotrzebowanie na moc efektywną występowało podczas pracy zespołu z łopatkami o pra-

wostronnym skosie (rys. 5b). Uwzględniając jednak efekty rozdrabniania lepiej jest zastosować rzutnik z ostrą krawędzią roboczą i prostym kątem natarcia niż inne elementy.

Zastosowanie listew promieniowych powodowało większe zapotrzebowanie mocy efektywnej co wskazuje na występowanie wymuszeń od tych elementów (rys. 5c). Zatem korzystniejszym rozwiązaniem jest praca zespołu rozdrabniającego bez listew, również ze względów jakościowych.

Szczelina robocza na wyjściu istotnie determinowała zapotrzebowanie mocy efektywnej i przy najmniejszej szczelinie 2 mm była ona największa (rys. 5d). Zastosowanie szczeliny klinowej, w porównaniu ze szczeliną równomierną o wysokości 8 mm spowodowało wzrost zapotrzebowania na moc o 21%, ale wzrost wskaźnika rozdrabnienia ziaren aż o 72%. Dlatego wskazana jest praca zespołu rozdrabniającego przy mniejszej szczelinie roboczej na wyjściu, gdyż dla tego układu roboczego ziarno kukurydzy jest najlepiej rozdrabniane, miążdżone, rozcierane i zgniatane, a pozostałe cząstki rośliny kukurydzy zmniejszają swoją długość tylko nieznacznie, ulegając przy tym rozwłóknieniu i rozerwaniu, co sprzyja procesom fermentacyjnym podczas zakiszania zielonki.



Źródło: wyniki własne autorów

Rys. 5. Wskaźniki pracy toporowego zespołu rozdrabniającego dla: a) płytek dennych, b) łopatek rzutnika, c) listew promieniowych, d) szczeliny roboczej; gdzie: P_t – zapotrzebowanie na moc efektywną, l_{rz} – rzeczywista długość sieczki, k_z – wskaźnik rozdrabnienia ziaren

Fig. 5. The working indexes of the chopping flywheel unit for: a) bottom plates, b) thrower paddles, c) radial bars, d) working clearance; where: P_t – requirement on the effective power, l_{rz} – real chaff length, k_z – grain chopping index

Wnioski

1. Ze względów energetycznych, korzystniejsza jest zmiana długości sieczki przez zmianę liczby noży niż przez zmianę prędkości obrotowej tarczy nożowej.
2. Redukując częstotliwość cięcia i stosując dodatkowe rozdrabnianie zmniejsza się obciążenia energetyczne zespołu tnącego i poprawia strukturę rozdrobnionej sieczki.
3. Zastosowanie
 - łopatek rzutnika o ostrej krawędzi roboczej i prostym kącie natarcia oraz
 - cepowej płytki dennej, a także ich pozytywne współdziałanie w konfiguracji
 - z najmniejszą szczeliną roboczą w kształcie klina,w stosunku do układów kontrastowych, spowodowało zwiększenie obciążenia energetycznego zespołu roboczego, ale dla tych układów pracy uzyskano najlepsze efekty rozdrabniania ziaren.
4. Ze względów energetycznych praca zespołu bez listew promieniowych okazała się najkorzystniejsza, ale efekty wymuszeń tych elementów nie były jednoznaczne.

Bibliografia

- Čepurnoj A.I., Belov M.I. 2004. Rasčet diskovo izmiel'čajušče-švirajuščego aparata. *Trakt. Selchozmaš.* Nr 11. s. 33-42.
- Kanafojski C. 1980. Teoria i konstrukcja maszyn rolniczych. t. 2. Cz. I. PWRiL Warszawa. s. 548.
- Lisowski A., Klonowski J., Kostyra K., Niewęglowski K., Chlebowski J. 2008a. Wpływ konstrukcji łopatek rzutnika toporowego zespołu tnącego na jakość i energochłonność rozdrabniania roślin kukurydzy. *Inżynieria Rolnicza.* Nr 1 (99). Kraków. s. 231-237.
- Lisowski A., Klonowski J., Kostyra K., Nowakowski T., Sypuła M. 2008b. Wpływ wielkości szczeliny roboczej toporowego zespołu tnącego na jakość i energochłonność rozdrabniania roślin kukurydzy. *Inżynieria Rolnicza.* Nr 1 (99). Kraków. s. 239-244.
- O'Dogherty M.J. 1982. A review of research on forage chopping. *J. Agric. Engng. Res.* No. 27. s. 267-289.
- Niewęglowski K. 2006. Wpływ czynników technicznych i eksploatacyjnych na wskaźniki jakościowe rozdrabniania roślin kukurydzy zbieranych sieczkarnią połową. Praca doktorska. Maszynopis. Warszawa SGGW. ss. 101.
- Savoie P., Tremblay D., Thériault R., Wauthy J.-M., Vigneault C. 1989. Forage chopping energy vs. length of cut. *Trans. Am. Soc. Agric. Engrs.* No. 32(2). s. 437-442.
- Wardecki P. 2006. Wpływ parametrów technicznych i eksploatacyjnych na obciążenia energetyczne toporowego zespołu rozdrabniającego. Praca doktorska. Maszynopis. Warszawa SGGW. ss. 181.
- Zhang M. 2002. Design and evaluation of corn silage-making system with shredding. Praca doktorska w The Pennsylvania State University College of Engineering. s. 198.
- Zhang M., Sword M.L., Buckmaster D.R., Cauffman G.R. 2003. Design and evaluation of a corn silage harvester using shredding and flail cutting. *Trans. Am. Soc. Agric. Engrs.* No. 46(6). s. 1503-1511.

Praca naukowa finansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w latach 2007-2010 jako projekt badawczy N502 006 32/0677

REDUCTION OF CUT FREQUENCY AND USE OF ADDITIONAL CHOPPING DIRECTION TO DECREASING OF ENERGETIC LOADING OF CHOPPING UNIT

Abstract. The aim of this research was to estimate the possibility of reduction energetic loading of flywheel chopping unit used at forage harvester by reduction of cut frequency and use of additional elements that assist in chopping of corn plants. It was found that decreasing cut frequency by decreasing number of knives was more useful advantage than by decreasing rotational speed of knife disc. Reducing of cut frequency and use of assist-chopping elements as bottom beater plate and thrower paddles of plain surface and sharp working edge reached significantly reduction of energetic loading and improved structure of grain breaking-up and other particles of corn plants. To use of working clearance in wedge shape was very good of chopping unit working effect.

Key words: corn, flywheel unit, effective power, cut frequency

Adres do korespondencji:

Aleksander Lisowski; e-mail: aleksander_lisowski@sggw.pl
Katedra Maszyn Rolniczych i Leśnych
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
ul. Nowoursynowska 164
02-787 Warszawa