

Roksana RAMA

## ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE I KONCEPCJA BADAŃ APLIKATORÓW W MASZYNACH ZBIERAJĄCYCH ZIELONKI

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono dostępne na rynku systemy kontroli przepływu masy w maszynach zbierających. Opisano zbudowany sterownik. Przeprowadzono wstępne badania laboratoryjne mające na celu określenie minimalnej dawki preparatu mikrobiologicznego i jej wpływu na stabilność tlenową kiszonek. Przeanalizowano dane z czujników i dopasowano model istotny statystycznie, a zależność danych empirycznych była zgodna z modelem równania regresji.

**Słowa kluczowe:** zbiór zielonki, sterowanie aplikatorami, zakiszanie biomasy

### 1. WSTĘP

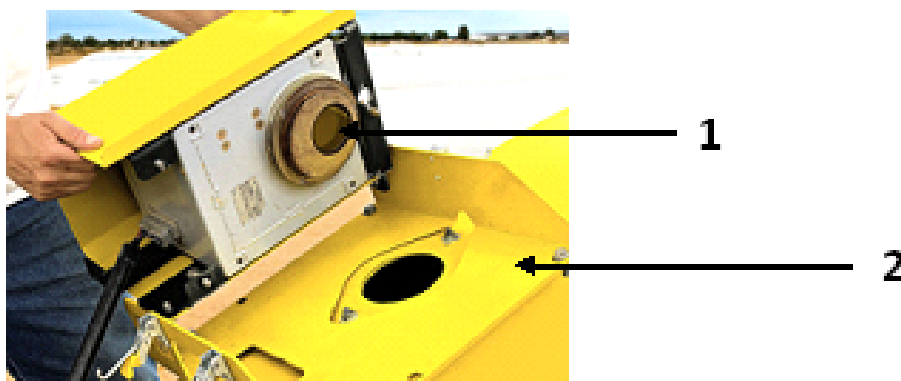
Zbiór zielonek oraz ich zakiszanie jest procesem znanym i odbywającym się już od wielu lat. Niezmiennie są zasady ich przygotowania, natomiast zmieniają się technologie kiszenia oraz wartości pokarmowe i energetyczne użytego materiału. Podczas dokonywania zbioru plonów bardzo ważne jest, aby utrzymać wysoką jakość kiszonek, gdyż błędy popełnione w tej fazie mogą skutkować stratami i uzyskaniem produktu o niskiej jakości w przyszłości. Powszechną metodą konserwacji zielonek przeznaczonych do produkcji paszy, a także tych przeznaczonych na substraty do biogazowni jest fermentacja mlekowa, którą powodują bakterie kwasu mlekowego [5].

W przypadku kiszonek przeznaczonych na cele paszowe, stosowanie dobrze przygotowanych pasz w żywieniu zwierząt podnosi ich produktywność oraz polepsza zdrowotność i dobrostan. Kiszonki przeznaczone jako substraty dla biogazowni rolniczych powinny być bogate w substancje, z których powstaje biometan, który jest głównym składnikiem biogazu i odpowiada za jego wartość opałową [9]. Ich dobra jakość jest ściśle związana z zastosowaniem odpowiednich dodatków, których skuteczność działania zależy od prawidłowego ich rozmieszczenia w masie roślinnej. Złe rozmieszczenie preparatu mikrobiologicznego, może spowodować powstanie ognisk o aktywnej działalności szkodliwych bakterii [1]. Procesy życiowe bakterii powodują zagrzewanie się kiszonek, obniżając jednocześnie ich wartość energetyczną.

## 2. PRZEGLĄD DOSTĘPNYCH ROZWIĄZAŃ

Obecnie na rynku dostępnych jest wiele maszyn do zbioru zielonek dysponujących szeregiem rozwiązań ułatwiających pracę. Systemy te, oparte są na technologii GPS, dzięki pozyskanym informacjom umożliwiają regulację chwilowej wydajności aplikatora konserwantów.

Firma John Deere dysponuje między innymi systemem, który odpowiada za automatyczną regulację długości cięcia oraz satelitarne pozycjonowanie maszyny dzięki odbiornikowi StarFire. Systemem, który w pełni umożliwia regulację ilości dodatków kiszonkarskich jest HarvestLab (rys. 1), który w połączeniu z Harvest Monitor i HarvestDoc tworzą ipakiet.



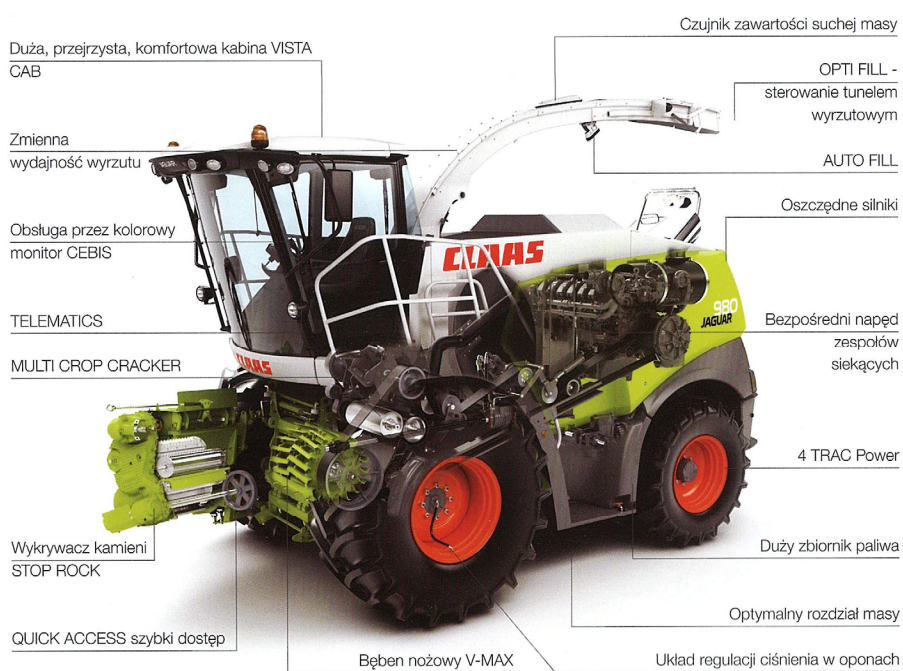
Rys. 1. System HarvestLab: 1 – sensor, 2 – kanał wyrzutowy [3]  
Fig. 1. HarvestLab system: 1 – sensor, 2 – ejection channel [3]

System HarvestLab w czasie rzeczywistym, co kilka sekund mierzy zawartość suchej masy oraz składników pokarmowych w plonie. Dzięki otrzymanym informacjom, operator może szybko reagować, aby uzyskać optymalne zagęszczenie i dobrą jakość zielonki. Gdy w sieczkarni zainstalowany jest odpowiedni aplikator regulujący dawki w trybie on-line, możliwe jest przekazywanie sygnałów, które umożliwią zmianę jego wydajności. W odpowiednim momencie dodaje odpowiednią ilość konserwantu, dzięki analizie zawartości białka, cukrów, skrobi oraz włókna surowego za pomocą czujnika NIR, który podczas analizy, wykorzystuje spektrum o długości fal od 950 do 1530 nanometrów. Zarejestrowane spektrum porównywane jest z wykresami kalibracji, aby określić zawartość składników pokarmowych. Czujnik ten ze względu na układ elektroniczny, nie może być niestety zamontowany na starszych sieczkarniach. Do jego stacjonarnego użycia potrzebny jest laptop oraz umieszczony na rurze wyrzutnika – specjalny adapter [3].

HarvestDoc to system, który zapisuje wszystkie dane wejściowe, tj. wielkość plonu, zawartość suchej masy, długość cięcia, zużycie paliwa, wydajność, zawarte składniki pokarmowe oraz ilość aplikowanego dodatku. Dane te mogą

być później wykorzystane do różnych analiz oraz odwzorowania charakterystyk otrzymanych plonów.

Firma Claas w swoich siewkarniach JAGUAR oferuje trzy pakiety. Pakiet AUTO FILL (rys. 2) automatycznie steruje tunelem wyrzutowym. Za pomocą cyfrowej analizy obrazu 3-D pojazdu jadącego obok jest w stanie ustalić krawędzie zewnętrzne, a także ilość napełnienia pojazdu. Tunel wyrzutowy sterowany jest wzdłużnie i poprzecznie, dlatego optymalnie napełnia pojazd. Pakiet BIOGAZ wyposażony jest w aplikator ACTISILER 20, który dozuje dokładną ilość skoncentrowanego roztworu bakterii kwasu mlekowego, a pokładowy terminal CEBIS steruje dawką i nadzoruje układ.



Rys. 2. Siewkarnia JAGUAR firmy CLAAS [2]  
 Fig. 2. Forage harvester JAGUAR made by CLAAS [2]

W pakiecie BUSINESS znajdziemy system pomiaru wydajności, czyli QUANTIMETER, a także czujnik TM, umożliwiający ciągły pomiar wilgotności [2].

Siewkarnie firmy New Holland dysponują systemem Intellifill, który monitoruje jej napełnianie za pomocą kamery 3D oraz automatycznie wykrywa krawędzie przyczepy. Pozwala załadować pełną przyczepę praktycznie bez strat, a operator w tym czasie może skupić się na przepływie masy roślinnej i zbiorze plonu z pola. New Holland oferuje szereg komponentów systemów automatyzacji obsługi np. odbiornik NH 162, służący do mapowania pól i określania wydajności zbioru. Jest zintegrowany z technologią Autopilot. Oprogramowanie

PLM (ang. *Product Lifecycle Management*), dzięki zastosowanej technologii pomiaru wilgotności pozwala na dokładne dozowanie preparatów chemicznych oraz wszelkiego rodzaju dodatków w czasie rzeczywistym podczas zbioru paszy, belowania lub pracy kombajnu oraz na dokładne obliczenia kosztów suszenia zebranych plonów [7].

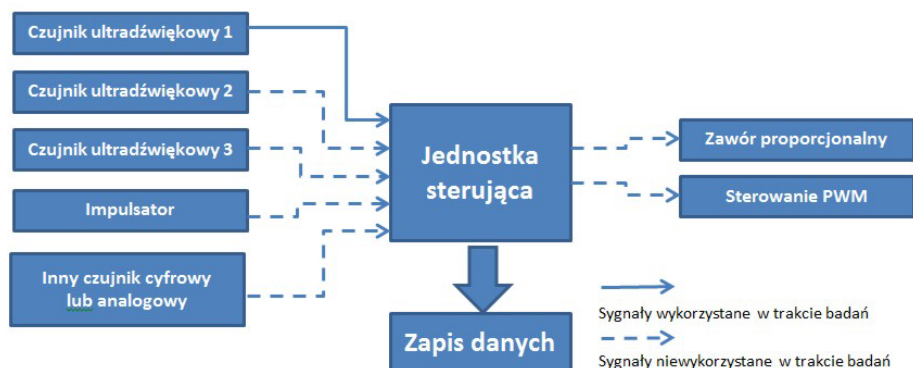
Firma Krone swoje siewczarnie BigX 800K wyposażyla w system, który pozwala obliczyć świeżą i suchą masę, czyli Crop Control. Gromadzi on informacje o plonach i ustala objętość zbioru za pośrednictwem wielkości szczelin dwóch ostatnich walców wstępnego zgniatania. Dane czerpie z czujników wilgotności umieszczonych na grzbiecie kanału wyrzutowego. W ofercie firmy dostępny jest również czujnik AutoScan z możliwością regulowania na podstawie długości siewczki. Bada on dojrzałość zielonej kukurydzy na podstawie barwy na przyrządzie koszącym EasyCollect i pośrednio określa wilgotność zbieranych roślin. W zależności od stopnia dojrzałości roślin czujnik AutoScan zmienia długość siewczki [6].

W pracy przedstawiono mobilny system sterowania procesem aplikacji dodatków do pasz oraz biomasy. Sterowanie odbywać się będzie poprzez kontrolę strumienia masy lub objętości zbieranej paszy, w czasie rzeczywistym. System ma zapewniać także możliwość stosowania go w różnych typach maszyn zbierających.

### **3. BADANIA**

Prowadzone badania dotyczą wpływu zastosowania systemu sterowania wielkością dawki preparatu konserwującego na jakość uzyskiwanych kiszzonek stosowanych przy produkcji biomasy przeznaczonej na cele energetyczne oraz paszowe. Warunkiem prawidłowego działania takich preparatów jest ich dobre wymieszanie ze zbieranym materiałem roślinnym oraz aplikacja odpowiedniej dawki.

W Zakładzie Maszyn Roboczych Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy zbudowano sterownik, składający się z jednostki centralnej wyposażonej w dotykowy wyświetlacz umożliwiający zmianę nastawienia. Sterowanie aplikatorem możliwe jest poprzez zastosowany zawór proporcjonalny dla materiałów ciekłych lub sygnał PWM dla aplikatorów materiałów stałych. Informacje wejściowe pozyskiwane z czujników (ultradźwiękowych) oraz impulsatora umieszczonego na kole jezdnym maszyny zbierającej (rys. 3).



Rys. 3. Schemat blokowy sterownika aplikatora  
 Fig. 3. Block diagram of the driver of the applicator

Sterownik ma być stosowany w maszynach w małych i średnich gospodarstwach. Obecne rozwiązania dedykowane są wyłącznie maszynom o dużej wydajności, czyli sieczkarniom przeznaczonym na duże obszary. Opracowywany sterownik ma być tani, łatwy w obsłudze, ale przede wszystkim mobilny z możliwością zamontowania go na prasach zwijających oraz przyczepach zbierających w polskich gospodarstwach rolniczych.

Do pozyskania wiedzy, która pomoże dopracować metodę aplikacji oraz określić minimalną dawkę preparatu mikrobiologicznego przeprowadzono doświadczenie wstępne na minisilosach.

#### 4. BADANIA LABORATORYJNE

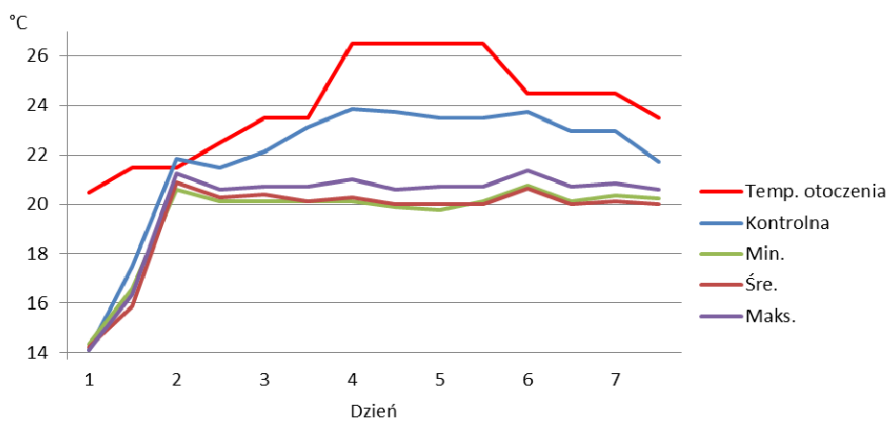
Do przeprowadzenia doświadczenia użyto 18 kg zielonki z lucerny w fazie początku kwitnienia, o wilgotności względnej 45%. Zebraną kiszonkę rozdrabniano za pomocą sieczkarni laboratoryjnej. Teoretyczna długość cięcia uzyskiwana na sieczkarni wynosiła 8 mm. Przygotowano 16 minisilosów wykonanych z PVC o średnicy 15 cm i wysokości 49 cm. Tak przygotowaną zielonkę zakiszono w minisilosach (rys. 4). Dodatek mikrobiologiczny użyty w doświadczeniu zawierał bakterie: *Lactobacillus buchneri*. W doświadczeniu zaplanowano 4 grupy doświadczalne. W pierwszej dodano średnią dawkę (75%) preparatu mikrobiologicznego. W grupie drugiej – minimalną dawkę (50%), grupie trzeciej – maksymalną dawkę (100%). Grupa czwarta stanowiła grupę kontrolną (K), którą zakiszono nie używając żadnego dodatku. Napelnione zbiorniki dokładnie ugnieciono i zamknięto gumowymi korkami. W celu odprowadzenia gazów fermentacyjnych w każdym korku umieszczono plastikową rurkę. Po to, aby zabezpieczyć zbiorniki przed dostępem powietrza, rurki wypełniono wodą. Silosy zważono przed i po napełnieniu lucerną. Czas zakiszania w trakcie trwania doświadczenia to 100 dni. Po tym okresie otworzono minisilosy i kiszonkę, przełożono do styropianowych pojemników w celu zbadania jej

stabilności tlenowej. W pojemnikach umieszczono czujniki temperatury, którą badano dwukrotnie w ciągu doby przez 7 dni.



Rys. 4. Minisilosy – grupa ze średnia dawką  
Fig. 4. Minisilosos – the standard dose group

Na rysunku 5 przedstawiono średnie dobowe temperatury w kiszonkach poddanych ekspozycji tlenowej. Gdy temperatura kiszonek podczas testu przekroczy o 3°C ciepłotę otoczenia, wówczas kiszonki tracą stabilność [8]. W przeprowadzonych badaniach nie odnotowano wzrostu temperatury powyżej tej wartości.



Rys. 5. Stabilność kiszonek podczas ekspozycji tlenowej  
Fig. 5. The stability of silage during oxygen exposure

Wszystkie eksponowane kiszonki były stabilne. Dodatek mikrobiologiczny nie wpłynął na polepszenie ich tlenowej trwałości w porównaniu z kiszonką bez dodatku (K). Jednak temperatura kiszonki kontrolnej (K) podczas trwania testu, była wyższa niż w kiszonkach z dodatkiem mikrobiologicznym.

Jako model zależności stabilności kiszonek podczas ekspozycji tlenowej proponuje się zależność

$$T = a / t + b / t^2 + c \quad (1)$$

gdzie:

T – temperatura kiszonki,

t – bieżący czas kiszenia,

a, b, c – współczynniki zależności (1), które wyznaczono w pracy metodami regresji wieloczynnikowej.

Zależność (1) jest nieliniowa i wybór tego równania był podyktowany analizą danych empirycznych.

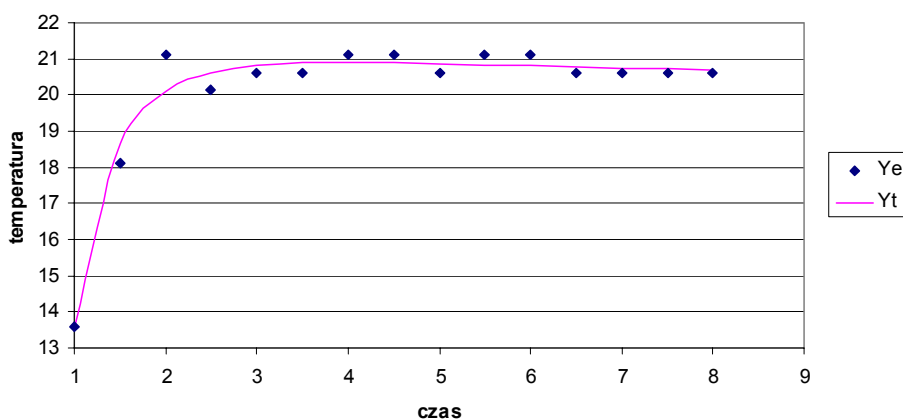
Oblicza się współczynnik korelacji Pearsona R, współczynnik determinacji  $R^2$ , poziom p istotności testu. Wysoka wartość współczynnik determinacji  $R^2$  potwierdza hipotezę, że model jest istotny. Jednak w niektórych przypadkach należy dodatkowo wykonać test adekwatności modelu. Zaproponowany w pracy [4] test adekwatności wymaga powtórzeń pomiarów zmiennej niezależnej przy ustalonych wartościach zmiennych niezależnych. W przypadku braku powtórzeń w pracy [4] zaleca się stosowanie kryterium Wetza. Zgodnie z tym kryterium stwierdza się brak podstaw do odrzucenia hipotezy o adekwatności badanego modelu, jeśli obliczona wartość statystyki F – Snedecora jest przynajmniej czterokrotnie większa od wartości odczytanej z tablic statystycznych. Dla analizowanych danych odczytana przy poziomie istotności  $p = 0,05$ , z tablic  $F_{tab} = 3,885$ .

W tabeli 1 dla każdego silosu podaje się wartość współczynnika korelacji R, współczynnik determinacji  $R^2$ , poziom istotności testu istotności modelu p – value i wartość stosunku statystyki F – Snedecora obliczonej na podstawie danych empirycznych do wartości odczytanej z tablic  $F_{tab} = 3,885$ . Jeśli stosunek ten jest większy od 4, to brak jest podstaw do odrzucenia hipotezy o adekwatności modelu.

Analiza wyników obliczeń zawartych w tabeli 1 prowadzi do wniosku, że wszystkie z 16 analizowanych serii danych reprezentują model istotny statystycznie. Najmniejszy poziom istotności uzyskano dla silosu 16,  $p\text{-value} = 0,0146 < 0,05$ . Jednak analiza adekwatności modelu pokazuje, że model dla danych z silosu -15 ma stosunek  $F_{obl}/F_{tab} = 1,6 < 4$ , co pozwala na odrzucenie hipotezy o adekwatności. Pozostałe silosy mają wartość tego stosunku większą od 4 co pozwala na stwierdzenie, że brak jest podstaw do odrzucenia hipotezy o adekwatności modeli. Przykładowy wykres funkcji regresji o równaniu (1) i punktów pomiarowych dla silosu 16 przedstawiono na rysunku 6.

Tabela 1. Wartości podstawowych statystyk dla 16 realizacji modelu  
 Table 1. The values of basic statistics for the 16 model implementation

	R	R2	F	p-value	Fobl/Ftab
silos-1	0,90	0,81	26,41	4,03E-05	6,8
silos-2	0,90	0,81	25,75	4,55E-05	6,6
silos-3	0,92	0,85	33,00	1,32E-05	8,5
silos-4	0,92	0,85	35,04	9,76E-06	9,0
silos-5	0,93	0,86	35,80	8,75E-06	9,2
silos-6	0,94	0,88	42,41	3,62E-06	10,9
silos-7	0,94	0,88	44,59	2,78E-06	11,5
silos-8	0,96	0,91	63,66	4,08E-07	16,4
silos-9	0,92	0,84	31,22	1,75E-05	8,0
silos-10	0,96	0,91	64,52	3,79E-07	16,6
silos-11	0,94	0,88	40,43	4,65E-06	10,4
silos-12	0,93	0,87	40,87	4,4E-06	10,5
silos-13	0,93	0,87	40,44	4,65E-06	10,4
silos-14	0,98	0,95	123,73	9,79E-09	31,8
silos-15	0,71	0,51	6,13	0,014633	1,6
silos-16	0,98	0,96	147,33	3,59E-09	37,9



Rys. 6. Zależność empiryczna i realizacja równania regresji  
 Fig. 6. Empirical dependence and implementation of the regression equation

## 5. PODSUMOWANIE

Analiza źródeł literaturowych wykazuje, że odpowiednio dobrane preparaty konserwujące zielonkę pozwalają na zmniejszenie start energii w trakcie przechowywania oraz zwiększenie uzysku biogazu.

Przeprowadzone badania dowodzą, że dodatek mikrobiologiczny pozytywnie wpłynę na kiszonkę, gdyż w kiszonkach bez dodatku odnotowano temperaturę wyższą niż w kiszonkach z dodatkiem mikrobiologicznym. Równanie regresji dane wzorem (1) jest dobrym modelem dla opisu stabilności kiszonek podczas ekspozycji tlenowej.



Potrzeba opracowania sterownika uniwersalnego z możliwością automatycznej zmiany dawki w trakcie zbioru dla innych maszyn zbierających, takich jak przyczepy i prasy zbierające jest zasadny, gdyż dostępne na rynku aplikatory są zbyt drogie i przeznaczone tylko dla siewkarni zbierających.

Sterownik powinien być tani i dostępny dla istniejących już i powszechnie stosowanych konstrukcji w małych i średnich polskich gospodarstwach rolniczych.

## LITERATURA

- [1] BOROWSKI S., DOROSZEWSKI P., KASZKOWIAK J., DULCET E., MIKOŁAJCZAK J.: Application of the additives which increase the biogas production in the context of improvement of the biogas production process. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering* 58(2), 2013, 21-24.
- [2] CLAAS. Siekanie się opłaca JAGUAR Claas  
<http://www.claas.pl/blueprint/servlet/blob/189370/0cc3397bcc90811cded84c79e92bff9e/172794-dataRaw.pdf> 11.12.2013.
- [3] DEERE J.: Poznaj inteligentną jakość kiszonki Siewkarnie samojezdne serii 7080 John Deere.  
[http://www.deere.pl/pl\\_PL/docs/product/equipment/self\\_propelled\\_forage\\_harvester/brochure/brochure.html](http://www.deere.pl/pl_PL/docs/product/equipment/self_propelled_forage_harvester/brochure/brochure.html), 11.12.2013.
- [4] DRAPER N.R. and SMITH H.: *Applied Regression Analysis*. John Wiley and Sons, 1998.
- [5] DULCET E., KASZKOWIAK J., BOROWSKI S., MIKOŁAJCZAK J.: Effects of Microbiological Additive on Baled Wet Hay. *Biosystems Engineering* 95(3), 2006, 379-384.
- [6] KRONE  
<http://landmaschinen.krone.de/english/products/ican/ican/the-krone-ican-guide/> 11.12.2013.
- [7] NEW HOLLAND  
[http://agriculture.newholland.com/poland/pl/PLM/Pages/PLM\\_Overview.aspx](http://agriculture.newholland.com/poland/pl/PLM/Pages/PLM_Overview.aspx) 11.12.2013.
- [8] PAHLOW G., WEISSBACH F.: New aspects of evaluation and application of silage additives. Contributions of grassland and forage research to the development of systems of sustainable land use. FAL Braunschweig, Landbauforsch. Völkenrode SH 206, 1999, 141-158.
- [9] WĘGLARZY K., PODKÓWKA W.: *Agrobiogazownia: opracowanie zbiorowe* Grodziec Śląski: Zakład Doświadczalny Instytutu Zootechniki PIB; Balice k. Krakowa: Instytut Zootechniki – Państwowy Instytut Badawczy, 2010, 156.

## CONSTRUCTION AND CONCEPT SOLUTIONS RESEARCH APPLICATORS IN HARVESTING MACHINES OF SILAGE

**Summary:** At the research work presents a commercially available mass flow control systems in harvesting machine. Described constructed driver. Preliminary laboratory tests to determine the minimum dose of microbiological preparation and its impact on aerobic stability of silage. Analyzed data from the sensors and matched model statistically significant and consistent empirical data dependency model equation.

**Key words:** collection of fodder, control applicators, ensiling biomass