

ROBOTYZACJA PAKOWANIA WYBRANYCH OPAKOWAŃ DLA PRODUKTÓW ROLNO-SPOŻYWCZYCH

Stanisław Lis, Marcin Czech, Henryk Juszka, Marcin Tomasiak

Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych, Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie. Przedstawiono zrobotyzowane stanowisko badawcze z chwytakiem podciśnieniowym do analizy procesu pakowania. Wykorzystano dwa rodzaje przyssawek, Piab BX 52P i Piab F50-2. Na podstawie badań dla procesu pakowania kartonowych opakowań zbiorczych ustalono relacje pomiędzy parametrami, tj.: podciśnieniem, prędkością roboczą robota i masą opakowań. Stwierdzono, iż dla procesu pakowania opakowań o masie 0,25 kg właściwe podciśnienie powinno wynosić 0,4 bar, natomiast dla opakowań o masie 0,5 i 1 kg powinno być równe 0,6 bar. Analizowano także wpływ odległości między opakowaniami w położeniu początkowym na przebieg procesu pakowania. W tym przypadku najlepszy rezultat uzyskano stosując odległość równą 15 mm.

Słowa kluczowe: robot przemysłowy, chwytak podciśnieniowy, pakowanie.

Wprowadzenie

Przemysł spożywczy stanowi jedną z najważniejszych i najszybciej rozwijających się dziedzin polskiej gospodarki. Jego udział w całkowitej wartości sprzedaży przemysłu jest znaczący i wynosi blisko 24% (Knap-Stefaniuk, 2010). Przedsiębiorstwa tej branży aby pozostać konkurencyjnymi i utrzymać pozycję na rynku muszą inwestować w nowoczesne technologie – wprowadzać automaty i roboty. Wdrożenie nowoczesnych systemów technicznych, a przez to ograniczenie ingerencji człowieka w proces produkcyjny pozwala na poprawę bezpieczeństwa pracy, obniżenie kosztów oraz zwiększenie wydajności i elastyczności produkcji. Nie bez znaczenia jest również możliwość uzyskania i dotrzymania wysokich standardów jakościowych, trudnych do osiągnięcia przy wykorzystaniu tradycyjnych metod produkcji (Barczyk, 2007; Juszka, 2006). Świadomość złożoności zagadnień towarzyszących wykorzystaniu robotów na linii produkcyjnej przyczyniła się do wyboru przez Autorów jako przedmiotu zainteresowań badawczych problematyki dotyczącej robotyzacji produkcji przemysłu spożywczego. Podjęto badania nad robotyzacją procesu pakowania, bowiem w przemyśle spożywczym konieczność wprowadzenia automatyzacji

i robotyzacji najczęściej dotyczy tego typu czynności. W zrobotyzowanym pakowaniu obok kwestii dotyczących parametrów pakowanych produktów np. jaj, pomidorów, istotnym zagadnieniem dotyczącym robotyzacji tego procesu, które należy uwzględnić planując go, są rodzaje stosowanych opakowań chroniących produkty przed uszkodzeniem. Na rynku dostępnych jest szereg opakowań przeznaczonych dla konkretnego produktu. Przykładowo opakowania, które stosuje się dla pomidorów to najczęściej: skrzynki kartonowe mieszczące 6 kg pomidorów, skrzynki jednowarstwowe (7 kg) lub skrzynki dwuwarstwowe (14 kg) kartonowe z wytłoczkami, skrzynki plastikowe, małe pudełka z twardej folii polietylenowej z wieczkiem mieszczące 250g lub 500g pomidorów oraz tacki obwijane folią do których pakowane jest całe grono pomidorów (Jankowski, 2007; Jarczyk, Płocharski, 2010; Lisińska-Kuśnierz, Ucherek, 2003). Z kolei w przypadku jaj na polskim rynku w większości firm używa się opakowań papierowych, ale także spotykane są plastikowe i styropianowe. Powszechnie wykorzystuje się opakowania jednostkowe na 6, 10 i 30 jaj.

W pracy Autorzy analizowali proces pakowania z zastosowaniem uniwersalnych zbiorczych opakowań kartonowych.

Cel i zakres pracy

Celem pracy była analiza wykorzystania dwóch typów przyssawek chwytaka podciśnieniowego w procesie pakowania kartonowych opakowań zbiorczych dla produktów rolno-spożywczych.

Zakres pracy obejmował:

- analizę procesu pakowania zbiorczych opakowań kartonowych;
- analizę funkcjonalności przyssawek;
- ustalenie podciśnienia i prędkości roboczej dla analizowanego procesu;
- dobór odległości pomiędzy opakowaniami w położeniu początkowym;

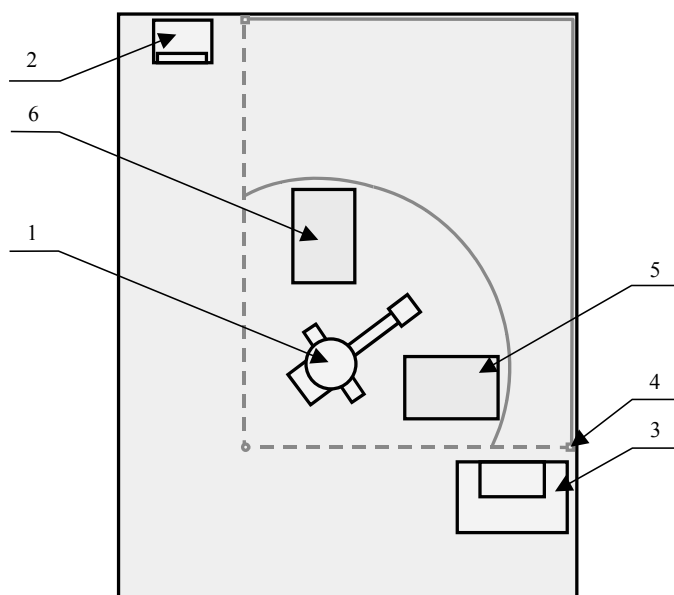
Stanowisko badawcze

Badania przeprowadzono w Laboratorium Robotyzacji Procesów Technologicznych na Wydziale Inżynierii Produkcji i Energetyki UR w Krakowie na stanowisku z robotem przemysłowym FANUC S420i F z kontrolerem R-J2 i sterownikiem PLC firmy HORNER HE-QX351. Schemat stanowiska przedstawiono na rysunku 1 (Juszka i in., 2010).

Maksymalne zakresy ruchu i prędkości robocze osi robota przedstawiono w tabeli 1.

Przenoszone przez robota obiekty podczas badania procesu pakowania układane są na dwóch stołach.

Do kiści manipulatora (oś J6) zamocowany jest chwytak podciśnieniowy wyposażony w 4 przyssawki zasilane podciśnieniem przez eżektory (rys. 2).



Rysunek 1. Schemat ogólny stanowiska badawczego: 1 – manipulator robota FANUC S420i F, 2 – kontroler wraz z podłączonym ręcznym programatorem (Teach Pendant), 3 – panel operatorski ze sterownikiem programowalnym PLC firmy HORNER HE-QX351, 4 – elementy bariery świetlnej, 5 – stół nr 1, 6 – stół nr 2.

Figure 1. General schematic representation of the test rigs: 1– robot manipulator of FANUC S420iF robot, 2 – controller along with connected manual programmer (Teach Pendant), 3 – operator panel with programmable controller PLC HORNER HE-QX351, 4 – light barrier elements, 5 – table 1, 6 – table 2.

Tabela 1

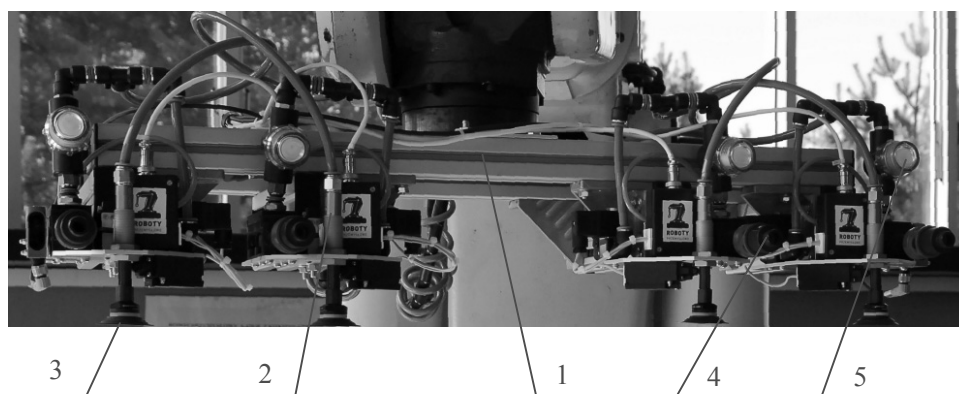
Maksymalne zakresy i prędkości pracy robota FANUC S420i F

Table 1

Maximum scopes and speeds of FANUC S420i F robot work

Oś	Zakres ruchu (°) ((rad))	Maksymalna prędkość (°·s ⁻¹) ((rad·s ⁻¹))
J1	360 (6,28)	100 (1,75)
J2	142 (2,48)	110 (1,92)
J3	135 (2,36)	100 (1,75)
J4	600 (10,47)	210 (3,67)
J5	260 (4,54)	150 (2,62)
J6	720 (12,57)	210 (3,67)

Źródło: Fanuc Ltd 1996



Rysunek 2. Widok ogólny chwytaka podciśnieniowego: 1 – aluminiowy profil, 2 – kompensator poziomy, 3 – przyssawka, 4 – eżektor, 5 – filtr próżni
Figure 2. General view of the negative pressure grip: 1 – aluminium profile, 2 – level compensator, 3 – vacuum cup, 4 – ejector, 5 – vacuum filter

Konstrukcja chwytaka wykonana jest z aluminiowych profili. Od dołu chwytak przed uszkodzeniem, wywołanym kolizją z elementami otoczenia podczas ruchu w płaszczyźnie wertykalnej, zabezpieczony jest przy pomocy kompensatorów poziomych do których zamontowane są 4 przyssawki. Do mocowania przyssawek zastosowano połączenie gwintowe, dzięki temu możliwa jest ich szybka wymiana (jeżeli charakter procesu tego wymaga). Każda przyssawka może być zasilana autonomicznie sterowanym podciśnieniem. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono przyssawki firmy Piab (BX 52P i F50-2) wykorzystywane na stanowisku badawczym.



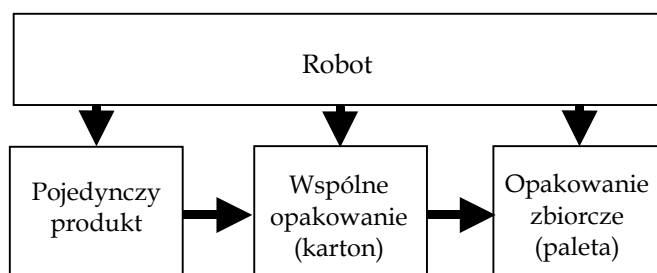
Rysunek 3. Przyssawka Piab BX 52P
Figure 3. Gripper Piab BX 52P



Rysunek 4. Przyssawka Piab F50-2
Figure 4. Vacuum cap Piab F50-2

Przyssawka BX 52P wykonana jest z dwóch rodzajów materiałów o różnej twardości. W jej konstrukcji można wyróżnić miękkie mieszki i elastyczną wargę. Charakteryzuje się ona elastycznością i dobrymi właściwościami uszczelniającymi, co zabezpiecza przed upuszczeniem przenoszonego przedmiotu o nieregularnych kształtach. Druga z przedsta-

wionych przyssawek – F50-2, odznacza się niewielkim ugięciem pionowym mieszka. Ożebrowanie na jej wewnętrznej stronie wargi zapobiega deformacji delikatnych i cienkich obiektów podczas ich przenoszenia. Przyssawka F50-2, to typowa przyssawka przeznaczona do takich aplikacji, jak przenoszenie opakowań kartonowych. Ze względu na jej cechę (duża sztywność) nie można jej jednak wykorzystać do przenoszenia obiektów o nieregularnych kształtach charakterystycznych dla branży rolno-spożywczej. W przypadku drugiej przyssawki (BX 52P) wykorzystanej podczas badań, po analizie jej właściwości mogą powstać wątpliwości co do takiego obszaru jej zastosowania, jak przenoszenie opakowań kartonowych. Zastrzeżenia wynikają z dużej elastyczności tej przyssawki. Elastyczność jest zaletą w przypadku pakowania niewielkich obiektów o nieregularnych kształtach takich, jak jaja czy pomidory (Lis i in., 2012a; Lis i in., 2012b). Uzyskuje się wówczas dzięki tej właściwości dobre przyleganie przyssawki do powierzchni o nieregularnym kształcie i w efekcie szczelność połączenia, co zapobiega odpadnięciu przenoszonego obiektu. Jednak już w przypadku kiedy proces pakowania dotyczy kartonowych opakowań, gdy większego znaczenia nabiera rozmiar i masa przenoszonego obiektu elastyczność przyssawki niekorzystnie wpływa na stabilność przenoszonych detali. Podczas ruchu wskutek działania siły odśrodkowej przenoszony obiekt odchyła się od pionowej osi symetrii przyssawki, co może wywołać kolizję z elementami otoczenia lub spowodować utratę szczelności pomiędzy przyssawką a powierzchnią obiektu i w efekcie wywołać jego odpadnięcie. Mimo wymienionych wątpliwości ze względu na pewną uniwersalność przyssawki BX 52P zdecydowano się na wykorzystanie jej podczas badań. Uniwersalność rozumiana jest jako możliwość wykorzystania przyssawki zarówno do przenoszenia takich obiektów jak jaja czy pomidory a także zbiorczych opakowań kartonowych do których wymienione produkty są wcześniej pakowane. Przyssawka BX 52P spełnia założone kryterium uniwersalności. Jej zastosowanie pozwoliłoby zrealizować przy wykorzystaniu robota większą część etapów procesu pakowania, na który składają się: pakowanie jednostkowe, grupowanie produktów we wspólnym opakowaniu i pakowanie zbiorcze (rys. 5).

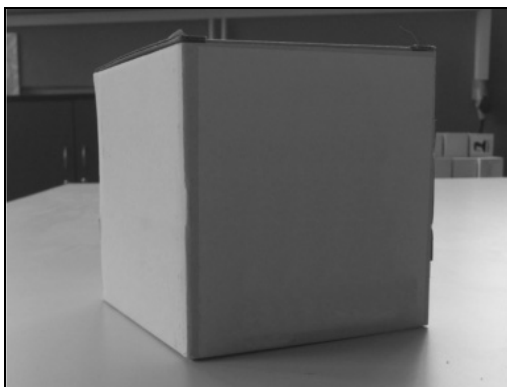


Rysunek 5. Etapy procesu pakowania
 Figure 5. Stages of the packing process

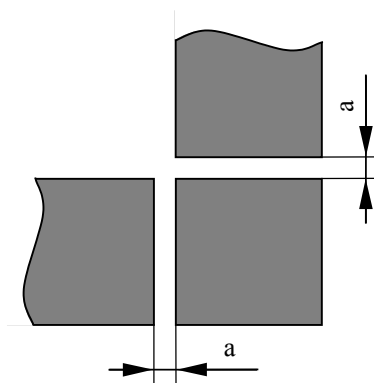
Metodyka badań

Badania dotyczyły procesu pakowania chwytakiem podciśnieniowym odpowiednio obciążonych kartonowych opakowań zbiorczych na wybrane produkty spożywcze (rys. 6).

Wymiary opakowań wynosiły 105 mm x 105 mm x 105 mm a ich masa była równa 0,25 kg; 0,5 kg i 1 kg. Do ważenia opakowań wykorzystano wagę laboratoryjną. Elementy stanowiące obciążenie były wewnątrz opakowań przymocowane dzięki czemu środek ciężkości opakowań podczas przemieszczania chwytakiem nie zmieniał się. Opakowania układano na stole nr 1 w stosie liczącym trzy rzędy, trzy kolumny i trzy warstwy (rys. 1). W położeniu początkowym w kolejnych próbach ustawiano je w odległościach (płaszczyzna pozioma): 5 mm, 10 mm i 15 mm – szczegół „a” na rysunku 7.



Rysunek 6. Kartonowe opakowanie zbiorcze
Figure 6. Cardboard collective packaging



Rysunek 7. Odległości pomiędzy przenoszonymi obiektami – płaszczyzna pozioma
Figure 7. Distances between the relocated objects – horizontal plane

Ze stołu nr 1 opakowania pobierano chwytakiem podciśnieniowym, transportowano i uwalniano (z zachowywaniem odwzorowania stosu jak na stole nr 1) w miejscu docelowym, którym był stół nr 2.

Przyjęta metodyka zakładała ustalenie optymalnego podciśnienia roboczego oraz wpływu na przebieg procesu pakowania: prędkości roboczej chwytaka, masy opakowań i odległości między nimi w położeniu początkowym. Pomiaru wartości podciśnienia dokonano przy pomocy manometru Wika DG-10. Podczas badań zastosowano podciśnienie o wartościach: 0,2; 0,4 i 0,6 bar. Prędkość robocza robota wynosiła 30% i 80%.

Wyniki badań

Analizowane podczas badań parametry: podciśnienie, prędkość robocza, odległość między opakowaniami znajdującymi się w położeniu początkowym oraz masę opakowań zestawiono w tabelach 2, 3, 4. W ostatniej kolumnie (rezultat) zawarto podsumowanie w postaci informacji zerojedynkowej, gdzie: 0 – czynności manipulacyjne zakończyły się niepowodzeniem (opakowanie nie znalazło się w miejscu docelowym), natomiast 1 – czynności manipulacyjne zakończyły się sukcesem (opakowanie znalazło się w miejscu docelowym).

Wyniki badań dla przyssawki Piab F50-2 przy odległościach między opakowaniami w położeniu początkowym wynoszących 5 mm zakończyły się niepowodzeniem (stan 0).

W tabeli 2 zestawiono wyniki badań dla tej przyssawki przy odległościach między opakowaniami w położeniu początkowym wynoszących 10 mm.

Tabela 2

Wyniki badań dla przyssawki Piab F50-2 (odległość między opakowaniami w położeniu początkowym wynosi 10 mm)

Table 2

Test results for Piab F50-2 vacuum cap (distance between packages in the initial location is 10 mm)

Lp.	Podciśnienie (bar)	Prędkość (%)	Odległość (mm)	Masa opakowania (kg)	Rezultat
1				0,25	0
2	0,2	30	10	0,5	0
3				1	0
4				0,25	1
5	0,4	30	10	0,5	1
6				1	0
7				0,25	1
8	0,6	30	10	0,5	1
9				1	1
10				0,25	0
11	0,2	80	10	0,5	0
12				1	0
13				0,25	1
14	0,4	80	10	0,5	0
15				1	0
16				0,25	1
17	0,6	80	10	0,5	0
18				1	0

W tym przypadku wynik pozytywny odnotowano dla opakowań o masie 0,25 i 0,5 kg, przy zastosowanym podciśnieniu 0,4 bar i prędkości roboczej robota 30%. Dla tej samej wartości prędkości przy zwiększeniu podciśnienia do 0,6 bar uzyskano wynik pozytywny, podobnie dla opakowań o masie 1 kg. Po zwiększeniu prędkości robota do 80%, osiągnięcie wyniku pozytywnego dla podciśnień 0,4 i 0,6 bar było możliwe tylko w przypadku opakowań o masie 0,25 kg.

W tabeli 3 zamieszczono wyniki badań dla przyssawki Piab F50-2 dla odległości między opakowaniami w położeniu początkowym wynoszących 15 mm.

Tabela 3

Wyniki badań dla przyssawki Piab F50-2 (odległość między opakowaniami w położeniu początkowym wynosi 15 mm)

Table 3

Test results for Piab F50-2 vacuum cap (distance between packages in the initial location is 15 mm)

Lp.	Podciśnienie (bar)	Prędkość (%)	Odległość (mm)	Masa opakowania (kg)	Rezultat
1				0,25	0
2	0,2	30	15	0,5	0
3				1	0
4				0,25	1
5	0,4	30	15	0,5	1
6				1	0
7				0,25	1
8	0,6	30	15	0,5	1
9				1	1
10				0,25	0
11	0,2	80	15	0,5	0
12				1	0
13				0,25	1
14	0,4	80	15	0,5	0
15				1	0
16				0,25	1
17	0,6	80	15	0,5	1
18				1	1

Wynik pozytywny odnotowano dla opakowań o masie 0,25 i 0,5 kg, podciśnieniu 0,4 bar i prędkości roboczej robota 30%. Przy tej samej wartości prędkości robota i podciśnieniu 0,6 bar uzyskano wynik pozytywny dla opakowań o masie 1 kg. Dla prędkości robota 80%, wynik pozytywny osiągnięto przy podciśnieniu 0,4 bar w przypadku opakowań o masie 0,25 kg. Po zwiększeniu podciśnienia do wartości 0,6 bar proces pakowania przy prędkości robota 80% udało się zrealizować dla opakowań o masie 0,25; 0,5 i 1 kg.

Kolejny etap badań obejmował wykorzystanie przyssawki Piab BX 52P przy odległościach pomiędzy opakowaniami kartonowymi w położeniu początkowym, wynoszącymi 5 i 10 mm. Efekty tych badań były negatywne (stan 0).

Ostatni etap badań dotyczył także przyssawki Piab BX 52P, jednak odległość opakowań w położeniu początkowym wynosiła 15 mm (tab. 4).

Tabela 4

Wyniki badań dla przyssawki Piab BX 52P (odległość między opakowaniami w położeniu początkowym wynosi 15 mm)

Table 4

Test results for Piab BX 52P (distance between packages in the initial location is 15 mm)

Lp.	Podciśnienie (bar)	Prędkość (%)	Odległość (mm)	Masa opakowania (kg)	Rezultat
1				0,25	0
2	0,2	30	15	0,5	0
3				1	0
4				0,25	1
5	0,4	30	15	0,5	1
6				1	0
7				0,25	1
8	0,6	30	15	0,5	1
9				1	1
10				0,25	0
11	0,2	80	15	0,5	0
12				1	0
13				0,25	0
14	0,4	80	15	0,5	0
15				1	0
16				0,25	0
17	0,6	80	15	0,5	0
18				1	0

Jak wynika z powyższej tabeli pozytywny wynik odnotowano dla opakowań o masie 0,25 i 0,5 kg przy zastosowanym podciśnieniu 0,4 bar i prędkości roboczej robota 30%. Dla tej samej wartości prędkości przy zwiększeniu podciśnienia do 0,6 bar uzyskano wynik pozytywny dla opakowań o masie 0,25; 0,5 i 1 kg. Po zwiększeniu prędkości robota do 80% nie uzyskano pozytywnego rezultatu.

Podsumowanie

Podczas badań procesu pakowania kartonowych opakowań zbiorczych przeprowadzono 108 prób badawczych dla których zmieniano parametry procesu. Zastosowano dwa rodzaje przyssawek – Piab F50-2 i BX 52P. Dla przyssawki Piab F50-2, 16 prób zakończyło się powodzeniem – obiekt znajdujący się w położeniu początkowym został pobrany, przetransportowany i uwolniony w miejscu docelowym. W przypadku przyssawki BX 52P, powodzeniem zakończyło się tylko 5 prób. Analizując wyniki badań ze względu na parametry procesu można stwierdzić, iż najlepszy rezultat uzyskano stosując odległość między opakowaniami w położeniu początkowym równą 15 mm. Na podstawie wyników badań można także wywnioskować, iż dla procesu pakowania zbiorczych opakowań kartonowych o masie 0,25 kg właściwe podciśnienie wynosi 0,4 bar. Natomiast dla opakowań o masie 0,5 kg i 1 kg odpowiednie podciśnienie powinno mieć wartość 0,6 bar.

Literatura

- Barczyk, J. (2007). Robotyzacja w przemyśle spożywczym. *Pomiary Automatyka Robotyka*, 1, 16-20.
- Fanuc, Ltd. (1996). Dokumentacja techniczna robota FANUC S420i F, R-J2 Controller.
- Jankowski, S. (2007). *Opakowania transportowe*. WNT, Warszawa, ISBN 978-83-204-3235-0.
- Jarczyk, A.; Płocharski, W. (2010). *Technologia produktów owocowych i warzywnych*. Skierniewice, Wyd. Wyższej Szkoły Ekonomiczno-Humanistycznej, ISBN 978-83-61179-08-05.
- Juszka, H. (2006). *Automatyzacja i robotyzacja w inżynierii rolniczej*. Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, Kraków, ISBN 83-917053-3-1.
- Juszka, H.; Tomasik, M.; Kapłon, T.; Lis, S. (2010). Robotyzacja wkracza na nasz Uniwersytet. *Biuletyn Informacyjny*, 2 (64), 38-39.
- Knap-Stefaniuk, A. (2010). Zarządzanie Zmianami. *Biuletyn POU*, 5(39), ISSN 1897-3329.
- Lis, S.; Czech, M.; Juszka, H.; Tomasik, M. (2012a). Robotics in the process of packing greenhouse tomatoes, *Inżynieria Rolnicza, Z. 4(140) T.2*, s. 71-77.
- Lis, S.; Czech, M.; Juszka, H.; Tomasik, M. (2012b). Zastosowanie chwytaka podciśnieniowego do jednostkowego pakowania jaj. Opracowania monograficzne pod redakcją naukową prof. dra hab. inż. Wacława Romaniuka. *Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem struktury obszarowej gospodarstw rodzinnych, ochrony środowiska i standardów UE*, Warszawa, s. 83-87.
- Lisińska-Kuśnierz, M.; Ucherek, M. (2003). *Współczesne opakowania*. Kraków, Wyd. Naukowe PTTŻ, ISBN 83-89-541-02-5.

ROBOTIZATION OF PACKING THE SELECTED PACKAGES FOR AGRI-FOOD PRODUCTS

Abstract. A robotic test rig with vacuum gripper for analysis of the packing process was presented. Two types of vacuum cups were used, Piab BX 52P and Piab F50-2. Based on the research for the packing process of cardboard packages, relations between parameters were determined, i.e. negative pressure, working speed of a robot and weight of packages. It was determined that for the process of packing 0.25 kg packages, a proper negative pressure should be 0.4 bar, whereas for 0.5 and 1 kg packages should be equal to 0.6 bar. The maximum working speed of a robot, which ensured proper execution of the packing process was 80%. Moreover, impact of the distance between packages in the initial location on the course of packing process was analysed. In this case, the best results were obtained with the use of 15 mm distance.

Key words: Industrial robot, negative pressure grip, packing.

Adres do korespondencji:

Stanisław Lis; e-mail: Stanislaw.Lis@ur.krakow.pl
Katedra Energetyki i Automatykacji Procesów Rolniczych
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie
ul. Balicka 116B
30-149 Kraków