

THE SIMULATION RESEARCH OF KINEMATIC BEHAVIOR OF VIRTUAL MODEL OF CORE-CUTTING MACHINE FOR PEPPER PROCESSING

Summary

The article presents a kinematic analysis of core-cutting machine, included in technological line for pepper processing. The research was performed by use of virtual model within the scope of kinematics behaviour, in order to determine machine parameters during operation in time function. The research allowed also to define displacement of particular assemblies or detect and eliminate collisions of elements and operation assemblies.

Key words: pepper, processing, core-cutting machine, virtual model, kinematic analysis, simulation research

SYMULACYJNE BADANIA ZACHOWAŃ KINEMATYCZNYCH WIRTUALNEGO MODELU AUTOMATU WYDRAŻAJĄCO-TNĄCEGO DO OBRÓBKİ PAPRYKI

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę kinematyki automatu wydrążająco-tnącego, wchodzącego w skład linii technologicznej do obróbki papryki. Badania przeprowadzono na modelu wirtualnym w zakresie zachowań kinematycznych, w celu ustalenia parametrów pracy automatu w funkcji czasu. Badania symulacyjne pozwoliły także na określenie przemieszczeń poszczególnych mechanizmów oraz na wykrycie lub wykluczenie kolizji elementów i zespołów roboczych.

Słowa kluczowe: papryka, obróbka, automat wydrążająco-tnący, model wirtualny, analiza kinematyki, badania symulacyjne

1. Wprowadzenie

Na rynku maszyn spożywczych dostępne są różnego typu urządzenia służące do obróbki papryki, jednak zakres realizowanych procesów obróbczych uniemożliwia przeprowadzenie całego procesu technologicznego - począwszy od dostarczenia surowca do strefy obróbki a kończąc na uzyskaniu gotowego produktu - przy wykorzystaniu jednej maszyny. Konstrukcję automatu wydrążająco-tnącego o zwiększonym zakresie realizacji procesów obróbczych zaprojektowała firma J.A.M Inox Produkt. Automat ten, wchodzący w skład linii technologicznej do obróbki papryki umożliwia przeprowadzenie takich procesów jak: wydrążanie rdzenia papryki w części szypułkowej "ogonka", usunięcie ziaren oraz pokrojenie papryki na 2, 4 lub 8 części, w zależności od zapotrzebowania [6].

Jednakże automat ten musi charakteryzować się właściwościami kinematycznymi, umożliwiającymi niezawodne i wydajne funkcjonowanie. W Przemysłowym Instytucie Maszyn Rolniczych przeprowadzono więc analizy symulacyjne w zakresie zachowań kinematycznych, w celu ustale-

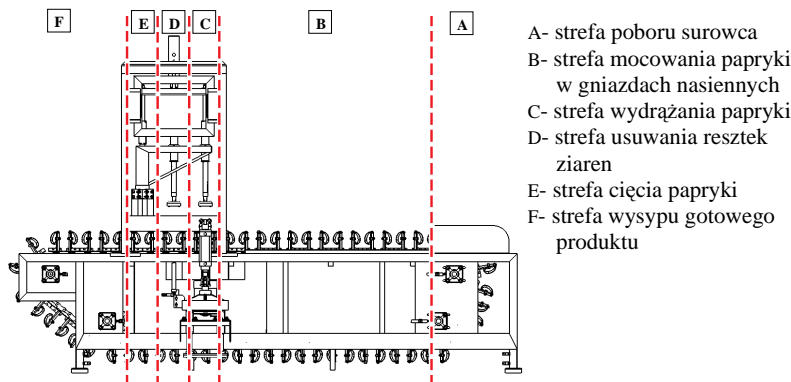
nia parametrów pracy automatu w funkcji czasu. Badania symulacyjne na tym etapie pozwoliły także stwierdzić występowanie ewentualnych kolizji elementów i zespołów roboczych.

2. Obiekt badawczy

Rys. 1 przedstawia automat wydrążająco-tnący do obróbki papryki z podziałem na strefy robocze.

Automat wyposażony jest w trzy główne mechanizmy biorące udział w realizacji ruchów kinematycznych (rys. 2):

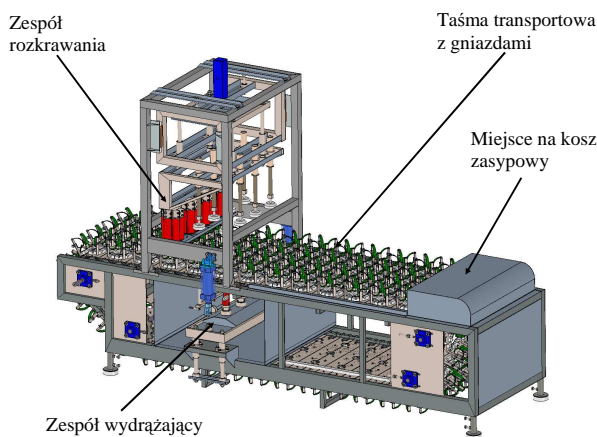
- taśma transportowa - służy do przemieszczania papryki pomiędzy poszczególnymi procesami obróbki i jest napędzana silnikiem elektrycznym przy wykorzystaniu przekładni łańcuchowej,
- zespół rozkrawania - pełni zarówno funkcję zespołu dociskającego surowiec, jak i zespołu rozkrawającego (rys. 3a). Rama stała i rama pośrednia nie zmieniają położenia podczas realizacji cyklu roboczego. Rama suwliwa jest przemieszczana pionowo po prowadnicach za pomocą siło-



Rys. 1. Automat wydrążająco-tnący do obróbki papryki: podział na strefy
Fig. 1. The core-cutting machine for pepper processing: area division

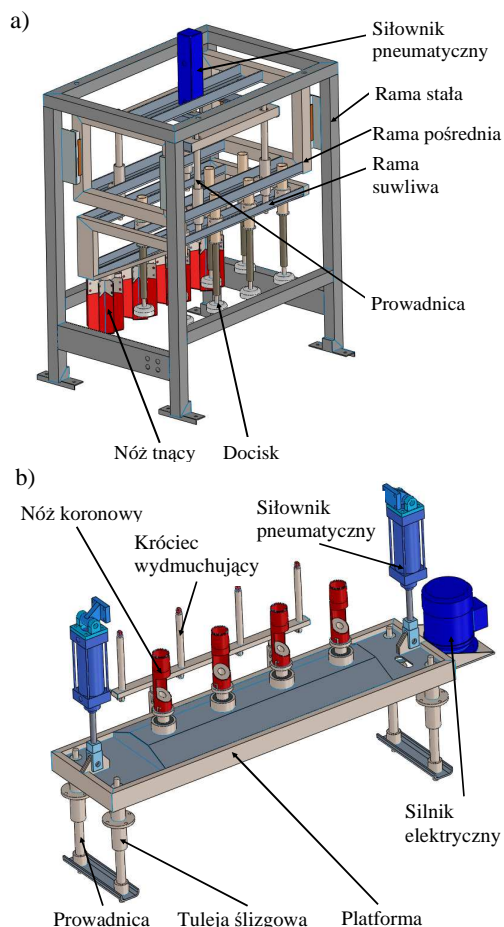
wnika pneumatycznego. Dociski są wyposażone w sprężyny umożliwiające dostosowanie się docisku do papryk różnej wysokości,

- zespół wydrążający - składa się z platformy, w której umieszczone są współpracujące ze sobą koła zębate z nożami koronowymi (rys. 3b). Napęd obrotowy noży jest realizowany za pomocą silnika elektrycznego, przy wykorzystaniu przekładni pasowej. Cała platforma z układem napędowym noży jest przemieszczana pionowo na prowadnicach w tulejach ślizgowych.



Rys. 2. Automat wydrążająco-tnący do obróbki papryki: główne zespoły

Fig. 2. The core-cutting machine for pepper processing: main assemblies



Rys. 3. Zespoły automatu wydrążająco-tnącego: a) zespół rozkrawiania, b) zespół wydrążający

Fig. 3. The assemblies of core-cutting machine: a) cutting assembly, b) core assembly

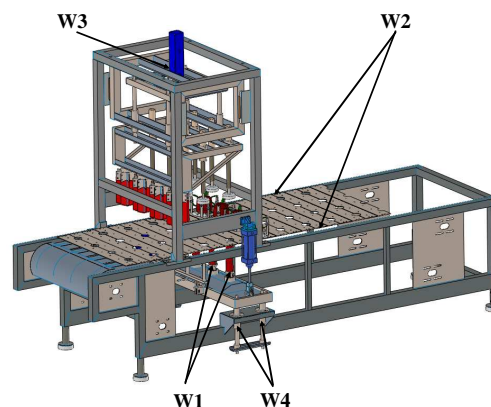
3. Budowa modelu symulacyjnego

Na potrzeby symulacji zbudowano uproszczony model kinematyczny [3, 4]. W skład całego modelu kinematycznego wchodzi następujące zespoły z elementami:

- konstrukcja nośna, stanowiąca obiekt osadzenia zespołów ruchomych,
- taśma transportowa z czterema parami gniazd,
- zespół rozkrawiania z czterema nożami tnącymi i ośmioma dociskami,
- zespół wydrążający zawierający platformę i cztery noże koronowe.

Wzajemne położenie poszczególnych zespołów modelu obliczeniowego zostało ustalone przy wykorzystaniu następujących wiązań kinematycznych (rys. 4):

- W1 - wiązanie "Koncentryczne", umożliwiające realizację ruchu obrotowego noży koronowych,
- W2 - wiązanie "Ścieżka", umożliwiające realizację ruchu po wyznaczonej ścieżce,
- W3 - wiązanie "Koncentryczne", umożliwiające realizację ruchu zespołu rozkrawiania z tłoczyskiem siłownika,
- W4 - wiązanie "Koncentryczne", umożliwiające realizację ruchu zespołu wydrążającego po prowadnicach.



Rys. 4. Wiązania kinematyczne modelu obliczeniowego

Fig. 4. Kinematic binding of simulation model

Symulację przeprowadzono w programie Solid Works, wykorzystując moduł obliczeniowy "Badanie ruchu". Dokonując ustawień początkowych dla celów realizacji analizy konieczne było oszacowanie czasu trwania jednego cyklu roboczego, na który składają się następujące etapy:

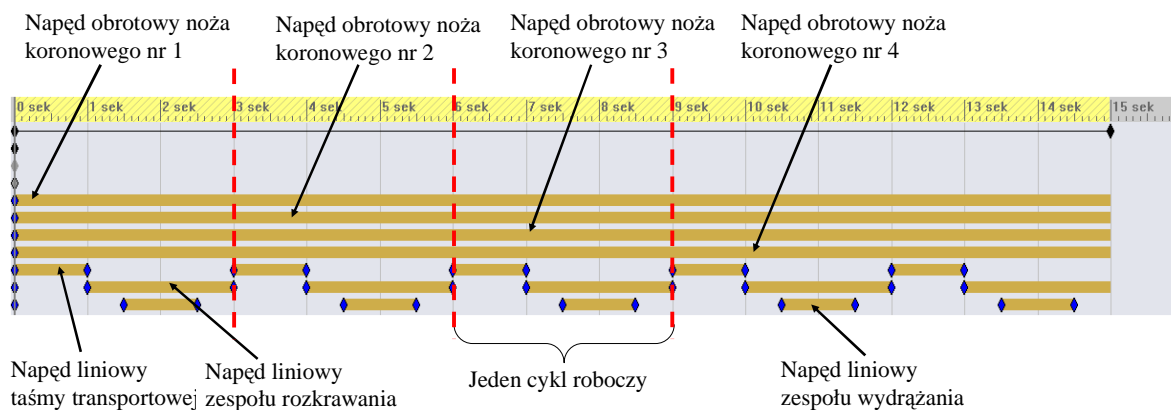
- poziome przemieszczenie papryk na taśmie transportowej do strefy wydrążania,
- pionowe przemieszczenie zespołu rozkrawiania dla celów stabilizacji położenia papryk dociskami,
- pionowe przemieszczenie zespołu wydrążającego w celu wydrążenia papryk i jego ruch powrotny,
- pionowy ruch powrotny zespołu rozkrawiania do pozycji wyjściowej.

Wartości przemieszczeń w jednym cyklu roboczym dla poszczególnych ruchów mechanizmów wynoszą:

- ruch taśmy: 200 mm,
- ruch zespołu rozkrawiania: 160 mm (bez ruchu powrotnego),
- ruch zespołu wydrążającego: 100 mm (bez ruchu powrotnego).

Uwzględniając powyższe dane założono:

- czas trwania jednego cyklu roboczego 3 s, biorąc pod uwagę możliwości manualne personelu umieszczającego papryki w gniazdach,



Rys. 5. Histogram analizy kinematyki automatu wydrążająco-tnącego
 Fig. 5. The histogram of kinematics analysis of core-cutting machine

- maksymalna prędkość przesuwu taśmy transportowej $200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$,
 - prędkość obrotowa noży koronowych $345 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$.
- Na rys. 5 przedstawiono histogram przebiegu analizy kinematyki automatu wydrążająco-tnącego.

Ruch taśmy transportowej odbywa się w ciągu pierwszej sekundy symulacji. Po upływie 1 s zaczyna się ruch zespołu rozkrawania i po upływie 1,5 s całej analizy zespół ten zatrzymuje się dociskając paprykę dociskami. Postój trwa 1 s. W czasie tego postoju pracę realizuje zespół wydrążający, wykonując ruch posuwisto-zwrotny, a po upływie 2,5 s całej symulacji następuje powrót zespołu rozkrawania do pozycji wyjściowej. Po upływie 3 s kończy się pierwszy cykl roboczy i następuje powtórzenie wszystkich operacji.

Wyniki symulacji przedstawiono w formie wykresów przemieszczeń i uzyskiwanych prędkości dla:

- ruchu obrotowego noży koronowych,
- ruchu posuwistego taśmy transportowej,
- ruchu posuwisto-zwrotnego zespołu rozkrawania,
- ruchu posuwisto-zwrotnego zespołu wydrążającego.

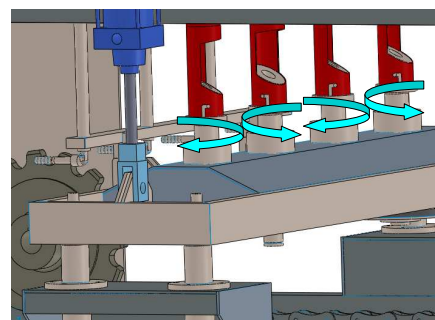
Uzyskane wykresy są charakterystykami liniowymi, przyspieszenie $a = 0$.

Dodatkowo zwrócono uwagę na to, czy występuje kolizja pomiędzy poszczególnymi elementami mechanizmów wykonującymi swoje funkcje.

4. Wyniki symulacji i ich dyskusja

4.1. Wyniki dla ruchu obrotowego noży koronowych

Na rys. 6 przedstawiono etap obrotu noży koronowych podczas analizy kinematyki. Analiza ta nie wykazała kolizji pomiędzy poszczególnymi elementami realizującymi ruch obrotowy.



Rys. 6. Etap obrotu noży koronowych podczas analizy kinematyki

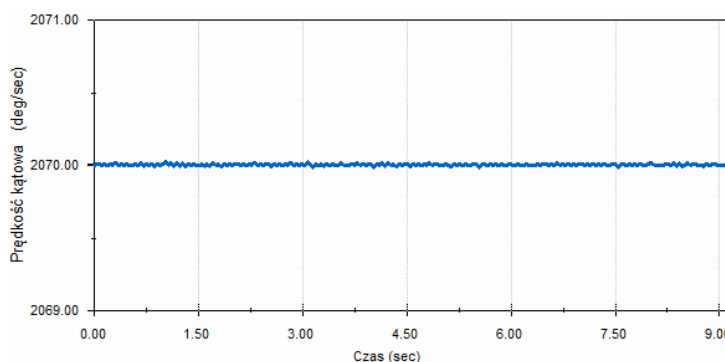
Fig. 6. The stage of rotation of crown knives during kinematics analysis

Dla przyjętej prędkości obrotowej każdego noża koronowego ($345 \text{ obr} \cdot \text{min}^{-1}$) prędkość kątowna wynosi ok. $2070 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$. Wykres przedstawiający rozkład prędkości kątownej w funkcji czasu przedstawiono na rys. 7.

4.2. Wyniki dla ruchu posuwistego taśmy transportowej

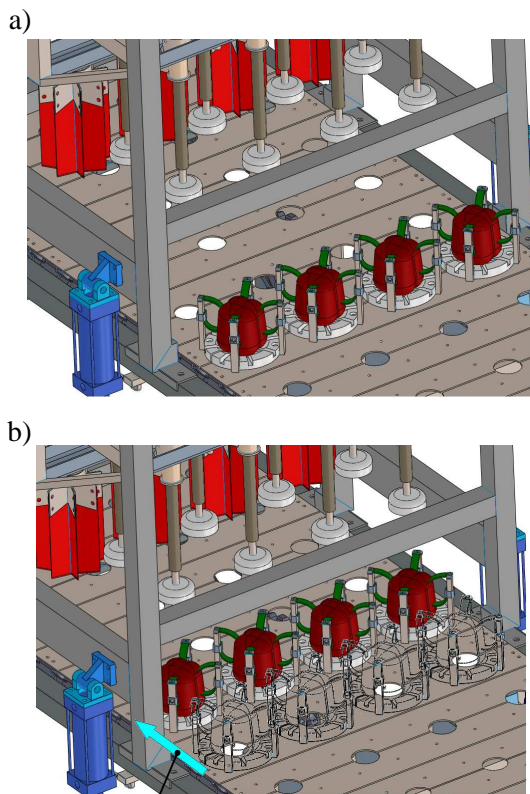
Na rys. 8 przedstawiono położenie początkowe i położenie końcowe taśmy transportowej z gniazdami podczas analizy kinematyki dla jednego cyklu roboczego. Analiza kinematyki nie wykazała wzajemnej kolizji poszczególnych elementów taśmy transportowej.

Na rys. 9a przedstawiono wykres przemieszczenia taśmy transportowej w funkcji czasu. Wykres ten pokazuje przebytą drogę metodą przyrostową, czyli taśma osiągała odległości odpowiednio 200, 400, 600 mm, itd., od pozycji wyjściowej. Każdy przyrost przemieszczenia wynosił 200 mm w czasie 1 s ruchu.



Rys. 7. Wykres prędkości kątownej noży koronowych w funkcji czasu

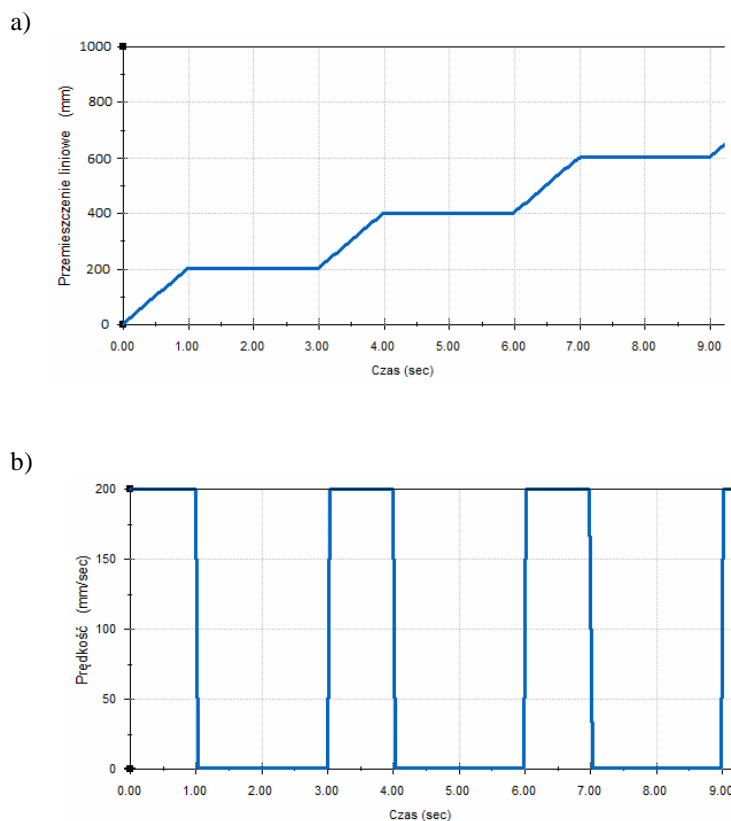
Fig. 7. The chart of angular velocity of crown knives in time function



Ruch posuwisty: 200 mm

Rys. 8. Pozycje taśmy transportowej podczas analizy kinematyki: a) położenie początkowe, b) położenie końcowe
 Fig. 8. The positions of conveyor belt during kinematics analysis: a) initial position, b) final position

Na rys. 9b przedstawiono wykres prędkości taśmy transportowej w funkcji czasu. Wartość prędkości wynosi



Rys. 9. Wykres przemieszczenia i prędkości taśmy transportowej w funkcji czasu: a) przemieszczenie, b) prędkość
 Fig. 9. The chart of displacement and velocity of conveyor belt in time function: a) displacement, b) velocity

200 mm·s⁻¹ a po upływie 1 s symulacji następuje postój taśmy przez 2 s.

4.3. Wyniki dla ruchu posuwisto-zwrotnego zespołu rozkrwania

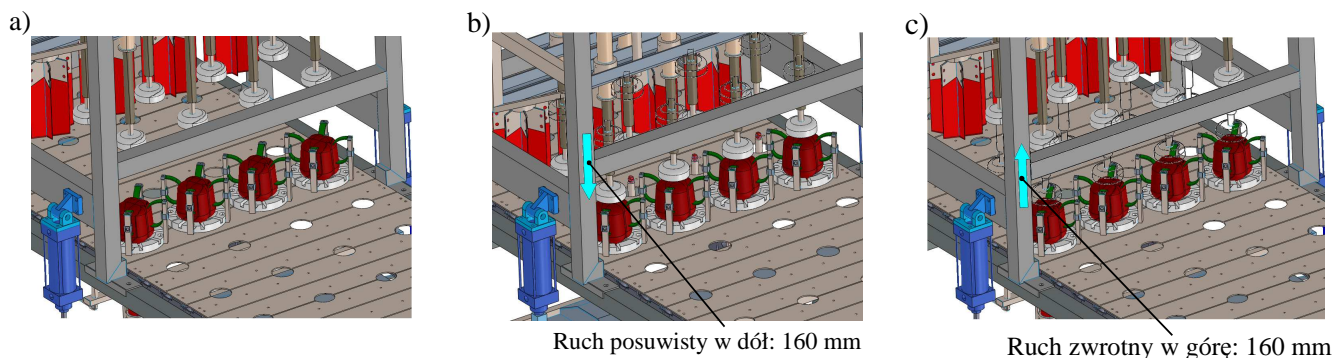
Na rys. 10 przedstawiono położenie początkowe zespołu rozkrwania, położenie w etapie docisku papryk dociskami i położenie końcowe po powrocie mechanizmu do pozycji wyjściowej. Analiza kinematyki nie wykazała wzajemnej kolizji poszczególnych elementów zespołu rozkrwania z taśmą transportową.

Na rys. 11a przedstawiono wykres przemieszczenia zespołu rozkrwania w funkcji czasu. Ruch zaczyna się dopiero po pierwszej sekundzie trwania symulacji a wartość przemieszczenia wynosi 160 mm. Po upływie 1,5 s symulacji następuje postój na 1 s, po czym zespół rozkrwania powraca do pozycji wyjściowej. Po trzeciej sekundzie symulacji następuje cykliczne powtórzenie operacji.

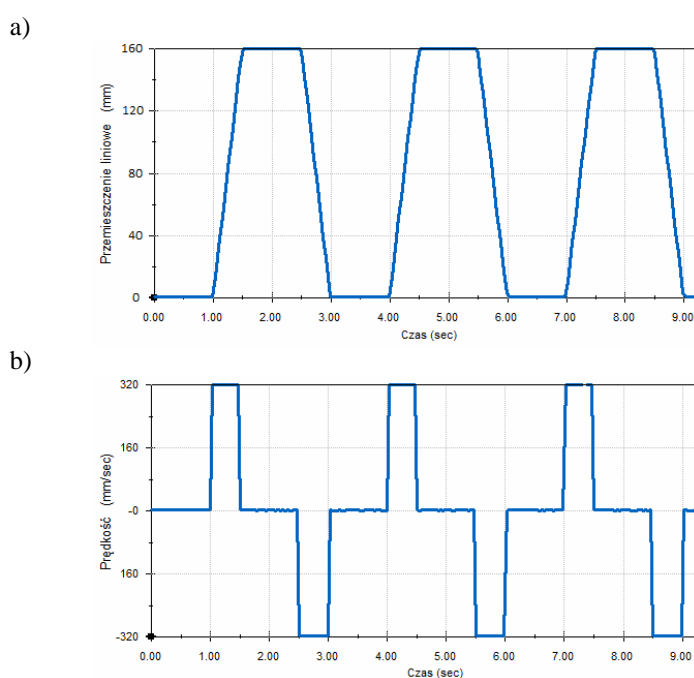
Na rys. 11b przedstawiono wykres prędkości zespołu rozkrwania w funkcji czasu. Prędkość ta wynosi 320 mm·s⁻¹, lecz ujemna wartość prędkości jest spowodowana powrotem zespołu rozkrwania do pozycji początkowej.

4.4. Wyniki dla ruchu posuwisto-zwrotnego zespołu wydrążającego

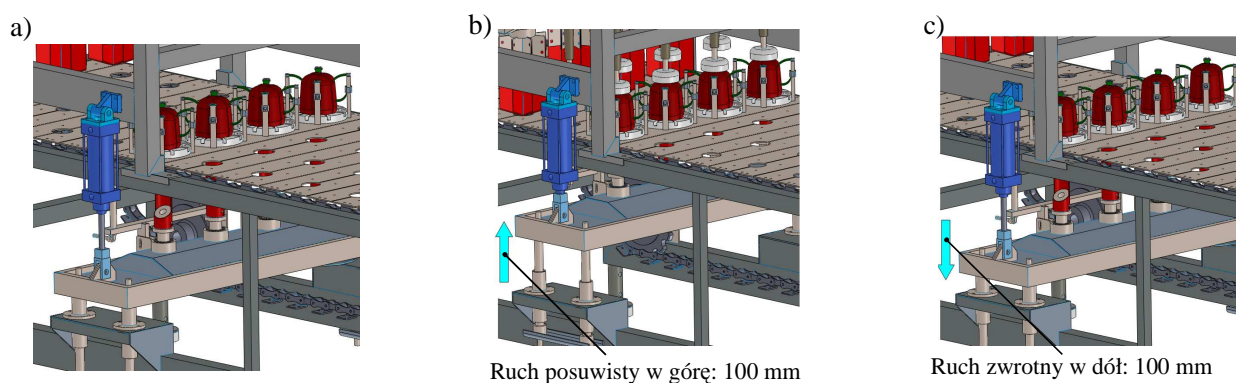
Na rys. 12 przedstawiono położenie początkowe mechanizmu, położenie w etapie wydrążania papryk i położenie końcowe po powrocie zespołu do pozycji wyjściowej. Analiza kinematyki nie wykazała wzajemnej kolizji poszczególnych elementów zespołu wydrążania z taśmą transportową.



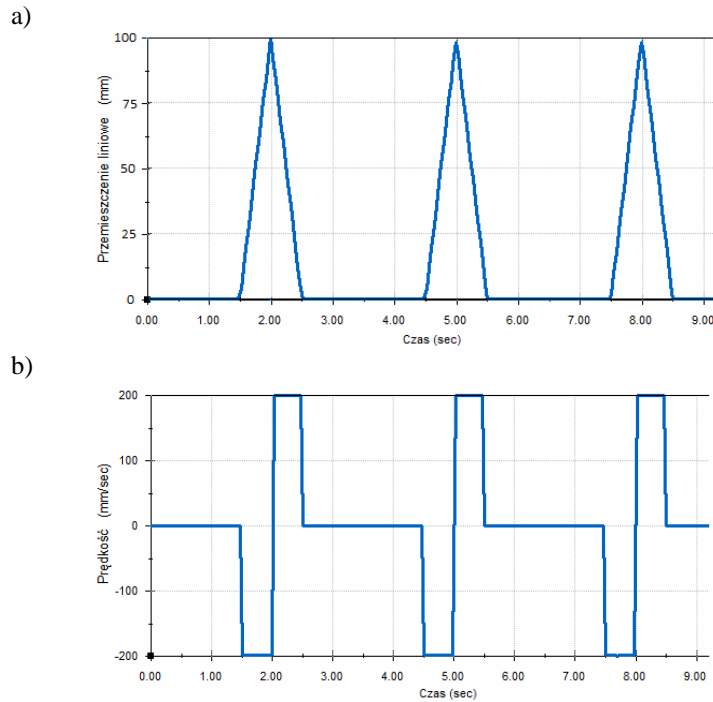
Rys. 10. Pozycje zespołu rozkrawania podczas analizy kinematyki: a) położenie początkowe, b) etap dociśnięcia papryk, c) położenie końcowe
 Fig. 10. The positions of cutting assembly during kinematics analysis: a) initial position, b) clamping stage of peppers, c) final position



Rys. 11. Wykres przemieszczenia i prędkości zespołu rozkrawania w funkcji czasu: a) przemieszczenie, b) prędkość
 Fig. 11. The chart of displacement and velocity of cutting assembly in time function: a) displacement, b) velocity



Rys. 12. Pozycje zespołu wydrążającego podczas analizy kinematyki: a) położenie początkowe, b) etap wydrążania papryk, c) położenie końcowe
 Fig. 12. The positions of core assembly during kinematics analysis: a) initial position, b) core stage of peppers, c) final position



Rys. 13. Wykres przemieszczenia i prędkości zespołu wydrążającego w funkcji czasu: a) przemieszczenie, b) prędkość
 Fig. 13. The chart of displacement and velocity of core assembly in time function: a) displacement, b) velocity

Na rys. 13a przedstawiono wykres przemieszczenia zespołu wydrążającego w funkcji czasu. Ruch tego zespołu odbywa się w ciągu jednej sekundy i przemieszcza się o wartość 100 mm ruchem posuwisto-zwrotnym. Czas postoju przed rozpoczęciem kolejnego ruchu wynosi 2 s.

Na rys. 13b przedstawiono wykres prędkości zespołu wydrążającego w funkcji czasu. Prędkość dla tego ruchu wynosi $200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$.

5. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych analiz kinematycznych ustalono, że nie występuje kolizja pomiędzy poszczególnymi zespołami. Przy założeniu czasu trwania jednego cyklu roboczego (3 s) i założonej prędkości taśmy transportowej ($200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$), prędkość liniowa zespołu rozkrawania wynosi $320 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, natomiast prędkość liniowa zespołu wydrążającego wynosi $200 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$. Uzyskane wartości prędkości liniowych poszczególnych zespołów roboczych są wartościami największymi, przy których personel obsługujący jest jeszcze w stanie umieścić papryki w gniazdach taśmy transportowej; po zatrzymaniu się taśmy jedna osoba ma 2 s na umieszczenie przynajmniej dwóch papryk w gniazdach.

6. Bibliografia

- [1] Gronowicz A.: Podstawy analizy układów kinematycznych. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2003.
- [2] Pawłowski T., Szczepaniak J.: Współczesna metodyka projektowania i weryfikacji konstrukcji maszyn rolniczych. Inżynieria Rolnicza, 2005, nr 14 (74), s. 267-276.
- [3] Rutkowski J., Szczepaniak J.: Modelowanie węzłów kinematycznych w wytrzymałościowej analizie dynamicznej konstrukcji wybranej maszyny rolniczej. Journal of Research and Application in Agricultural Engineering, 2003, vol. 48 (4), s. 60-64.
- [4] Szczepaniak J., Grzechowiak R., Wietrzyk M.: Modelowanie zachowań kinematyczno- dynamicznych wału Campbella zawieszanego na przednim TUZ ciągnika. Journal of Research and Application in Agricultural Engineering, 2004, vol. 49 (1), s. 8-15.
- [5] Szczepaniak J., Pawłowski T.: Modelowanie komputerowe i badania symulacyjne modeli maszyn rolniczych na przykładzie wału wahadłowego. Inżynieria Rolnicza, 2005, nr 7 (67), s. 313-321.
- [6] Zalewski J.: Analiza wielowariantowości modeli i wybór ich optymalnych charakterystyk funkcjonalnych i technologicznych automatu wydrążająco-tnącego przy założeniu jego kompatybilności z linią technologiczną. Opracowanie i wdrożenie do produkcji automatu wydrążająco-tnącego wchodzącego w skład linii technologicznej do obróbki papryki, J.A.M Inox Produkt, BS-13, 2012. Praca dofinansowana w ramach projektu wdrożeniowego.