

Andrzej GRABOŚ
Marek BORYGA
Grzegorz BARTNIK

BADANIA SYMULACYJNE MIESZADŁA Z PRZEKŁADNIĄ PLANETARNĄ – CZ. II

THE SIMULATIVE TESTS OF PLANETARY-MOTION PADDLE – PART II

W pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych ruchu mieszadła napędzanego przekładnią planetarną oraz podwójną przekładnią planetarną. Zmodyfikowano istniejące rozwiązanie konstrukcyjne tak, aby wyeliminować niepożądany efekt zalegania niewymieszanej masy w rejonie ścianek pojemnika. Przedstawiono istniejące oraz zmodyfikowane rozwiązanie konstrukcyjne mieszadła, tory ruchu łopatek oraz prędkości liniowe łopatek w funkcji położenia.

Słowa kluczowe: mieszadło, konstrukcja, tor ruchu łopatek, przekładnia planetarna, badania symulacyjne, prędkości liniowe

The work presents the results of the simulative tests of paddle motion with planetary paddle drive and double planetary gear. The existing structure solution was modified to eliminate an undesirable effect of not mixed mass deposit near the container walls. There are presented the existing and modified mixer construction solutions, paths of blade motion as well as linear velocities in the function of a position.

Keywords: mixer, structure, blade motion path, simulative tests, linear velocities, planetary gear,

1. Wprowadzenie

W pierwszym etapie badań autorzy dokonali modyfikacji istniejącego rozwiązania konstrukcyjnego polegającej na zmianie liczby zębów satelity, która doprowadziła do sześciokrotnego zmniejszenia ilości masy zalegającej w pobliżu ścianek naczynia. Osiągnięte rezultaty były wprawdzie zadowalające jednakże nie doprowadziły do całkowitego wyeliminowania efektu zalegania masy. Stąd też, podjęto kolejną próbę modyfikacji konstrukcji mieszadła polegającą na wprowadzeniu koła pośredniego pomiędzy satelitą a kołem centralnym o uzębieniu wewnętrznym. W wyniku wprowadzonej modyfikacji następuje zmiana kierunku obrotów a w konsekwencji zmiana toru ruchu i zwiększenie prędkości bezwzględnej

1. Introduction

In the first stage of testing, the authors have modified the existing structure solution consisting in a change of satellite teeth number that resulted in the sixfold reduction of mass volume deposited near the container walls. Although the obtained results proved to be satisfying, they did not allow to eliminate fully the effect of mass deposit. Hence, another attempt was made to modify the mixer construction, so the third wheel was introduced between the satellite and the internal central gear. Due to this modification, a change in a direction of rotations occurred and as a consequence, a change of the motion path as well as increase of mixers safety speed. Thus the effect of

mieszadeł. Jednocześnie zostaje wyeliminowany efekt zalegania masy w otoczeniu ścianek naczynia.

2. Cel i zakres pracy

Celem pracy jest modyfikacja konstrukcyjna mieszadła, w wyniku której wyeliminowany został efekt zalegania masy przy ściankach naczynia. Jednocześnie zmiana ta miała na celu istotne skrócenie czasu mieszania poprzez zwiększenie prędkości liniowych mieszadeł, przy niezmienionej prędkości kątowej jarzma.

W pracy przedstawiono istniejące oraz zmodyfikowane rozwiązanie konstrukcyjne wraz z torami łopatek, które wyznaczono na podstawie równań opisujących ich położenie w funkcji kąta obrotu jarzma θ . Prędkości liniowe końca łopatek wyznaczono poprzez różniczkowanie względem czasu równań położenia i przedstawiono w postaci wykresów trójwymiarowych.

3. Metodyka

W pierwotnym układzie napędowym moment obrotowy był przekazywany na mieszadła poprzez przekładnię planetarną z dwoma satelitami (rys. 1a). Kierunek obrotu kół przekazujących napęd bezpośrednio na mieszadła nie dawał możliwości uzyskania trajektorii ruchu krawędzi zewnętrznej mieszadła pozwalającej na uniknięcie zjawiska zalegania mieszanej masy na ściankach naczynia. Należało zatem wybrać taki wariant konstrukcyjny, który pozwoliłby na uzyskanie korzystniejszych trajektorii ruchu przy jak najmniejszych kosztach modyfikacji mechanizmu napędowego.

mass deposit in the vicinity of container walls was eliminated.

2. Work objective and scope

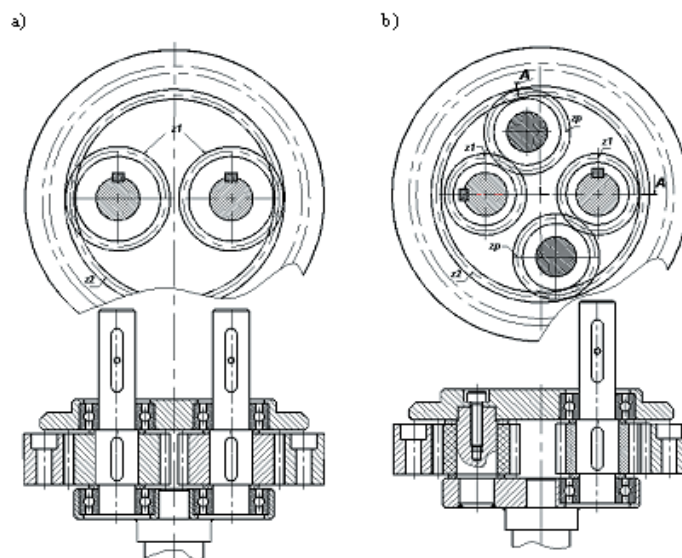
The aim of the present paper was the modification of the mixer structure that facilitated the elimination of mass deposit at the container walls. At the same time this change allowed to shorten significantly the mixing time through an increase of linear velocities of the mixers at the same planetary cage angular velocity.

The paper presents the existing and modified structure solutions along with paddle paths that were determined on the basis of the equations depicting their position in the function of the planetary cage angular velocity θ . The linear velocities of the blade ends were established through differentiation in relation to the position equation time and presented as three-dimensional diagrams.

3. Methods

In the primary driving gear system the torque was transmitted to the mixers through the planetary gear with two satellites (Fig. 1a). The rotation direction of the wheels transmitting power directly onto the mixers did not allow to obtain a motion trajectory of the mixer external edge that could eliminate the effect of the mixed mass deposit on the container walls. Therefore such a structure solution should be chosen so that more efficient motion trajectory could be obtained at the lowest cost of the driving gear modification.

Finally, a construction variant was selected consisting in the introduction of additional third wheels



Rys. 1. Rysunek napędu mieszadła dla rozwiązania: a) pierwotnego, b) zmodyfikowanego
Fig. 1. Diagram of mixer driving gear for a) primary, b) modified solution

Wybrana została wersja rozwiązania polegająca na wprowadzeniu do przekładni planetarnej dodatkowych kół pośrednich, które spowodują odwrócenie kierunku obrotów mieszadła (rys. 1b).

W przypadku zastosowania takiego rozwiązania zmodyfikowana zostaje tarcza górna i tarcza dolna mechanizmu napędowego oraz zostają wprowadzone dodatkowe koła pośrednie, ułożyskowane w łożyskach ślizgowych. Ze względu na trudności w smarowaniu przekładni (względny higieniczny) koła pośrednie zaprojektowane zostały jako teflonowe. Z pierwotnego rozwiązania konstrukcyjnego zachowany został wieniec i cały układ przekazania napędu od silnika do jarzma, elementami dodatkowymi są: koła zębate pośrednie i osie kół pośrednich.

Współrzędne końca łopatki wyznaczono na podstawie równań rzutów na osie nieruchomego układu współrzędnych:

$$x = l_1 \cos \theta + l_2 \cos\left(\frac{\theta}{i_p}\right) \quad (1)$$

$$y = l_1 \sin \theta + l_2 \sin\left(\frac{\theta}{i_p}\right) \quad (2)$$

gdzie: l_1 – promień jarzma, l_2 – promień łopatki, i_p – przełożenie przekładni planetarnej, θ – kąt obrotu jarzma.

Przełożenie przekładni w rozwiązaniu pierwotnym wynosi

$$i_p = \frac{z_1}{z_1 - |z_2|} \quad (3)$$

gdzie: z_1 – liczba zębów satelity, z_2 – liczba zębów koła centralnego o uzębieniu wewnętrznym.

W przypadku rozwiązania zmodyfikowanego, w którym pomiędzy koło o zazębieniu wewnętrznym a satelitę wprowadzono koło pośrednie przełożenie wynosi

$$i_p = \frac{z_1}{z_1 + |z_2|} \quad (4)$$

Rozpatrywana możliwa liczba zębów satelity wahała się w granicach $z_1 = 17 \div 22$, co podyktowane było z jednej strony uniknięciem korekcji kół zębatach, z drugiej zaś możliwością umieszczenia koła pośredniego. Założono, że liczba zębów koła centralnego o uzębieniu wewnętrznym z_2 nie ulegnie zmianie w stosunku do rozwiązania pierwotnego co zapobiega nadmiernej ingerencji w istniejącą konstrukcję mieszadła. Liczbę zębów koła pośredniego, niemającego wpływu na wartość przełożenia, przyjęto arbitralnie.

Na podstawie równań (1) i (2) wyznaczono toru ruchu końca łopatki. Dla rozwiązania pierwotnego liczby zębów kół i przełożenie wynosiły odpowiednio $z_1 = 22, z_2 = 48, i_p = -0,8462$. W przypadku rozwiązania

to the planetary gear that impose a reversal direction of the mixer rotation (Fig. 1b).

Fig. 1. Diagram of mixer driving gear for a) primary, b) modified solution

In this solution, the top and bottom crown driving gears are modified and some additional third wheels are applied in the slide bearings. Owing to some hardship in the planetary gear lubrication (the hygiene aspects), the third wheels were designed as Teflon. From the primary solution the rim was maintained and the whole system of power transmission from the engine to the planetary cage, while the third wheels and third wheel axes are the additional elements.

The paddle end coordinates were determined on the grounds of equations of projections on the stationary co-ordinate system:

$$x = l_1 \cos \theta + l_2 \cos\left(\frac{\theta}{i_p}\right) \quad (1)$$

$$y = l_1 \sin \theta + l_2 \sin\left(\frac{\theta}{i_p}\right) \quad (2)$$

where: l_1 – planetary cage radius, l_2 – paddle radius, i_p – epicyclic ratio, θ – planetary cage rotation angle.

Transmission gear in the primary solution is

$$i_p = \frac{z_1}{z_1 - |z_2|} \quad (3)$$

where: z_1 – satellite teeth number, z_2 – teeth number of internal central gear.

As for the modified solution at which between the internal gear and satellite there was applied the third wheel, transmission ratio is

$$i_p = \frac{z_1}{z_1 + |z_2|} \quad (4)$$

A considered possible number of satellite teeth ranged within $z_1 = 17 \div 22$ to avoid gears correction on the one hand and a possibility of third wheel application on the other. It was assumed that teeth number of internal central gear z_2 did not change in relation to the primary solution that prevents some redundant interference into the existing mixer construction. A number of third wheel teeth that does not affect the transmission value was assumed arbitrarily.

On the grounds of two equations (1) and (2) the paths of blade end motion were fixed. For the primary solution the gear teeth number and transmission ratio were $z_1 = 22, z_2 = 48, i_p = -0.8462$ respectively, whereas for the modified solution, the best regarding the mix efficiency and

zmodyfikowanego, jako najkorzystniejsze z punktu widzenia efektu mieszania oraz możliwości umieszczenia kół zębatach w przekładni, przyjęto $z_1 = 17$, $z_p = 18$, $z_2 = 48$, $i_p = -0,2515$.

W celu określenia składowych prędkości końca łopatki zróżniczkowano względem czasu równania położeń (1) i (2)

$$V_x = -\omega[l_1 \sin \theta + \frac{l_2}{i_p} \sin(\frac{\theta}{i_p})] \quad (5)$$

$$V_y = \omega[l_1 \cos \theta + \frac{l_2}{i_p} \cos(\frac{\theta}{i_p})] \quad (6)$$

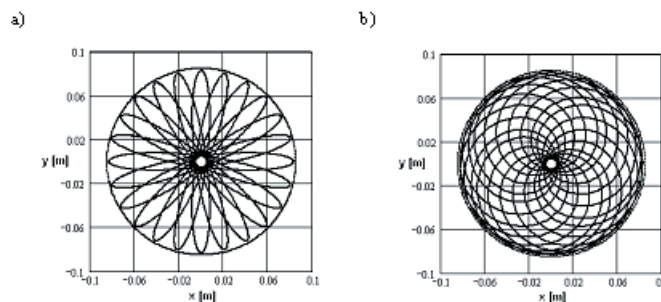
Prędkość wypadkową obliczono z zależności

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (7)$$

4. Wyniki badań i ich analiza

W celu wyznaczenia torów ruchu końca łopatki przeprowadzono komputerową symulację ruchu w programie Mathcad 2001 Professional .

Na rys. 2 przedstawiono torzy ruchu końca łopatki dla rozwiązania pierwotnego i zmodyfikowanego. Należy zaznaczyć, że w przypadku rozwiązania pierwotnego (rys.2a) w kolejnych cyklach zakreślane są te same torzy ruchu końca łopatki co oznacza, że wykreślony torzy ruchu jest niezależny od liczby obrotów wykonanych przez jarzmo. W przypadku rozwiązania zmodyfikowanego przedstawiono torzy ruchu zaledwie dla sześciu obrotów jarzma (rys.2b). Po wykonaniu kolejnych obrotów przez jarzmo koniec łopatki nie porusza się po tych samych torach i w konsekwencji dociera do wszystkich możliwych wewnętrznych punktów naczynia.



Rys. 2. Torzy ruchu końca łopatki dla rozwiązania: a) pierwotnego, b) zmodyfikowanego
Fig. 2. Motion path of blade end for a) primary and b) modified solution

Wykorzystując pakiet Statistica 5.5A sporządzono, dla rozwiązania pierwotnego i zmodyfikowanego, przestrzenne wykresy zmian prędkości składowych i wypadkowej wzdłuż wybranego, charakterystycznego fragmentu torzy ruchu końca łopatki. W przypadku rozwiązania pierwotnego wybrano fragment torzy od punktu styku końca łopatki ze ścianką naczynia P_j

possibility of gears assemble in transmission gear, the following were assumed $z_1 = 17$, $z_p = 18$, $z_2 = 48$, $i_p = -0,2515$.

To define the velocity components of paddle end, the position equations (1) and (2) were differentiated in relation to time

$$V_x = -\omega[l_1 \sin \theta + \frac{l_2}{i_p} \sin(\frac{\theta}{i_p})] \quad (5)$$

$$V_y = \omega[l_1 \cos \theta + \frac{l_2}{i_p} \cos(\frac{\theta}{i_p})] \quad (6)$$

Resultant velocity was computed from a dependence

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (7)$$

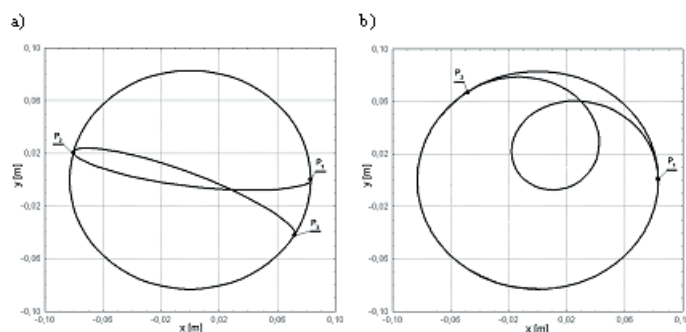
4. Tests results and their analysis

In order to determine the blade end paths, the computer motion simulation was performed in the program Mathcad 2001 Professional.

Figure 2 presents the paddle end paths for both, primary and modified solution. It should be noted that in the case of the former (Fig.2a) in the subsequent cycles the same blade end paths are reported, so a motion path drawn does not depend on number of rotations made by the planetary cage. Whereas, for the modified solution, a motion path was given only for six cage rotations (Fig.2b). It was recorded that after the next cage rotations the paddle end did not move along the same paths and, as result, it reaches all the internal points of the container.

Using the program Statistica 5.5, for the primary and modified solutions there were elaborated the space diagrams of changes of component and resultant velocities along a chosen characteristic fragment of a paddle end motion path. In the case of the primary solution it was a fragment of path starting from a blade end contact point with a P_j container wall up to the

do dwóch kolejnych punktów styku – P_2 i P_3 (rys.3a). Dla rozwiązania zmodyfikowanego wybrano fragment toru pomiędzy dwoma kolejnymi punktami styku – P_1 i P_2 (rys.3b). Zarówno w jednym jak i drugim przypadku wybrane fragmenty są cyklicznie powtarzane, a początek toru ruchu znajduje się w punkcie P_1 o współrzędnych $(l_1+l_2,0)$.



Rys. 3. Wybrane fragmenty torów ruchu końca łopatkii dla rozwiązania: a) pierwotnego, b) zmodyfikowanego
 Fig. 3. Some fragments of blade end motion paths for a) primary and b) modified solution

Dla właściwego odczytania wartości prędkości składowych należy zwrócić uwagę na położenie płaszczyzny, dla której prędkość wynosi zero. Nie należy odczytywać wartości prędkości korzystając z linii rzutu na tor ruchu końca łopatkii.

Przedstawione wykresy prędkości składowych są reprezentatywne dla wybranego fragmentu toru ruchu przedstawionego na rys.3, zaś wykresy wypadkowe dla wybranego i wszystkich kolejnych.

W przypadku rozwiązania pierwotnego największa prędkość liniowa końca łopatkii występuje w okolicy środka naczynia i wynosi około $V_{max} = 0,09$ m/s, najmniejsza zaś przy ścianie naczynia i wynosi $V_{min} = 0,01$ m/s. Prędkość składowa, dla analizowanego fragmentu toru, w kierunku osi x zawiera się w przedziale $V_x = -0,090 \div 0,084$ m/s, natomiast w kierunku osi y w przedziale $V_y = -0,039 \div 0,022$ m/s.

W zmodyfikowanym rozwiązaniu konstrukcyjnym zaobserwowano istotny wzrost prędkości liniowej końca łopatkii. Największa prędkość wypadkowa występuje, w przeciwieństwie do rozwiązania pierwotnego, przy ścianie naczynia i wynosi około $V_{max} = 0,2$ m/s. Jest to wartość ponad dwukrotnie większa od prędkości maksymalnej w rozwiązaniu pierwotnym.

Najmniejszą prędkość liniową końca łopatkii dla rozwiązania zmodyfikowanego $V_{min} = 0,13$ m/s zarejestrowano w okolicach środka naczynia. Jest ona ponad dziesięciokrotnie większa od najmniejszej i jednocześnie większa od maksymalnej prędkości liniowej łopatkii z rozwiązania pierwotnego. Prędkość składowa, dla analizowanego fragmentu toru, w kierunku osi x zawiera się w przedziale $V_x = -0,203 \div 0,131$ m/s, natomiast w kierunku osi y w przedziale $V_y = -0,142 \div 0,207$ m/s.

two successive contact points – P_2 and P_3 (Fig.3a). While for the modified solution, a fragment of the path between the two consecutive contact points – P_1 and P_2 (Fig.3b). In both cases the chosen fragments are repeated in cycles and the motion path begins at point P_1 of the $(l_1+l_2,0)$ co-ordinates.

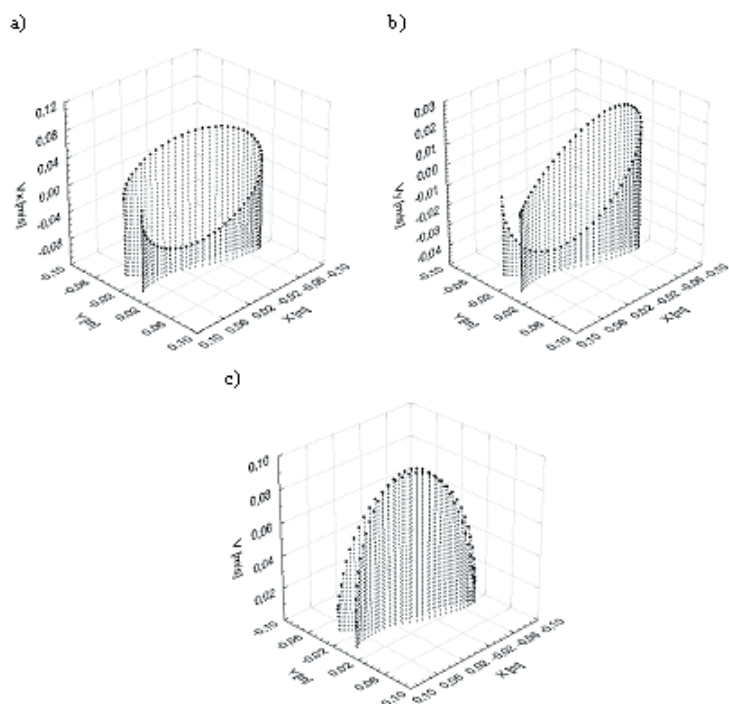
To read properly the values of component velocity one should note the space position for which the velocity is equal zero. A velocity value is not expected to be read using the line of projection on the motion path of blade end.

The presented diagrams of components velocity prove to be representative for a chosen fragment of the motion path given in Fig.3, while the diagrams of resultants for a chosen and all the successive ones.

Taking into account the primary solution, the highest linear velocity of the paddle end is recorded near the centre of the container, i.e. ca $V_{max} = 0.09$ m/s, while the lowest at the container wall – $V_{min} = 0.01$ m/s. The component velocity for the analyzed path fragment towards the axis x ranges $V_x = -0.090 \div 0.084$ m/s, whereas towards the axis y $V_y = -0.039 \div 0.022$ m/s.

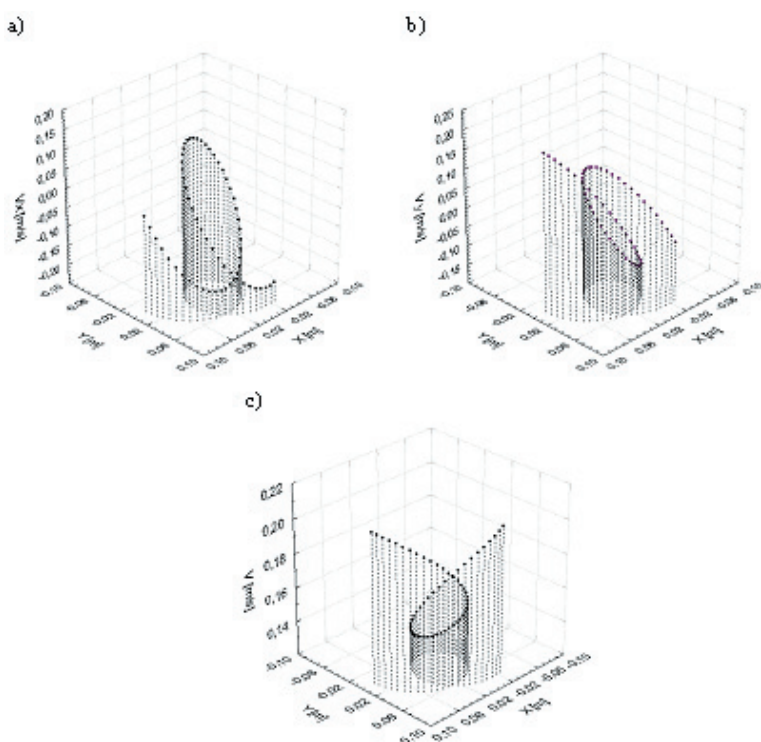
In the modified construction solution there was noted a significant increase of the linear velocity of blade end. The highest resultant velocity appears, contrary to the primary solution, at the container wall and is around $V_{max} = 0.2$ m/s. This value is over twice higher compared to the maximal velocity in the primary solution.

The lowest linear velocity of blade end for the modified solution $V_{min} = 0.13$ m/s was recorded near the container centre. It is over tenfold higher than the lowest and at the same time higher than the maximal linear velocity of blade from the primary solution. A resultant velocity for the investigated path fragment towards the axis x is contained within the range $V_x = -0.203 \div 0.131$ m/s, while towards the axis y in the interval $V_y = -0.142 \div 0.207$ m/s.



Rys. 4. Wykresy prędkości końca łopatki mieszadła dla rozwiązania pierwotnego: a) prędkość w kierunku osi x, b) prędkość w kierunku osi y, c) prędkość wypadkowa

Fig. 4. Diagrams of mixer blade end velocity for the primary solution: a) velocity towards axis x, b) velocity towards axis y c) resultant velocity



Rys. 5. Wykresy prędkości końca łopatki mieszadła dla rozwiązania zmodyfikowanego: a) prędkość w kierunku osi x, b) prędkość w kierunku osi y, c) prędkość wypadkowa

Fig. 5. Diagrams of mixer blade end velocity for modified solution: a) velocity towards axis x, b) velocity towards axis y c) resultant velocity

5. Wnioski

- 1) Wprowadzona modyfikacja dotychczasowego rozwiązania konstrukcyjnego mieszadła, pozwoliła na całkowite wyeliminowanie efektu zalegania niewymieszanej masy w otoczeniu ścianek naczynia. Związane jest to ze zmianą trajektorii ruchu końca łopatek polegającą na zamianie ruchu wahadłowego w pobliżu kolejnych płaszczyzn symetrii naczynia na ruch po okręgach wewnętrznie stycznych do ścianek naczynia.
- 2) Zmiana charakteru toru ruchu łopatek wpłynęła na zamianę rejonów występowania maksymalnych i minimalnych prędkości liniowych końca łopatek. W przypadku rozwiązania pierwotnego maksymalne prędkości zaobserwowano w rejonie środka naczynia, minimalne w otoczeniu ścianek a dla rozwiązania zmodyfikowanego odwrotnie.
- 3) Osiągnięcie znacznego skrócenia czasu mieszania (wg informacji użytkowników o około 1/3 dotychczasowego czasu) jest wynikiem ponad dziesięciokrotnego wzrostu prędkości liniowej końca łopatki przy niezmienionej prędkości kątowej jarzma.

6. References

- [1] Jaśkiewicz Z.: *Poradnik inżyniera samochodowego: elementy i materiały*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa, 1990r.
- [2] Müller L.: *Przekładnie obiegowe*. PWN, Warszawa, 1983r.
- [3] Olędzki A.: *Podstawy teorii maszyn i mechanizmów*. WNT, Warszawa, 1997r.

5. Conclusions

Modification of the existing construction solution of a mixer allowed to eliminate totally the deposit effect of not mixed mass in the container walls surroundings. It is connected with a change of the trajectory motion of paddle ends that consisted in the change of a swinging motion near the successive symmetry spaces of the container into a motion along the circles internally tangent to the container walls.

A change of character of the blade end motion induced a change of the regions where the maximal and minimal linear velocities of blades ends were reported. As for the primary solution, the maximal velocities were noted in the container vessel centre region and the minimal in the walls surrounds. A contrary tendency was noted for the modified solution.

A substantial shortening of the mixing time (according to the users, by ca 1/3 time) results from the over tenfold growth of the linear velocity of blade end at unchanged planetary cage angular velocity.

Dr inż. Marek BORYGA
Dr inż. Andrzej GRABOŚ
Dr inż. Grzegorz BARTNIK

Katedra Podstaw Techniki
Wydział Inżynierii Produkcji
Akademia Rolnicza w Lublinie
20-280 Lublin, ul. Doświadczalna 50A
tel.: 081 461 00 61 wew.254, 240, 234
e-mail: marek.boryga@ar.lublin.pl
e-mail: andrzej.grabos@ar.lublin.pl
e-mail: grzegorz.bartnik@ar.lublin.pl
