

Adam Barylski

# Analiza kinematyki jednotarczowych docierarek laboratoryjnych

JEL: L62 DOI: 10.24136/atest.2018.402

Data zgłoszenia: 19.11.2018 Data akceptacji: 15.12.2018

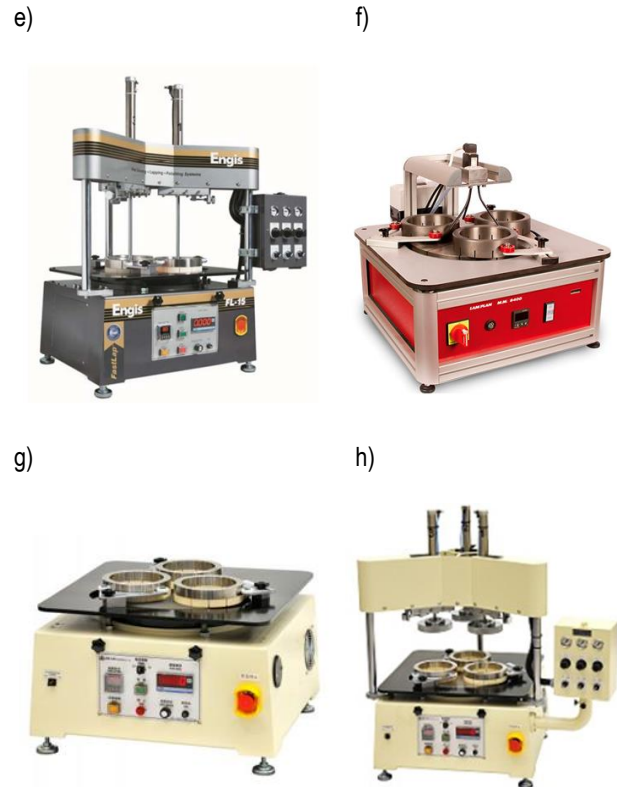
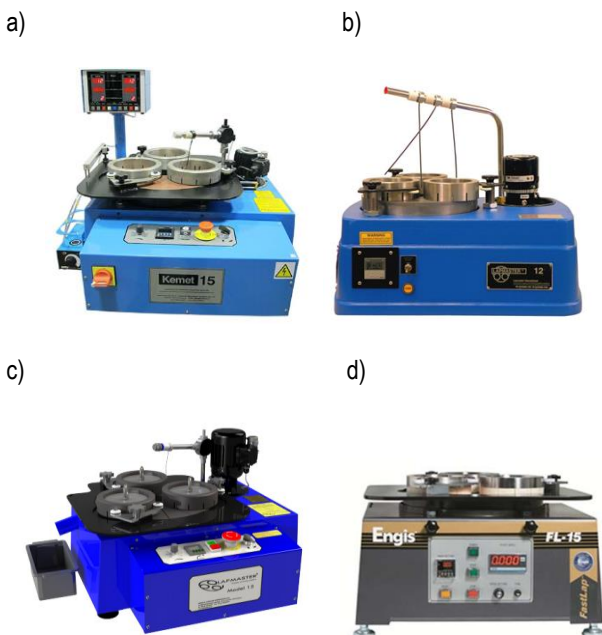
Artykuł porusza problem analizy kinematyki docierarek jednotarczowych. Wykonano wykresy zmienności prędkości i przyspieszenia punktów leżących na powierzchni docieranej w funkcji czasu. Podano różnice w kinematyce docierania na przykładzie dwóch układów wykonawczych docierarek.

**Słowa kluczowe:** docierarki jednotarczowe, kinematyka, analiza.

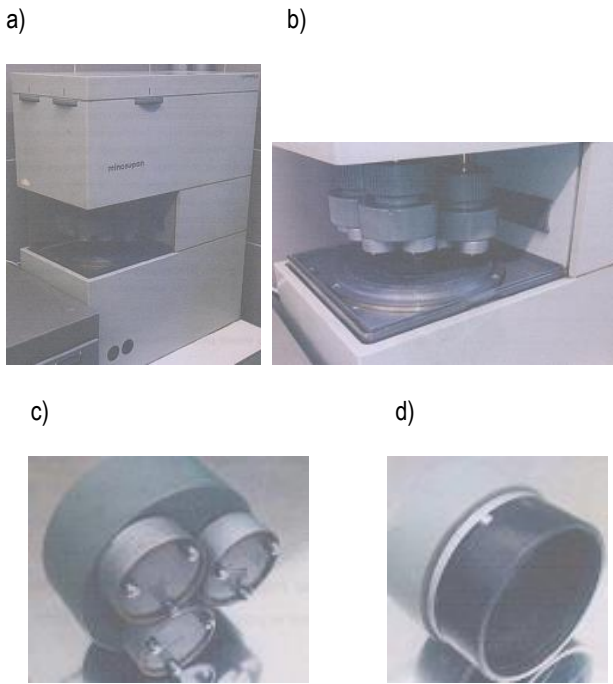
## Wstęp

Jednym z podstawowych metod bardzo dokładnej obróbki ścierniej powierzchni płaskich jest docieranie luźnym ścierniwem [1]. Operacje takie wykonuje się niezależnie od rodzaju materiału obrabianego i wielkości przedmiotu [10]. Dotyczy to między innymi elementów uszczelniających w zespołach maszyn roboczych i środków transportu, a także na etapie realizacji badań właściwości kształtowanej warstwy wierzchniej, przygotowując odpowiednie zglądy metalograficzne. W tym ostatnim przypadku możliwe jest zastosowanie uniwersalnych (standardowych) docierarek jednotarczowych lub typowych obrabiarek laboratoryjnych. Porównanie warunków kinematycznych docierania jednotarczowego z wykorzystaniem tego typu obrabiarek jest podstawowym celem niniejszego artykułu.

Obecnie produkowanych jest wiele typów docierarek tarczowych, różniących się głównie wymiarami tarczy roboczej oraz sposobem wywierania nacisku ma obrabiane elementy (obciążnikowo lub pneumatycznie) [2]. W analizach metalograficznych stosowane są docierarki o stosunkowo niewielkiej średnicy narzędzia (tarczy docierającej), gdyż wymiary przygotowywanych próbek limitują techniki badawcze, głównie mikroskopowe. Przykłady jednotarczowych docierarek stołowych o standardowej kinematyce pierścieniowej podano na rys. 1, zaś układu wykonawczego docierarki laboratoryjnej Minosupan o odmiennej kinematyce - na rys. 2.



**Rys. 1.** Przykłady docierarek jednotarczowych: a) Kemet 15 firmy Kemet International Limited (średnica zewnętrzna docieraka 381 mm, prędkość obrotowa docieraka 70 min<sup>-1</sup>, liczba pierścieni prowadzących 3, średnica wewnętrzna pierścienia prowadzącego 140 mm, moc napędu głównego 0,37 kW) [5], b) Lapmaster 12 firmy Lapmaster-Wolters (średnica zewnętrzna docieraka 305 mm, prędkość obrotowa docieraka 0-70 min<sup>-1</sup>, liczba pierścieni prowadzących 3, średnica wewnętrzna pierścienia prowadzącego 108 mm, moc napędu głównego 0,37 kW), Lapmaster 15 (średnica zewnętrzna docieraka 381 mm, prędkość obrotowa docieraka 80 min<sup>-1</sup>, liczba pierścieni prowadzących 3, średnica wewnętrzna pierścienia prowadzącego 140 mm, moc napędu głównego 0,37 kW) [7,8], d) FL-15V firmy Engis (średnica zewnętrzna docieraka 381 mm, prędkość obrotowa docieraka 0-90 min<sup>-1</sup>, liczba pierścieni prowadzących 3, średnica wewnętrzna pierścienia prowadzącego 140 mm, moc napędu głównego 0,7 kW, obciążnikowe dociążenie elementów obrabianych), e) FL-15VP firmy Engis (pneumatyczne dociążenie elementów obrabianych) [3], f) Lam Plan MM 8400 firmy LAM PLAN (średnica zewnętrzna docieraka 381 mm, prędkość obrotowa docieraka 30-100 min<sup>-1</sup>, liczba pierścieni prowadzących 3, średnica wewnętrzna pierścienia prowadzącego 138 mm, moc napędu głównego 0,37 kW) [6], g) JY-M15 firmy Jeng Yueh (średnica zewnętrzna docieraka 381 mm, prędkość obrotowa docieraka 0-90 min<sup>-1</sup>, liczba pierścieni prowadzących 3, średnica wewnętrzna pierścienia prowadzącego 140 mm) [4], h) JYS-M15P firmy Jeng Yueh (pneumatyczne dociążenie elementów obrabianych) [4]



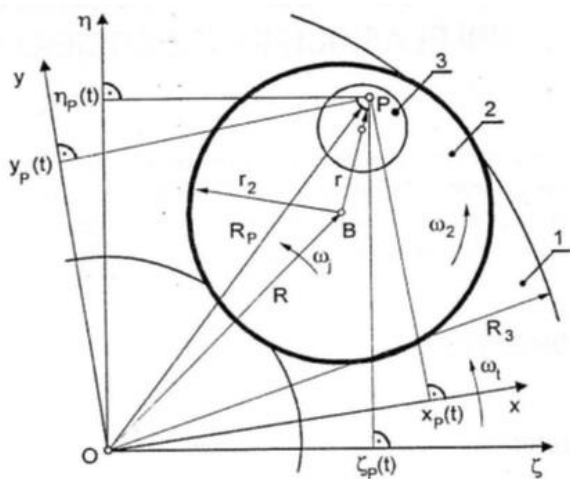
**Rys. 2** Docierarka Minosupan: a) widok ogólny, b) widok układu wykonawczego, c) widok głowicy z trzema uchwytami (maksymalna średnica docieranej próbki 36 mm), c) widok głowicy z możliwością zamocowania jednej obrabianej próbki (o średnicy 80 mm) [ ]

**1. Analiza kinematyki standardowej docierarki jednotarczowej**

W przypadku jednotarczowej docierarki o standardowym układzie kinematycznym, położenie dowolnego punktu P na obrabianej powierzchni (rys.3) określają jego współrzędne w funkcji czasu t::

$$x_p(t) = R \cdot \cos(\omega_j \cdot t - \omega_r \cdot t) + r \cdot \cos(\omega_2 \cdot t - \omega_r \cdot t) \quad (1)$$

$$y_p(t) = R \cdot \sin(\omega_j \cdot t - \omega_r \cdot t) + r \cdot \sin(\omega_2 \cdot t - \omega_r \cdot t) \quad (2)$$



**Rys.3.** Schemat układu wykonawczego docierarki jednotarczowej: 1- docierak, 2- separator, 3- element docierany (R- średni promień docieraka, r- odległość rozpatrywanego punktu P od środka separatora,  $\omega_j = 0$ ,  $\omega_2$  - prędkość kątowa separatora,  $\omega_r$  - prędkość kątowa docieraka, x-y - układ współrzędnych związany z docierakiem, ζ-η - bezwzględny układ odniesienia)

Przyjmując, że współczynnik

$$k = (\omega_2 + \omega_r) / \omega_r \quad (3)$$

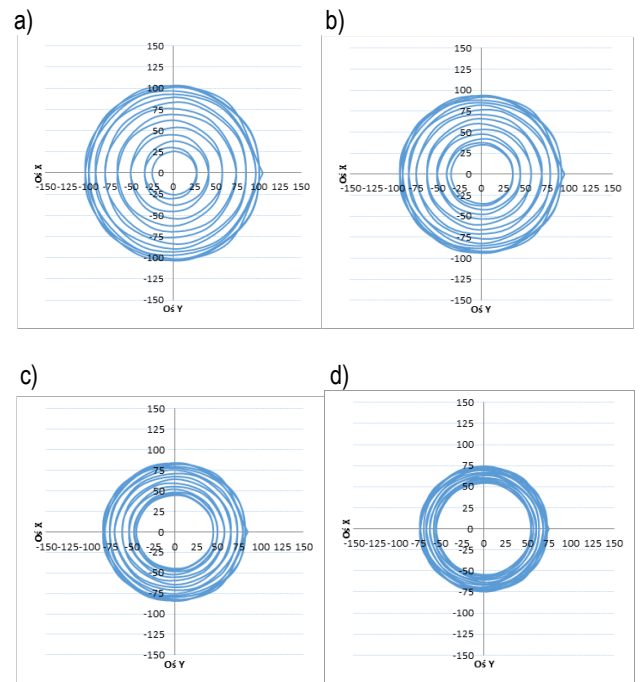
otrzymujemy zależność na chwilową prędkość punktu P

$$v_p(t) = \omega_r [R^2 + k^2 r^2 + 2krR \cos(\omega_2 t)]^{1/2} \quad (4)$$

oraz zależność określającą wartość chwilowego przyspieszenia

$$a_p(t) = (\omega_r)^2 [R^2 + k^4 r^2 + 2k^2 r R \cos(\omega_2 t)]^{1/2} \quad (5)$$

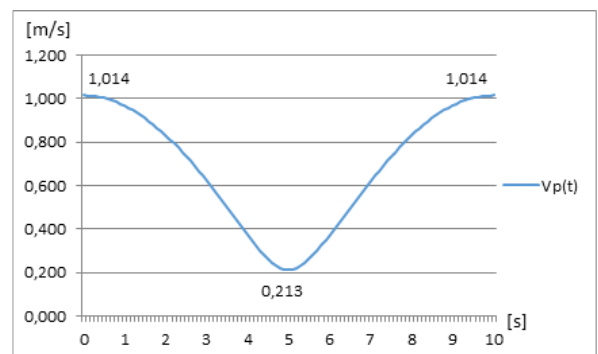
Na rys. 4 przedstawiono zmienność położenia rozpatrywanego punktu P przedmiotu na powierzchni roboczej docieraka w czasie 10-cio sekundowego cyklu ruchu [9].



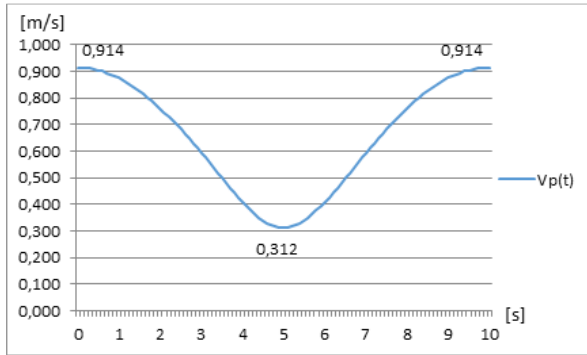
**Rys. 4.** Tory ruchu punktu P dla: a) r = 40 mm, b) r = 30 mm, c) r = 20 mm, d) r = 10 mm (R = 65 mm,  $\omega_r = 3\pi$  rad/s,  $\omega_2 = 0,2\pi$  rad/s)

Wyznaczone wartości zmienności prędkości docierania punktu P w czasie jednego cyklu ruchu obrazuje rys.5, zaś przyspieszenia - rys.6.

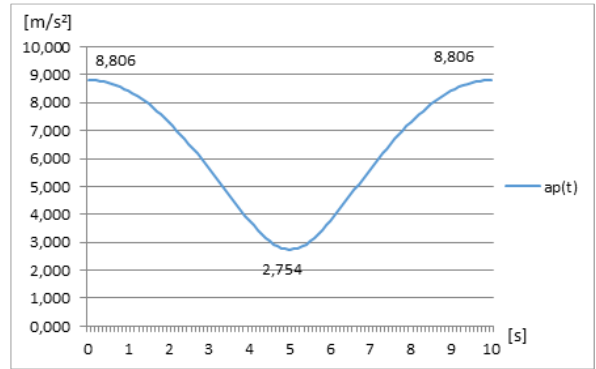
a)



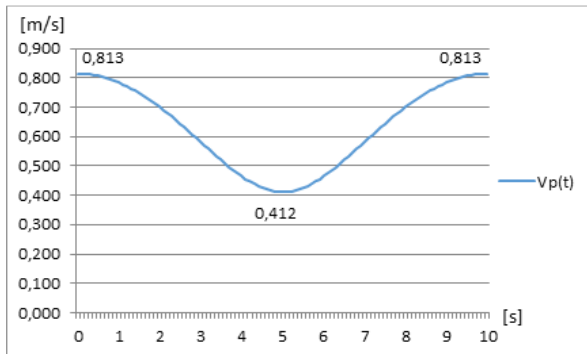
b)



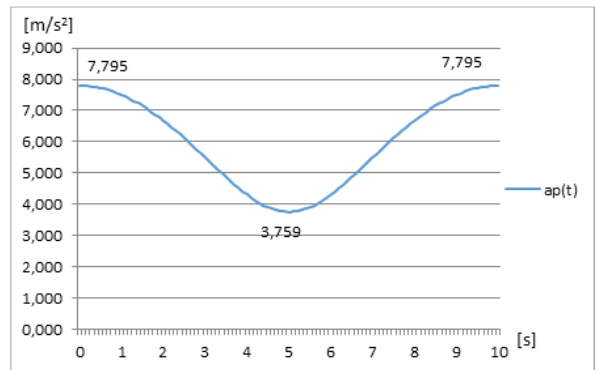
b)



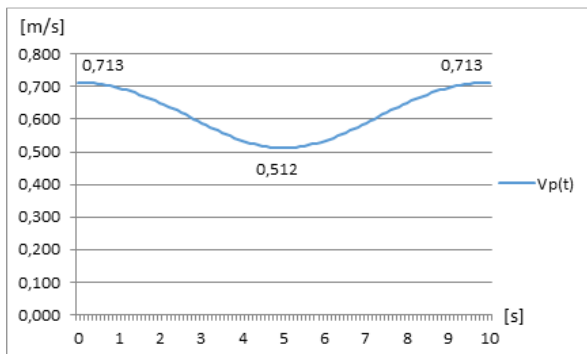
c)



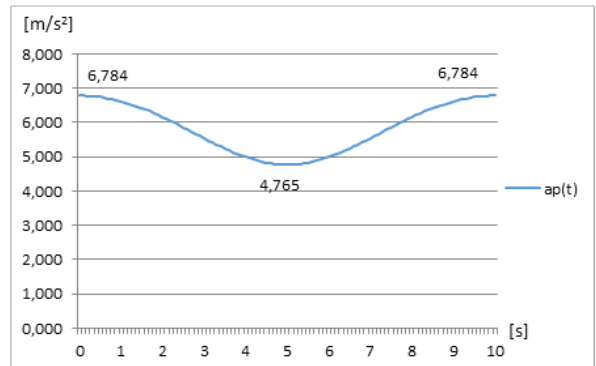
c)



d)



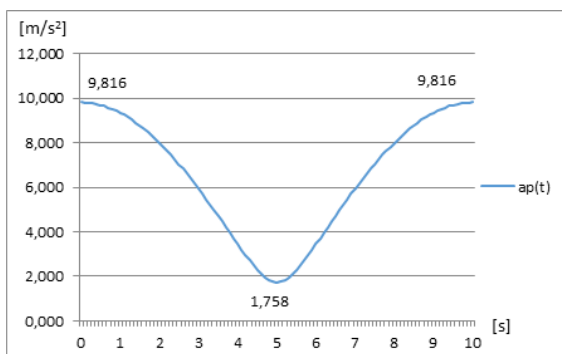
d)



**Rys. 5.** Wartości chwilowej prędkości docierania w układzie standardowej docierarki jednotarczowej, dla: a)  $r = 40$  mm, b)  $r = 30$  mm, c)  $r = 20$  mm, d)  $r = 10$  mm ( $R = 65$  mm,  $\omega_t = 3\pi$  rad/s,  $\omega_2 = 0,2\pi$  rad/s)

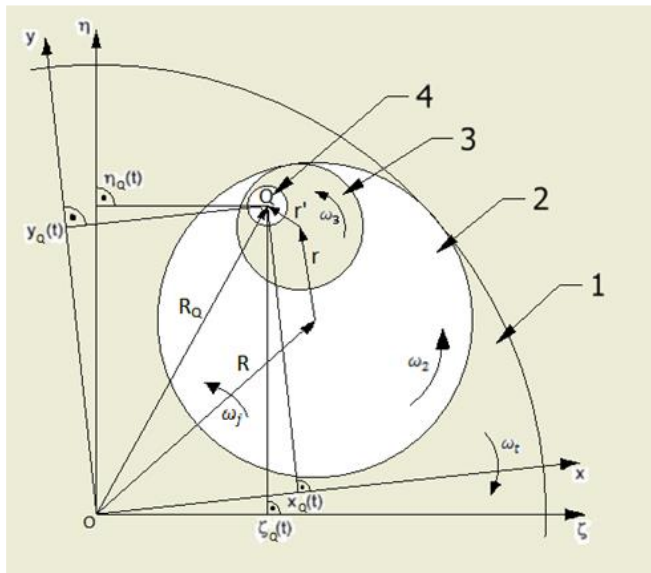
**Rys. 6.** Wartości chwilowe przyspieszenia rozpatrywanego punktu P w układzie standardowej docierarki jednotarczowej, dla: a)  $r = 40$  mm, b)  $r = 30$  mm, c)  $r = 20$  mm, d)  $r = 10$  mm ( $R = 65$  mm,  $\omega_t = 3\pi$  rad/s,  $\omega_2 = 0,2\pi$  rad/s)

a)



### 3. Analiza kinematyki jednotarczowej docierarki obiegowej

W przypadku docierarki laboratoryjnej Minosupan, prędkość kątowna wyobraźalnego jarzma  $\omega_j = 0$  (rys. 7).



**Rys. 7.** Schemat obiegowego układu wykonawczego laboratoryjnej docierarki jednotarczowej: 1- docierak, 2- głowica, 3- uchwyt przedmiotowy, 4- element docierany (R- średni promień docieraka, r- średni promień głowicy, r'- odległość rozpatrywanego punktu Q od środka uchwytu,  $\omega_1$  - prędkość kątowna docieraka,  $\omega_2$  - prędkość kątowna głowicy,  $\omega_3$  - prędkość kątowna uchwytu (elementu docieranego))

Współrzędne punktu Q (rys.7) wyrażają zależności:

$$x_Q(t) = R \cos(\omega_1 t) + r \cos[(\omega_2 + \omega_1)t] + r' \cos[(\omega_3 + \omega_1)t] \quad (6)$$

$$y_Q(t) = R \sin(\omega_1 t) + r \sin[(\omega_2 + \omega_1)t] + r' \sin[(\omega_3 + \omega_1)t] \quad (7)$$

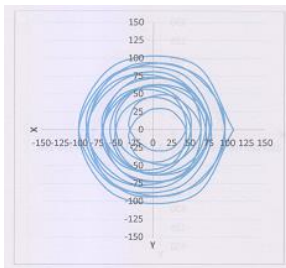
stąd otrzymujemy zmienność prędkości  $v_Q(t)$  i przyspieszenia  $a_Q(t)$  rozpatrywanego punktu w czasie t:

$$v_Q(t) = [R^2 \omega_1^2 + r^2 (\omega_2 + \omega_1)^2 + r'^2 (\omega_3 + \omega_1)^2 + 2Rr \omega_1 (\omega_2 + \omega_1) \cos(-\omega_2 t) + 2Rr' \omega_1 (\omega_3 + \omega_1) \cos(-\omega_3 t) + 2r r' (\omega_2 + \omega_1) (\omega_3 + \omega_1) \cos(\omega_2 t - \omega_3 t)]^{1/2} \quad (8)$$

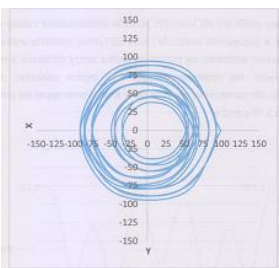
$$a_Q(t) = [R^2 \omega_1^4 + r^2 (\omega_2 + \omega_1)^4 + r'^2 (\omega_3 + \omega_1)^4 + 2Rr \omega_1^2 (\omega_2 + \omega_1)^2 \cos(-\omega_2 t) + 2Rr' \omega_1^2 (\omega_3 + \omega_1)^2 \cos(-\omega_3 t) + 2r r' (\omega_2 + \omega_1)^2 (\omega_3 + \omega_1)^2 \cos(\omega_2 t - \omega_3 t)]^{1/2} \quad (9)$$

Tory ruchu punktu Q, w zależności od odległości  $r'$ , ilustruje rys.8.

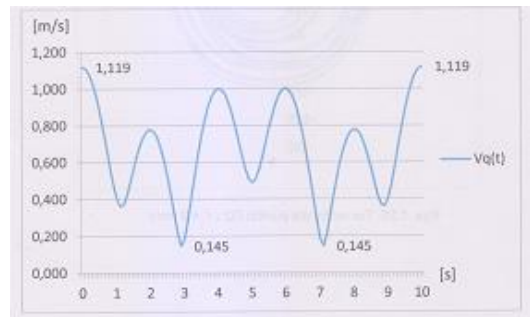
a)



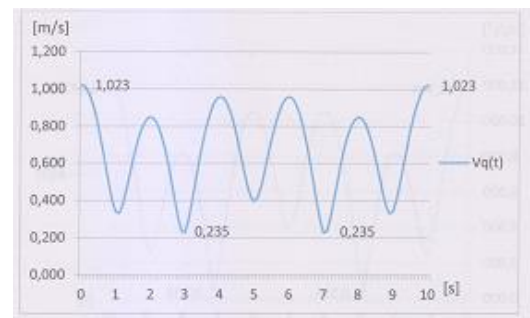
b)



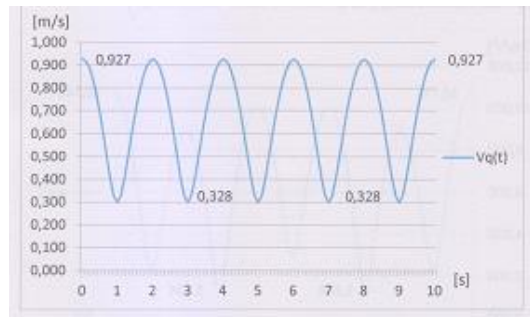
a)



b)



c)

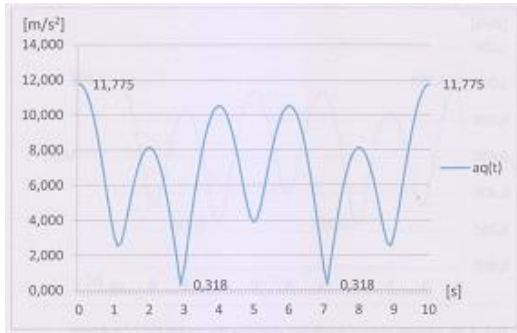


**Rys. 8.** Tory ruchu punktu Q dla: a)  $r' = 18$  mm, b)  $r' = 9$  mm, c)  $r' = 0$  ( $R = 65$  mm,  $\omega_1 = 3\pi$  rad/s,  $\omega_2 = \pi$  rad/s,  $\omega_3 = 0,1\pi$  rad/s)

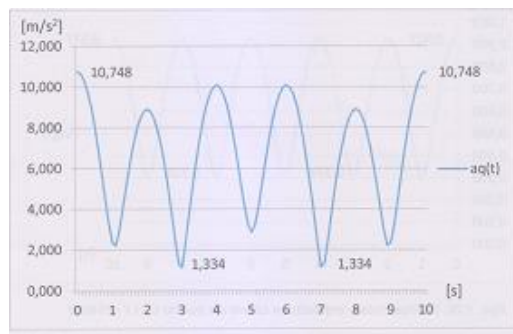
Zmienność prędkości  $v_Q(t)$  i przyspieszenia  $a_Q(t)$  podano odpowiednio na rys. 9 i 10.



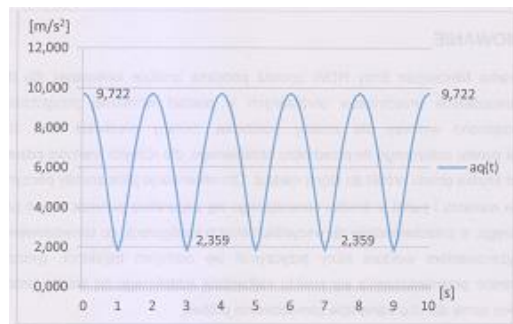
a)



b)



c)



**Rys. 10.** Wartości chwilowych przyspieszeń punktu Q w układzie wykonawczym obiegowej docierarki jednotarczowej, dla: a)  $r' = 18$  mm, b)  $r' = 9$  mm, c)  $r' = 0$  ( $R = 65$  mm,  $\omega_1 = 3\pi$  rad/s,  $\omega_2 = \pi$  rad/s,  $\omega_3 = 0,1\pi$  rad/s)

### Podsumowanie

Wyznaczone zależności pozwalają na określenie prędkości chwilowych i średnich docierania elementów płaskich, zarówno w układzie

obiegowym, jak i pierścieniowym (standardowym). Dla analizowanych warunków kinematycznych i geometrycznych, otrzymane wartości przyspieszeń potwierdzają możliwości obróbki zarówno elementów metalowych, jak i ceramicznych. Wartości te mają wpływ nie tylko na obciążenie dynamiczne elementów układu wykonawczego, lecz także i na sam proces skrawania przez mikroziarna ściernie. W każdym z analizowanych przypadków, czas jednego cyklu ruchu wyniósł 10 s.

W docieraniu elementów o małych wymiarach gabarytowych, umieszczenie ich w środku geometrycznym separatora (w układzie standardowym) lub w centrum głowicy (w układzie obiegowym) spowoduje, iż zmienność prędkości docierania (prędkości względnej w układzie docierak-przedmiot) zostaje wyeliminowana, co ma istotny wpływ na proces obróbki. Sytuacji tej należy unikać, gdyż ma ona również negatywny wpływ na kształt rys poobróbkowych na docieranych powierzchniach.

### Bibliografia:

1. Barylski A., Obróbka powierzchni płaskich na docierarkach, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2013.
2. Barylski A., Parametry kinematyczne docierarek tarczowych, "TTS. Technika Transportu Szynowego" 2017, nr 12.
3. Materiały informacyjne firmy Engis.
4. Materiały informacyjne firmy Jeng Yueh.
5. Materiały informacyjne firmy Kemet.
6. Materiały informacyjne firmy LAM PLAN.
7. Materiały informacyjne firmy Lapmaster.
8. Materiały informacyjne firmy Lapmaster-Wolters.
9. Połom M., Analiza kinematyki jednotarczowej docierarki laboratoryjnej, PG, Wydział Mechaniczny, prowadz. pr. A. Barylski, Gdańsk 2017.
10. Spur G., Eichhorn H., Kinematisches Simulationsmodell des Lappscheibenverschleißes, "IDR" 1997, nr 2.

### Analysis of kinematics of single-disc laboratory lapping machines

In this paper there are presented the theoretical analyses of a single-disc lapping. We have developed the simulation models of standard and non-traditional kinematic system.

**Keywords:** lapping machines, kinematics, analysis.

### Autor:

prof. dr hab. inż. **Adam Barylski** – Politechnika Gdańska, Wydział Mechaniczny, Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, e-mail: abarylsk@pg.edu.pl