

# KONSTRUKCJA CHWYTAKA Z KONTROLĄ SIŁY CHWYTU W CZASIE RZECZYWISTYM

## *Construction of the gripper with strength control in real-time*

Arkadiusz PIETROWIAK, Olaf CISZAK, Marcin MROCZYK, Mikołaj JACKÓW

**Streszczenie:** W pracy przedstawiono koncepcję oraz projekt chwytaka z kontrolą siły trzymania w czasie rzeczywistym. Szczegółowo opisano poszczególne etapy procesu projektowania. Przybliżono proces wykonania oraz opisano napotkane problemy wraz z ich rozwiązaniem. Przedstawiono zasadę oraz algorytm działania zaprojektowanego chwytaka. Zaprezentowane zostały także charakterystyki pracy urządzenia pracującego jako chwytak robota przemysłowego.

**Słowa kluczowe:** chwytak, robot przemysłowy, kontrola siły, PLC

**Abstract:** In paper was presented the concept and design of the gripper control holding force in real time. It describes in detail the various stages of the design process. It brought closer the process of execution and describes the problems encountered with their solution. It also presents the principle and algorithm of actions designed gripper. There were also presented operating characteristics of the device working as an industrial robot gripper.

**Keywords:** gripper, robot, strength control, PLC

### Wprowadzenie

Zgodnie z szacunkami Międzynarodowej Federacji ds. robotyki w latach 2015–2018 na rynek trafi aż 1,3 mln robotów przemysłowych. Jest to efekt rosnącego zapotrzebowania na roboty przemysłowe i ich coraz szerszego zastosowania w przemyśle (Industry 4.0). Tylko w latach 2013–2014 zanotowano wzrost sprzedaży robotów o 43% [1]. Stosowanie robotów niesie za sobą poprawę jakościowych i wydajnościowych parametrów procesów przemysłowych, w zakresie nieosiągalnym dla procesów realizowanych przy użyciu zasobów ludzkich. Roboty najczęściej zastępują człowieka w procesach spajania, tj. zgrzewania, spawania lub klejenia. Na drugim miejscu pod względem zastosowania znajdują się procesy związane z szeroko rozumianą manipulacją obiektami, tj. procesy paletyzacji, obsługi maszyn oraz montażu.

Pod względem możliwości ruchowych, umiejętności orientacji elementów w przestrzeni i wiążących się z tym parametrów dokładności i powtarzalności, roboty przemysłowe od dawna dysponują możliwościami większymi od człowieka. Do tej pory nie udało się jednak zbudować chwytaka, który możliwościom odpowiadałby parametrom ludzkiej ręki. Ruchliwość tej części ciała wynosi aż 22 [2]. Dla porównania, najprostsze, lecz najczęściej stosowane chwytaki dla robotów przemysłowych odznaczają się ruchliwością na poziomie 1-3. W zależności od zapotrzebowania w chwytaku może pojawić się ich więcej. W największej mierze uzależnione jest to od kształtu, materiału i właściwości powierzchni orientowanego przedmiotu. W samym procesie chwytu można wyróżnić następujące czynności w stosunku do obiektu manipulacji [3]:

- zbliżenie się,
- wejście w kontakt,

- zabezpieczenie,
- zadziałanie siłą,
- przemieszczenie,
- zwolnienie.

Aby zredukować niekorzystny wpływ małych zdolności ruchowych projektowanych chwytaków, coraz częściej wprowadza się do procesu chwytania także czynności związane z monitoringiem. Pod tym pojęciem należy rozumieć wszystkie formy monitorowania działania chwytaka w czasie rzeczywistym, tj. np. sprzężenia zwrotne siłowe lub prędkościowe. Samo wprowadzenie sprzężenia zwrotnego wymaga najczęściej niewielkich zmian w budowie chwytaka, a większych w warstwie sterowania. Można jednak w ten sposób znacząco zwiększyć możliwości zastosowania urządzenia o bardziej precyzyjnej aplikacji.

### Podjęty problem

Budowa i sposób działania chwytaków dąży najczęściej do ich specjalizacji na potrzeby danego zadania. Ujęcie kryterium monitoringu w aspekcie projektowania chwytaka pozwala jednak na wzrost uniwersalności takiego urządzenia. W artykule opisano zadanie budowy prostego chwytaka o jednej osi ruchomej i prostym kształcie szczepek. Dzięki wprowadzeniu odpowiednich modyfikacji w konstrukcji podjęto próbę zwiększenia możliwości tego urządzenia.

Wyjściowym założeniem projektu było umożliwienie uchwycenia obiektów o zróżnicowanej geometrii i właściwościach fizycznych. Próby rozwiązania tego problemu podjęto przez wprowadzenie siłowego sprzężenia zwrotnego w układzie napędowym chwytaka. Odpowiednia budowa układu sterowania miała w tym wypadku zapewnić

sterowanie siłą chwytu w czasie rzeczywistym. Konstrukcja chwytaka opiera się na układzie chwytym z dwiema sztywnymi szczękami. Chwytnik zaprojektowany został dla przenoszenia elementów mieszczących się w rozstawie szczęk 20–100 mm i masie nie większej niż 0,5 kg.

### Budowa chwytaka

Przed przystąpieniem do prac konstrukcyjnych dokonano analizy i wybrano sposób działania chwytaka. W literaturze można znaleźć gotowe przykłady sposobów przeniesienia napędów dla chwytaków z dwoma szczękami [4]. Po analizie dostępnych rozwiązań wytypowano konstrukcje o przeniesieniu napędu w następujących układach: nożycowym, zębatym, klinowym i ciągnowym.

Jako główne kryterium wybrano prostotę działania i łatwość wykonania chwytaka w wybranym wariantcie. W oparciu o przyjęte kryteria wybrano układ ciągnowy. Oprócz spełnienia założeń projektowych zapewnia on także liniowy ruch szczęk chwytaka, który jest bardziej odpowiedni ze względu na równomierny rozkład sił w części chwytnej. Budowa układu zamykania szczęk w oparciu o mechanizm ciągnowy pozwala na zwiększenie dopuszczalnej tolerancji wykonania poszczególnych elementów konstrukcji. Możliwe jest to dlatego, że ewentualne luzy i niedokładności wymiarowe rozstawu osi można regulować napięciem pasa.

### Konstrukcja mechaniczna układu przeniesienia napędu i układu chwytaka

Ze względu na masę i rozmiary całego chwytaka, wszystkie możliwe części składowe urządzenia wykonano z aluminium 2017A. Prowadnice wykonano ze stali węglowej hartowanej i szlifowanej. Podstawą zaprojektowanego chwytaka jest płyta aluminiowa, której zadaniem jest przenoszenie obciążeń powstających w trakcie pracy. Jednocześnie stanowi ona także bazę montażową dla pozostałych elementów. Do podstawy chwytaka przykręcone są ściany boczne, które stanowią punkt podparcia dla prowadnic liniowych. W tym wypadku zastosowano prowadnice współpracujące z łożyskami liniowymi. Ich celem jest przenoszenie obciążeń i zapewnienie prostoliniowości prowadzenia szczęk chwytaka.

W konstrukcji przetestowano także układ zbudowany w oparciu o łożyska ślizgowe. Za zastosowaniem tego typu łożysk przemawiał ich znacznie mniejszy rozmiar oraz mała wartość luzu w trakcie prowadzenia. Niestety powstający w trakcie pracy moment gnący powodował wzrost tarcia i ciągle przechodzenie od tarcia kinetycznego do statycznego. To z kolei skutkowało znacznymi stratami energetycznymi na silniku i małą płynnością ruchów. Z tych też względów po przetestowaniu tego rozwiązania uznano je za niewłaściwe.

Ze względu na niewielkie siły, wynikające z małej masy transportowanego przez chwytnik materiału koło pasowe napędzające zamontowano bezpośrednio na wale silnika. Do tego celu zastosowano tuleję rozprężno-zaciskową,

przenoszącą moment w sposób cierny. Moment z koła pasowego na elementy wykonawcze przenoszony jest również drogą cierną – za pośrednictwem pasa zębatego, dociśniętego do elementu wykonawczego za pomocą zaślepki. Koło napędzane osadzone na wale biernym łożyskowane na dwóch łożyskach poprzecznych kulowych.

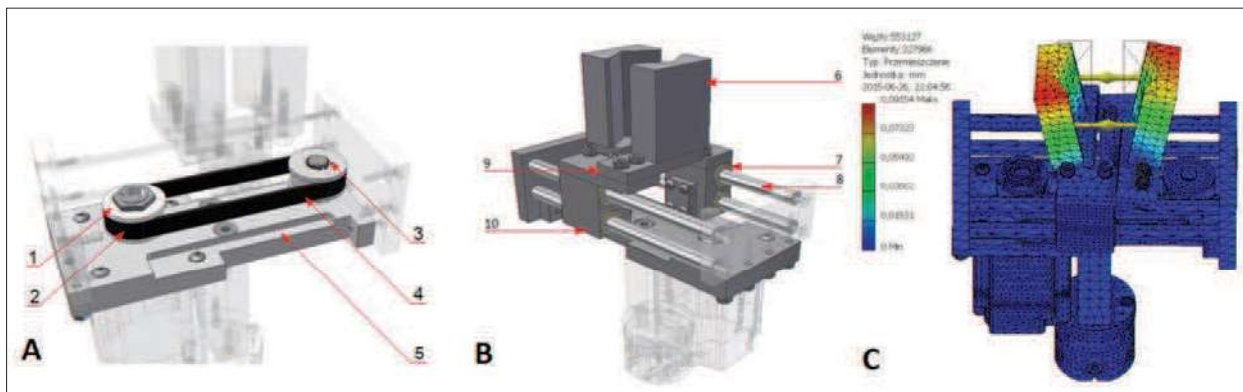
Układ chwytym zaprojektowano w taki sposób, aby zapewnić współpracę z elementami manipulacji o różnych kształtach geometrycznych. Z tego względu elementy wykonawcze chwytaka wyposażono w równoległe względem siebie powierzchnie płaskie oraz rowki pryzmatyczne. Dla zmniejszenia rozmiarów chwytaka do kości ślizgowych zamontowano wysięgniki, które umożliwiały mijanie się naprzeciwległych elementów ruchomych. Dodatkowym atutem takiego rozwiązania jest ułatwienie montażu chwytaka przez umożliwienie szybkiej wymiany szczęk (nakładek chwytających).

Poprawną pracę urządzenia gwarantuje jedynie dobrze wyregulowany układ ciągnowy. W tym wypadku zrezygnowano ze stosowania napinaczy, a regulacja luzu może odbywać się podczas montażu silnika – śruby montażowe osadzone są w powiększonych otworach. Gniazdo mocujące kiść robota przeniesiono na ramię ponad silnik. Zabieg ten umożliwia swobodny obrót ramienia robota w dowolnym kierunku, nie powodując kolizji z silnikiem serwo. Układ przeniesienia napędu oraz układ chwytym przedstawiono na rys. 1. Podczas projektowania konstrukcji w celu sprawdzenia poprawności obliczeń posłużono się również metodą elementów skończonych.

### Układ sterowania chwytaka

W przypadku budowy chwytaka, umożliwiającego regulację siły w czasie rzeczywistym, budowa właściwego układu sterowania, pozwalającego na spełnienie tych założeń jest zadaniem ważniejszym niż sam układ przeniesienia napędu. Pod pojęciem układu sterowania rozumie się w tym przypadku sam sterownik i elementy sensoryki oraz układy wykonawcze pod postacią silnika. Zadanie pomiaru siły dla projektowanego chwytaka można było rozwiązać na dwa sposoby. Pomiar w sposób bezpośredni zakładał kontrolę nacisku z użyciem tensometrów umieszczonych na elementach chwytym – czyli w miejscu bezpośredniego oddziaływania siły. Stosowanie tensometrów w pewien sposób ograniczyłoby jednak zakres temperatur stosowania chwytaka – choć oczywiście można temu zapobiec, wprowadzając kolejne, temperaturowe sprzężenie zwrotne. Ponadto układ taki byłby wrażliwy na ewentualne uszkodzenia części chwytym i tym samym tensometru, co mogłoby spowodować niepoprawne działanie chwytaka.

Biorąc pod uwagę wady wynikające ze stosowania elementów tensometrycznych zdecydowano się na pośredni układ pomiaru siły. W tym wypadku pomiarowi podlega jedynie moment obrotowy serwosilnika. Silnik ma możliwość płynnej kontroli momentu obrotowego, dzięki pomiarowi poboru prądu przez silnik w czasie rzeczywistym. Zależność pomiędzy siłą zacisku szczęk



Rys. 1. Układ przeniesienia napędu (A), układ chwytny (B) i analiza wytrzymałościowa (C): 1 – koło napędzające, 2 – tuleja zaciskowo-rozprężna, 3 – wałek napędzany, 4 – pas napędowy, 5 – płyta podstawy, 6 – element chwytny, 7 – łożysko ślizgowe, 8 – wałek prowadzący, 9 – ramiona mocujące szczękę do kości prowadzącej, 10 – obudowa łożysk

Fig. 1. Drive transmission layout (A), a grip (B) and strength analysis (C): 1 – the driving wheel, 2 – sleeve crimped expansion, 3 – driven shaft, 4 – drive belt, 5 – the base plate, 6 – capture element, 7 – plain bearing, 8 – guide roller, 9 – jaws holding arms, 10 – bearing case

a momentem obrotowym silnika wyznaczana jest w takim przypadku empirycznie. Wyznaczoną w trakcie testów zależność między momentem silnika a siłą chwytu przedstawiono na rys. 2. Wzór opisujący wyznaczoną zależność został zaimplementowany w układzie sterowania urządzenia (rys. 3).

Właściwe działanie tego typu chwytaka wymaga odpowiednio zaprojektowanego układu sterowania (rys. 3). Na potrzeby realizacji ww. funkcji układ ten wyposażono w następujące elementy spełniające określone zadanie:

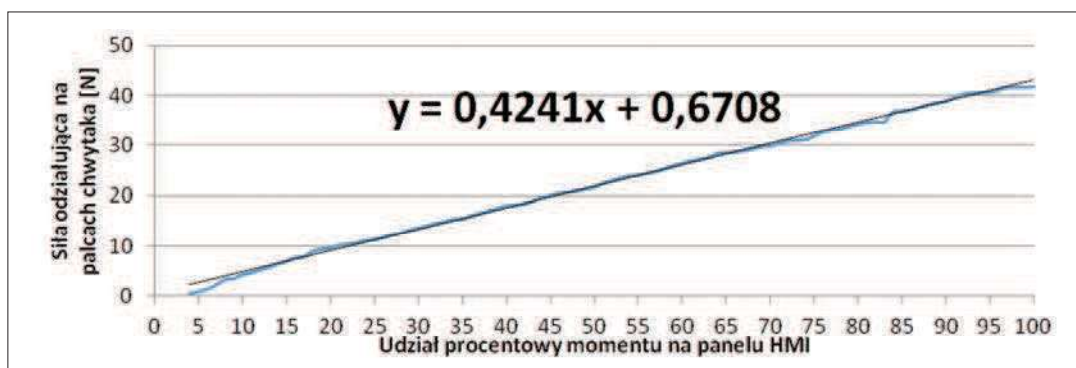
- silnik Serwo – element wykonawczy,
- sterownik silnika – kontrola momentu, zasilanie i sterowanie napędem,
- czujnik indukcyjny typu PNP – kontrola położenia końcowych szczęk chwytaka,
- sterownik PLC SIMATIC S7-1200 1214DC/DC/DC – wykonywanie zdefiniowanego algorytmu sterującego, zadawanie sygnałów analogowych sterujących momentem silnika, komunikacja z robotem,
- panel operatorski – do obsługi chwytaka na etapie testów oraz wyświetlania przeliczonej, aktualnej wartości siły,
- przekaźniki – komunikacja z robotem.

Na potrzeby testów chwytaka wymiana danych z robotem odbywała się z użyciem sygnałów cyfrowych. Skutkowało to niemożliwością regulacji siły w pełnym zakresie. Dostępna była jedynie pewna ilość dyskretnych wartości siły, w ilości odpowiadającej liczbie 2, w potęgę równej liczbie zastosowanych przekaźników, czyli  $2^4 = 16$ . Uproszczony układ sterowania przedstawiono na rys. 3.

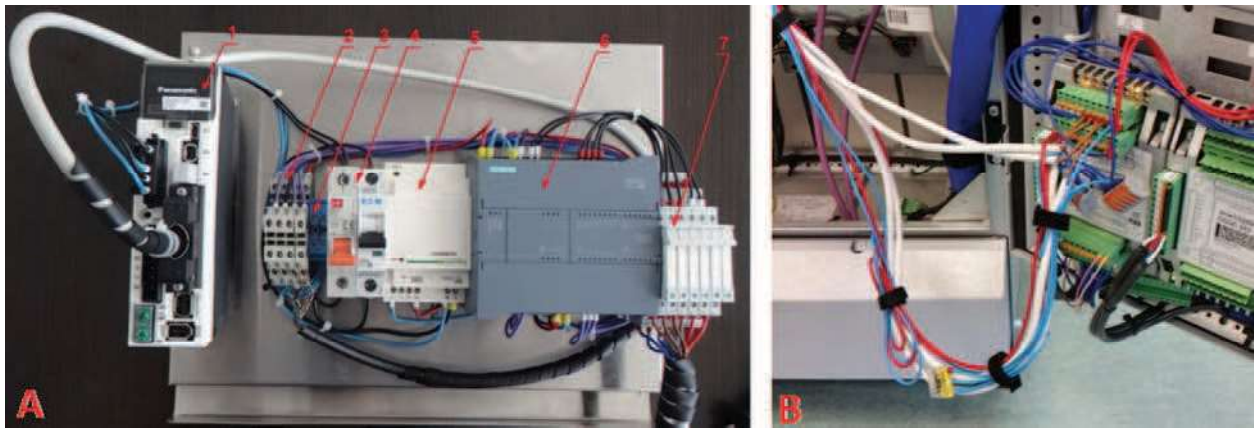
Na rys. 4 przedstawiono wykonany chwytak wraz z interfejsem przyłączeniowym oraz chwytak w trakcie pracy, zamocowany w kiści robota.

#### Podsumowanie

Zaprojektowana konstrukcja jest uniwersalnym narzędziem chwytym, łączącym zalety chwytu siłowego i kształtowego. Dodatkowymi atutami jest m.in. możliwość szerokiego zakresu regulacji rozwarcia szczęk chwytaka oraz płynnej regulacji obrotowego, a w konsekwencji siły trzymania. Możliwość wymiany elementów chwytymych urządzenia na końcówki o innym profilu zapewnia łatwe dopasowanie do kształtu i wymiarów orientowanego przedmiotu. Dzięki zastosowaniu niewielkiego silnika z kontrolerem typu serwo udało się

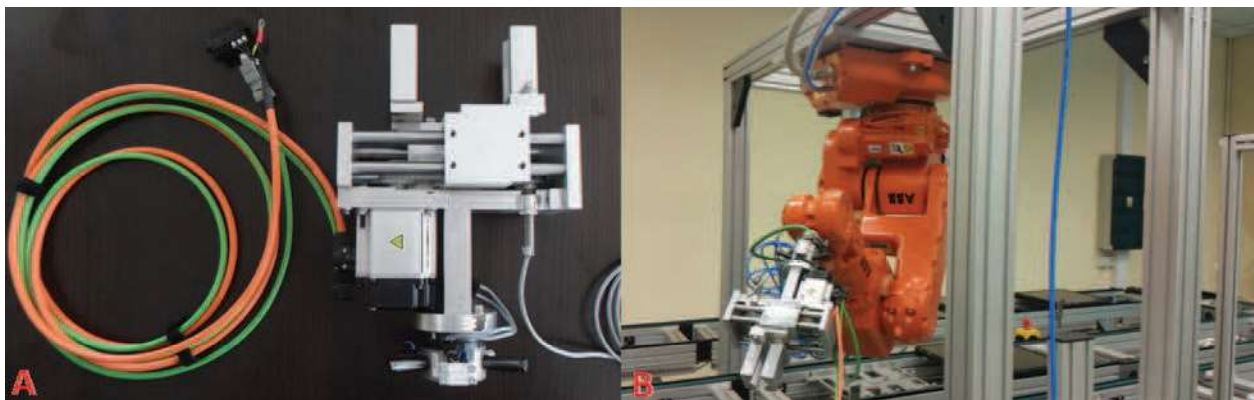


Rys. 2. Wykres zależności między siłą zadaną a zmierzoną  
Fig. 2. Relationship chart between the set and measured strength



Rys. 3. Układ sterujący pracą chwytaka (A) i podłączenie do sterownika robota ABB Irb 140T (B): 1 – sterownik silnika, 2 – złącza sterujące, 3 – złącza zasilające, 4 – wyłączniki nadmiarowo-prądowe, 5 – zasilacz impulsowy, 6 – sterownik PLC, 7 – przekaźniki układu matrycowego

Fig. 3. Controlling system of the gripper (A) and connection to the ABB IRB 140T robot controller (B): 1 – motor controller, 2 – control terminals, 3 – power connectors, 4 – overcurrent protection, 5 – power supply, 6 – PLC, 7 – matrix relays



Rys. 4. Zaprojektowany chwytak (A) i chwytak zamontowany w kiści robota (B)

Fig. 4. Designed gripper (A) and a gripper mounted on a robot wrist (B)

znacząco zwiększyć możliwości aplikacyjne zaprojektowanego chwytaka. W przypadku konkretnych aplikacji można zrezygnować z układu pośredniczącego w postaci sterownika PLC i realizować komunikację w układzie bezpośrednim Robot-Sterownik Silnika Serwo. Co również istotne, układ taki po przeprowadzeniu początkowej kalibracji zachowuje swoje właściwości chwytne w czasie. Dodatkowo zwiększa to pewność jego stosowania – szczególnie w wymagających aplikacjach. Jak z kolei wykazano – budowa i sposób działania tego typu chwytaka są stosunkowo proste do zrealizowania. Dodatkowo układ taki z powodzeniem może zastępować droższe, specjalizowane konstrukcje.

#### LITERATURA

- [1] Buśkiewicz J. „Podstawy konstrukcji w protetyce”, [http://etacar.put.poznan.pl/~jacek.buskiewicz/dydaktyka/bi/Konspekt\\_IB\\_W01.pdf](http://etacar.put.poznan.pl/~jacek.buskiewicz/dydaktyka/bi/Konspekt_IB_W01.pdf), dostęp 1.04.2016.
- [2] Fantoni G. i in. 2006. “Grasping devices and methods in automated production processes”. CIRP Annals – Manufacturing Technology (63): 679–701.

- [3] Survey: 1.3 million industrial robots to enter service by 2018, <http://www.ifr.org/home/>, dostęp 10.04.2016.

Mgr inż. Arkadiusz Piotrowiak – Zakład Projektowania Technologii Instytutu Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań, e-mail: [arkadiusz.piotrowiak@put.poznan.pl](mailto:arkadiusz.piotrowiak@put.poznan.pl)

Dr hab. inż. Olaf Ciszak – Zakład Projektowania Technologii Instytutu Technologii Mechanicznej Politechniki Poznańskiej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań, e-mail: [olaf.ciszak@put.poznan.pl](mailto:olaf.ciszak@put.poznan.pl)

Mgr inż. Marcin Mroczyk – Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań, e-mail: [marcin.mroczyk@wp.pl](mailto:marcin.mroczyk@wp.pl)

Mgr inż. Mikołaj Jacków – Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania Politechniki Poznańskiej, ul. Piotrowo 3, 61-138 Poznań, e-mail: [mikolaj.jackow@gmail.com](mailto:mikolaj.jackow@gmail.com)