



KONCEPCJA ZROBOTYZOWANEGO GNIAZDA PRODUKCYJNEGO DO WSPÓŁPRACY Z OSOBAMI Z NIEPEŁNOSPRAWNOŚCIĄ KOMPENSUJĄCEGO DYSFUNKCJE MANUALNE PRACOWNIKA Z WYKORZYSTANIEM ROBOTÓW TYPU YUMI

Wojciech Musiał, Dariusz Skalski, Bogdan Wankiewicz

Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Wałczu i Regionalne Centrum Badawczo-Rozwojowe w Wałczu, Poland

Corresponding author:

Wojciech Musiał

*Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Wałczu
and Regionalne Centrum Badawczo-Rozwojowe w Wałczu
Wojska Polskiego 99, 78-600 Wałcz, Poland*

phone: +48 661201823

e-mail: ribr@pwsz.eu

THE CONCEPT OF A ROBOTIC PRODUCTION CENTER FOR COOPERATION WITH PEOPLE WITH DISABILITIES AND FOR COMPENSATING MANUAL DYSFUNCTIONS OF AN EMPLOYEE USING A YUMI TYPE ROBOT

ABSTRACT

This article presents a proposal for the use of robots cooperating with people with disabilities in a common workstation. The main idea presented in the article is to develop a robotic workstation system, where the role of a disabled worker is to perform as many activities as possible corresponding to the main subsystems of the production system. The use of Yumi robots comes down to the implementation of corrective functions and ensuring the achievement of the assumed quality in positioning and manipulation during the production process. It is assumed that the main task of the Yumi type robots would be to correct the dysfunctions assigned to a specific disabled employee and to be able to compensate for the identified dysfunctions in the production process using an appropriately programmed Yumi type robot. For an IT system and a Yumi robot control system, an employee with a dysfunction would be a set of additional potentially occurring disturbances, however, with a properly organized process taking into account these disturbances and an adapted program compensating for dysfunctions, it would be possible to bring the process to such a form that the final process would take place while maintaining the highest planned quality.

KEYWORDS

Robots cooperating, flexible production, organized process.

1. Wprowadzenie

Analiza rozwoju współczesnych systemów produkcji wskazuje, że najważniejsze zadanie w przyszłości spełniać będzie przepływ informacji. Można stwierdzić, że istotą rewolucji przemysłowej 4.0 jest sformułowanie, a następnie szybkie przesłanie informacji w interakcji do danego zdarzenia na linii produkcyjnej. Ważnym aspektem jest identyfikowanie zakłóceń, ich analiza, a następnie w sprzężeniu zwrotnym, przesłanie sygnałów sterujących dla urządzeń wykonawczych. Szybka reakcja na zdarzenia w czasie rzeczywistym jest gwarantem bezpiecznego i wydajnego przemysłu 4.0 [8, 9].

Obecnie można zaobserwować duży nakład badawczy w kierunku rozwoju systemów sprawnego przesyłania informacji (5G i 6G). Jednocześnie obserwuje się tendencje do rozwijania elastycznych systemów produkcyjnych [1–3]. Biorąc pod uwagę coraz krótszy czas życia produktów i coraz większe zróżnicowanie potrzeb konsumentów, można zaryzykować stwierdzenie, że in-

dywidualizacja potrzeb konsumenckich będzie narastać a model masowej produkcji mało zróżnicowanych przedmiotów i produktów w coraz większym stopniu będzie zanikać [6–8].

Autorzy artykułu proponują spojrzenie na proces produkcyjny przez pryzmat intensywnego rozwoju informatyki, automatyki oraz elektroniki, robotyzacji i organizacji procesów produkcyjnych. Poziomym wyjściowym w tym zakresie jest rozwój idei Komputerowej Integracji Wytwarzania (CIM) do akceptowalnego i stosowanego w realiach przemysłowych poziomu wysoce zaawansowanego przemysłu 4.0.

Można stwierdzić, że autorzy opracowania dostrzegają potencjał, jaki daje obecna technika i możliwości przemysłu 4.0 do kompensacji niektórych dysfunkcji osób niepełnosprawnych, którzy dzięki zaawansowanemu zrobotyzowanemu i zautomatyzowanemu systemom funkcjonującym zgodnie z wytycznymi przemysłu 4.0 mogliby pełnić rolę pracowników w pełni zapewniających osiągnięcie najwyższych celów jakościowych w realizowanym procesie produkcyjnym.

Równie istotny w prezentowanym artykule jest aspekt społeczny w przywróceniu osób niepełnosprawnych do zadań w procesach produkcyjnych, których do tej pory nie kojarzono z osobami niepełnosprawnymi. Do takich zadań można zaliczyć stosunkowo skomplikowane operacje montażu zarówno w branży precyzyjnej mechaniki jak i elektroniki, elektrotechniki.

2. Założenia do opracowania systemu produkcyjnego z wykorzystaniem robotów typu Yumi współpracujących z osobami niepełnosprawnymi ruchowo i intelektualnie

Pomysł na realizację elastycznego gniazda produkcyjnego zrodził się w 2018 roku podczas prezentacji założeń do funkcjonowania Zakładu Aktywności Zawodowej w Wałczu (ZAZ). Wstępne założenia o możliwości wykorzystania robotów kolaborujących (współpracujących z człowiekiem), powstały w Regionalnym Centrum Badawczo-Rozwojowym w Wałczu (RCBR) funkcjonującym przy Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Wałczu (PWSZ). W 2019 roku nawiązano współpracę z firmą ABB, która wyraziła zainteresowanie rozwijaniem współpracy w prezentowanym zakresie.

Pod koniec 2019 roku przeprowadzono badania z osobami niepełnosprawnymi oraz z wykorzystaniem robotów ABB typu Yumi w RCBR w Wałczu. Badania w zakresie stosowania robotów typu Yumi rozszerzono o współpracę z ZAZ w Wałczu.

Roboty przemysłowe typu Yumi to najczęściej dwuramienne konstrukcje o 14 osiach sterowalnych (dla każdego ramienia 7 osi). Wyposażone są w kamery umieszczone w ramionach oraz przyssawki podciśnieniowe co zwiększa ich możliwości manipulacyjne. Dokładność pozycjonowania wynosi 0,02 mm a maksymalna prędkość 1500 mm/s, przy masie przenoszenia 0,5 kg. Ze względu na elastyczne osłony przegubów i inteligentne systemy sterowania są bardzo bezpieczne w kontakcie z pracownikiem z niepełnosprawnościami ruchowymi kończyn górnych.

2.1. Założenia do realizacji elastycznego systemu produkcyjnego współpracującego z osobami z niepełnosprawnościami

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano założenia co do realizacji projektu elastycznego systemu produkcyjnego w oparciu o wspólne stanowisko pracy osób z niepełnosprawnością oraz inteligentnych robotów typu [4, 5, 7].

Do najważniejszych założeń należy to, że człowiek pełni w nim rolę wspomagającą dla kilku podsystemów,

jednak nie musi być odpowiedzialny za końcową dokładność procesu.

Dzięki takiemu podejściu przewiduje się, że:

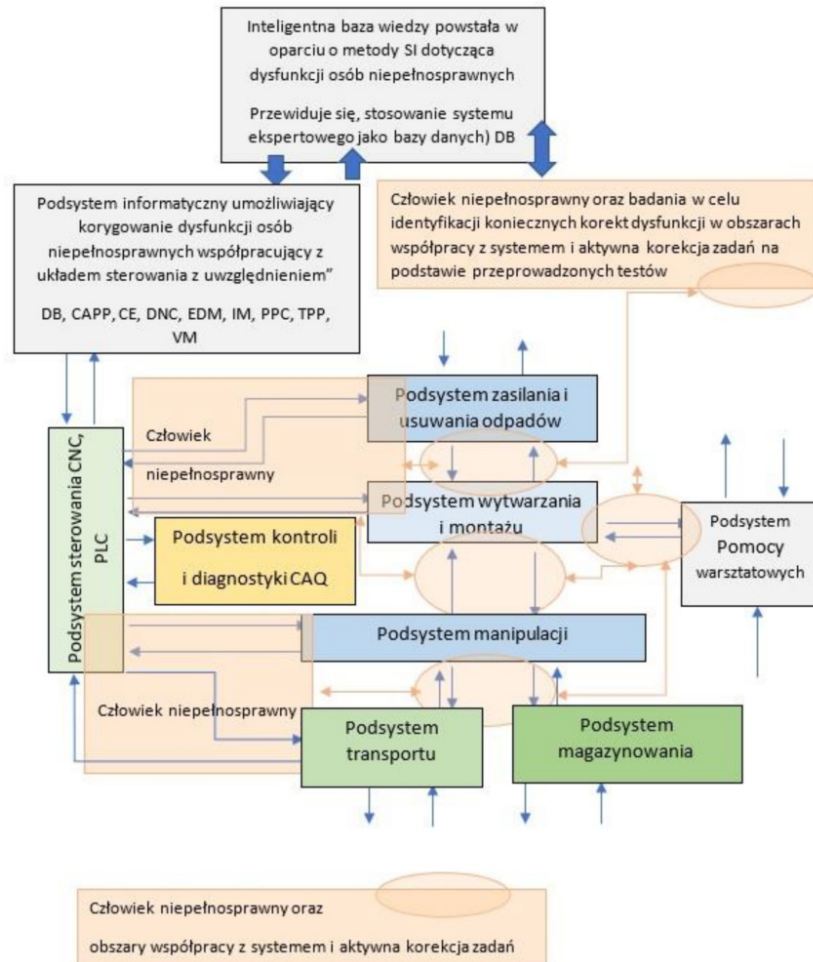
- Osoba niepełnosprawna będzie mogła uczestniczyć w procesie produkcyjnym jako operator kilku podsystemów, głównie wspomagając działanie podsystemu transportu i manipulacji;
- Przewiduje się realizację procesów produkcyjnych z wykorzystaniem małych i lekkich przedmiotów (do jednego kilograma), których przemieszczanie w systemie całkowicie zautomatyzowanym stanowi problem techniczny (np. obrót i ustawienie w strefach buforowych, niesymetryczne o skomplikowanym kształcie itp.);
- Osoba niepełnosprawna poprzez swoją pracę będzie wspomagać funkcję podsystemów strumieniowych wykorzystując swój potencjał ruchowy i synchronizując go ze strumieniem materiałowo-energetycznym oraz informacyjnym;
- Opracowanie elastycznego systemu dla osób niepełnosprawnych ruchowo i intelektualnie stanowi wyzwanie, które może być zrealizowane tylko z wykorzystaniem inteligentnych systemów informatycznych (np. metod sztucznej inteligencji);
- Personalne zadania i harmonogramy pracy dla osób niepełnosprawnych z możliwością ich modyfikacji i douczania nowych kompetencji oraz korekty działania w miarę postępu przywracania do pełnosprawności (przewiduje się badanie sprzężenia zwrotnego owocującego poprawą stanu zdrowia poprzez aktywność zawodową).

3. Charakterystyka obszarów współpracy zespołu organizacyjnego Pracownik Robot typu Yumi z funkcją kompensacji niepełnosprawności człowieka pod wymogi procesów produkcyjnych

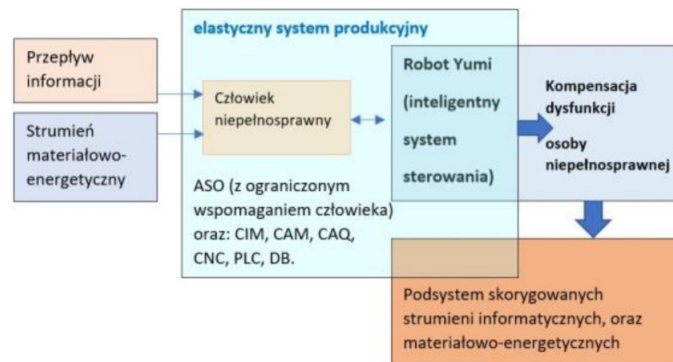
W celu realizacji powyższych celów opracowano strukturę systemu, w którym osoba niepełnosprawna przejmie na siebie część zadań w elastycznym systemie produkcyjnym i będzie stanowić z nim integralną całość (rys. 1).

Autorzy publikacji zdają sobie sprawę, że odpowiednie zdiagnozowanie dysfunkcji a następnie prawidłowe identyfikowanie deficytów ruchowych i intelektualnych a następnie przeniesienie do systemu sterowania, stanowi główny problem techniczny, który należy rozważyć i przeanalizować.

Konieczne jest wprowadzenie niezbędnych danych korygujących, a dysfunkcję osoby niepełnosprawnej potraktować jako swoiste zakłócenie w systemie sterowania procesem (rys. 2).



Rys. 1. Podsystemy funkcjonalne w elastycznych systemach produkcyjnych z wykorzystaniem interakcji z osobami niepełnosprawnymi oraz konieczna rozbudowa systemu sterującego korygującego dysfunkcje osób niepełnosprawnych.



Rys. 2. Schemat kompensacji dysfunkcji osoby niepełnosprawnej, która współpracuje z ASO.

4. Badania

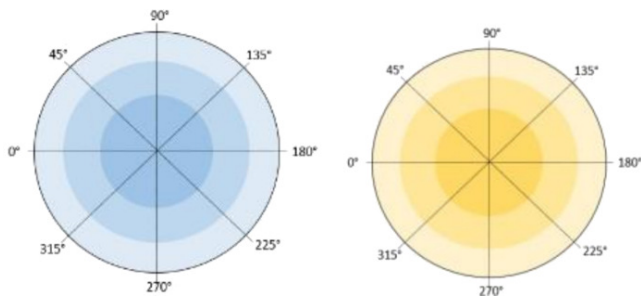
W celu zweryfikowania powyższych założeń wykonano badania wstępne osób z niepełnosprawnościami (pracowników ZAZ w Wałczu). Badania wykonano w RCBR w Wałczu testując tam również funkcjonowanie i dostosowanie robota Yumi do potrzeb współpracy z osobami niepełnosprawnymi (rys. 3).

Osoby poddane badaniu posiadały orzeczenia o niepełnosprawności umiarkowanej i dużej. Charakteryzowały się dysfunkcjami głównie ruchowymi, wynikający-



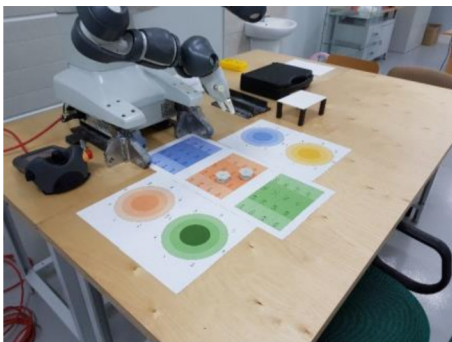
Rys. 3. Robot ABB typu Yumi.

mi z zaawansowanego lub lekkiego porażenia mózgowego. Badania zrealizowano na specjalnie opracowanych kolorowych matach (rys. 4).



Rys. 4. Przykład grafiki stosowanej na matach treningowych dla osób niepełnosprawnych i sprawnych ruchowo.

Badania realizowano w ten sposób, że osoby niepełnosprawne przy specjalnych stanowiskach testowych układały krążki wykonane z tworzywa sztucznego, przenosząc je z wydzielonych obszarów do obszaru docelowego. Analizowano precyzję podjęcia przedmiotu oraz dokładność ustawienia przedmiotu na określonym polu. Na tej podstawie zidentyfikowano błąd pozycjonowania osób niepełnosprawnych analizując odległość od punktu (0) w centralnej części obszaru docelowego, mierząc odległość jako promień względem przemieszczanego krążka (do środka krążka). Plansze umożliwiały również identyfikowanie kąta (przesunięcie kątowe) (rys. 5).



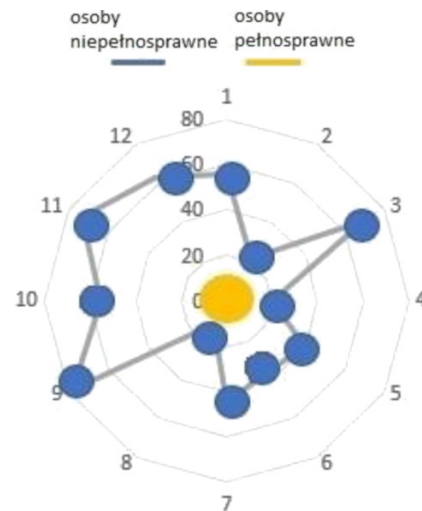
Rys. 5. Stanowisko do testów z wykorzystaniem mat i plansz treningowych oraz robota Yumi.

Przeprowadzone badania umożliwiły dokonanie wstępnych weryfikacji i umożliwiły opracowanie wtycznych do programowania robotów typu Yumi do współpracy z osobami niepełnosprawnymi.

Zaprezentowane wyniki są sumą badań rozpoznawczych stanowiących wstęp do opracowania elastycznego systemu produkcyjnego dedykowanego osobom niepełnosprawnym.

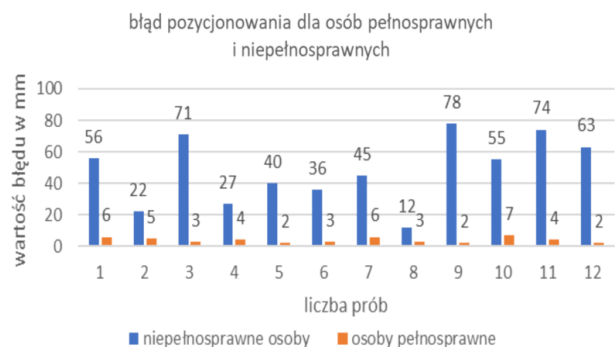
Na rysunku 6 przedstawiono zbiorcze informacje o pozycjonowaniu wybranych 4 osób charakteryzujących się dysfunkcjami ruchowymi o podobnym zaawansowaniu oraz zestawiono z pracą osoby pełnosprawnej. Na wykresie radarowym przedstawiono 12 prób pozycjonowania uwzględniając błąd pozycjonowania mierzony od środka okrągłej planszy testowej. Przedmioty w postaci krążków pobierano z wydzielonego obszaru

i przekładano na dane pole oznaczone kolorem. Każdy z badanych wykonywał próbę po trzy razy. Wyniki zaprezentowano na wykresie radarowym nie uwzględniając kąta położenia krążka względem punktu zero (środek planszy), a jedynie wartość bezwzględną promienia odsunięcia krążka względem środka planszy.



Rys. 6. Różnica między pozycjonowaniem osób niepełnosprawnych a osobami nie wykazującymi dysfunkcji ruchowych kończyn górnych.

Na rysunku 7 przedstawiono zestawienie w postaci wykresu niedokładności pozycjonowania osób sprawnych ruchowo i osób niepełnosprawnych dla 12 prób pozycjonowania.



Rys. 7. Różnica między pozycjonowaniem osób niepełnosprawnych a osobami nie wykazującymi dysfunkcji ruchowych kończyn górnych.

Przedstawiono zestawienie błędów pozycjonowania osób niepełnosprawnych i sprawnych ruchowo, przedstawiając również średnie wartości błędów pozycjonowania dla obydwu grup. Przeanalizowano również średni błąd kompensacji (podany w mm) dla osoby sprawnej i niepełnosprawnej.

5. Wnioski

Przeprowadzone badania wykazały, że nawet kilkunastokrotne pogorszenie dokładności pozycjonowania nie przekreśla możliwości wykorzystania pracy osób niepełnosprawnych we wspólnym obszarze roboczym

z najnowszymi robotami typu Yumi (kolaboracyjnymi), potocznie określanymi jako roboty przemysłu 4.0. Stosunkowo wysoki procentowy ubytek dokładności pozycjonowania może być zredukowany prawie w 100% dzięki zastosowaniu robotów wyposażonych w kamery i odpowiednie oprogramowanie, które może skompensować niedokładności pozycjonowania osoby niepełnosprawnej. Kilkadziesiąt milimetrów nie stanowi znacznego problemu dla odpowiednio opracowanego programu dla robotów współpracujących z człowiekiem na wspólnym stanowisku pracy. Można oszacować, że kompensacja błędu pozycjonowania będzie wahać się w granicach 98–99% wydajności w stosunku do pozycjonowania osoby sprawnej. Można tak stwierdzić, jeśli program sterujący robotem będzie uwzględniał odpowiednio duży obszar analizy obrazu i mógł efektywnie pobierać elementy z obszarów do tego przeznaczonych. Dysfunkcja ruchowa może być więc efektywnie kompensowana. Większym problemem może być zdolność chwytania i szybkość przemieszczania przedmiotu do miejsca docelowego. W trakcie badań obserwowano również ten aspekt i ustalono, że różnice występują na niekorzyść osób niepełnosprawnych do kilku procent czasu całkowitego realizowanych zadań manipulacyjnych i transportowych (badania te są obecnie w toku). Dalsze badania będą zmierzać w kierunku opracowania elastycznego systemu produkcyjnego w rozumieniu możliwości połączenia na jednym stanowisku wszystkich jego podsystemów (ośmiu podsystemów plus trzy przepływowe). Niektóre z zadań podsystemów, przewidziane są do realizacji przez osoby z niepełnosprawnością, których dysfunkcje mają być zidentyfikowane jako zmienne systemu sterowania i skompensowane przez system (w oparciu o metody SI). W tym rozumieniu system sterowania robotem i nadrzędny system sterowania uwzględniający dysfunkcje pracowników z niepełnosprawnością, stałby się systemem nadzorującym i co za tym idzie sterowałby płynnością i precyzją przepływu w całym systemie elastycznego gniazda produkcyjnego.

Wnioski końcowe:

- Rozwijanie i budowa zaproponowanego elastycznego systemu produkcyjnego pod wymogi osób niepełnosprawnych, może przyczynić się do aktywizacji zawodowej osób niepełnosprawnych ruchowo (manualnie) i umożliwić kompensację ich ułomności przy efektywnym udziale robotów typu Yumi.
- Uzyskanie wysokiej jakości i efektywności w realizacji zadań produkcyjnych przez osoby z dysfunkcją manualną i ruchową, poprzez zastosowanie inteligentnych systemów wspomagających, w tym systemów informatycznych opartych na metodach sztucznej inteligencji.
- Podniesienie samooceny osób niepełnosprawnych i opracowanie dla nich atrakcyjnych stanowisk pracy będących rozwiązaniami na miarę XXI wieku, zgodnie z wytycznymi 4.0 rewolucji przemysłowej.
- Konieczne jest opracowanie wytycznych do realizacji zadań produkcyjnych w elastycznym systemie produkcyjnym, którego ważnym elementem będą

dzie współpraca człowieka z robotem przemysłowym. Elementem innowacyjnym badań będzie przebadanie i oszacowanie dysfunkcji pracownika niepełnosprawnego i odpowiednie skompensowanie jego dysfunkcji poprzez optymalne zaprogramowanie inteligentnego robota oraz zdefiniowanie zadań adekwatnych dla realizacji określonego procesu produkcyjnego, realizowanego na odpowiednio przygotowanym stanowisku pracy z osobą niepełnosprawną.

- W dalszych etapach badawczych przewiduje się opracowanie specjalistycznych wytycznych dla zrobotyzowanych stanowisk roboczych z uwzględnieniem strumieni materiałowo-energetycznych i informacyjnych przygotowanych do współpracy z osobami niepełnosprawnymi o określonych dysfunkcjach ruchowych lub intelektualnych. Zaprojektowanie stanowisk (montażowo/produkcyjnych) dla zaobserwowanych dysfunkcji pracowników niepełnosprawnych i wypracowanie optymalnego synergicznego procesu produkcyjnego dla inteligentnych robotów przemysłowych oraz człowieka z dysfunkcją ruchową lub lekką dysfunkcją intelektualną.
- Opracowanie całościowego elastycznego systemu produkcyjnego (ESP) optymalnie współpracującego z człowiekiem (oraz z robotem przemysłowym) w taki sposób, aby poszczególne jego podsystemy funkcjonujące w obszarze roboczym stanowiska roboczego mogły być obsługiwane przez człowieka z dysfunkcją ruchową lub intelektualną (lub z oboma dysfunkcjami) w taki sposób, aby człowiek wykonywał ograniczone działania w zakresie manipulacji, transportu, montażu, dostarczania i usuwania materiałów na stanowisku produkcyjnym. Jednocześnie zapewnienie precyzji montażu oraz innych zabiegów technologicznych realizowane byłoby przez robota o wysokim stopniu automatyzacji i precyzji pozycjonowania, wyposażonego w niezbędne czujniki oraz systemy akwizycji danych wraz z inteligentnym systemem sterowania, który uczyłby się odpowiedniego zachowania wobec osoby z określoną dysfunkcją ruchową lub intelektualną i umożliwiał bezpieczną realizację zadań produkcyjnych (z funkcją wykrywania kolizji oraz działań człowieka zagrażających bezpieczeństwu zarówno jego samego jak i systemu produkcyjnego).
- Przewiduje się zastosowanie robota inteligentnego współpracującego z człowiekiem niepełnosprawnym, jako swoistego przewodnika po zadaniu technologicznym odpowiedzialnego za jakość i dokładność realizowanych procesów produkcyjnych. W takiej konfiguracji rola osoby niepełnosprawnej może być mniej odpowiedzialna i sprowadzać się do czynności pomocniczych. Jest jednak niezbędna, biorąc pod uwagę przepływ materiałów i informacji na stanowisku produkcyjnym. Ogranicza koszty inwestycji w urządzenia pomocnicze (podsystemy manipulacyjne, magazynujące i umożliwiające realizację przepływów materiałowych w obszarze stanowiska produkcyjnego). Zachowuje stanowisko pracy człowie-

ka i podnosi jego przydatność w obliczu dysfunkcji ruchowych i intelektualnych, jakich doświadcza pracownik niepełnosprawny.

Cele społeczne:

- Przywrócenie społeczeństwu osób niepełnosprawnych ruchowo i intelektualnie, jako pracowników realizujących zadania produkcyjne z odpowiednio zaprogramowanymi robotami personalnymi pracującymi według zasad rewolucji 4.0 i dostosowującymi się do dysfunkcji człowieka z nim współpracującego. Podniesienie samooceny pracowników z dysfunkcjami, którzy mogliby pracować na ultranowoczesnych stanowiskach pracy oraz wykonywać zadania na wysokowydajnych stanowiskach pracy oraz realizować odpowiedzialne procesy produkcyjne na wysokim poziomie technicznym. Dzięki temu możliwy byłby dla nich swoisty awans społeczny i ograniczenie wykluczenia społecznego.
- Możliwość rozwoju intelektualnego oraz manualnego we współpracy z inteligentnym robotem (będącym swoistym trenerem osoby niepełnosprawnej). Dla osób (pracowników) o wysokim stopniu inteligencji możliwe byłoby tworzenie stanowisk pracy w pełni umożliwiających wykorzystanie ich walorów umysłowych i kompensujących ich ewentualne wady ruchowe. Dla wszystkich osób charakteryzujących się dysfunkcjami ruchowymi lub intelektualnymi możliwe byłoby dostosowywanie ich możliwości do realizacji procesów produkcyjnych z uwzględnieniem indywidualnych dysfunkcji i prowadzenie swoistej terapii poprzez pracę zawodową.
- Celem pośrednim badań jest zminimalizowanie bezrobocia wśród osób niepełnosprawnych przy zastosowaniu najnowszej techniki i technologii informatycznych oraz systemów zrobotyzowanych, co jest obecnie zadaniem ważnym, aby wraz z rozwojem społecznym minimalizować wykluczenie osób niepełnosprawnych, zapewniając tym osobom atrakcyjne miejsca pracy z wykorzystaniem najnowszych zdobyczy nauki, a tym samym zapewniać tym osobom godziwe wynagrodzenie i awans społeczny.

- Wdrożenie najnowszych technologii produkcji do Zakładu Aktywności Zawodowej, ale także w szerokim zakresie do firm produkcyjnych, które również mogłyby zatrudniać osoby niepełnosprawne na wydzielonych stanowiskach pracy. Umożliwienie realizacji kooperacji z zaawansowanymi technologicznie firmami zarówno z branży mechanicznej jak i technologii IT.

Literatura

- [1] Gajer M., *Zastosowanie wybranych typów sieci neuronowych do rozpoznawania obrazów*, Pomiary, Automatyka, Robotyka, 1, 5–10, 2001.
- [2] Galicki M., *Wybrane metody planowania optymalnych trajektorii robotów manipulacyjnych*, WNT, Warszawa, 2000.
- [3] Hasselbach J., Frindt M., Kerle H., *Zur Struktursystematic von Parallelrobotern*, Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik (TWF), TU Braunschweig, 2001.
- [4] Honczarenko J., *Elastyczna automatyzacja wytwarzania. Obrabiarki i systemy obróbkowe*, WNT, Warszawa, 2000.
- [5] Honczarenko J., *Roboty przemysłowe. Elementy i zastosowanie*, WNT, Warszawa, 2009.
- [6] Jardzioch A., Skobiej B., *Petri net implementation in queue algorithms analysis for flexible manufacturing systems*, Foundations of Computing and Decision Sciences, 36, 3–4, 207–210, 2011.
- [7] Knosala R., *Zastosowana metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji*, WNT, Warszawa, 2002.
- [8] Kost G., Lebkowski P., Węsierski Ł., *Automatyzacja i robotyzacja procesów produkcyjnych*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, 2013.
- [9] Nof S.Y., *Springer Handbook of Automation*, Springer, Dordrecht-Heidelberg-London-New York, 2009.