

# Bezpieczna interakcja człowieka z robotem – realna potrzeba czy chwilowy trend wśród krajowych MSP

Joanna Kulik, Łukasz Wojtczak

Przemysłowy Instytut Automatyki i Pomiarów PIAP, Al. Jerozolimskie 202, 02-486 Warszawa

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono problematykę robotyzacji małych i średnich przedsiębiorstw produkcyjnych w Polsce, w szczególności z uwzględnieniem robotów kooperacyjnych i kolaborujących. Omówiono aktualne światowe trendy rozwoju robotyki przemysłowej w tych właśnie obszarach. Jednocześnie podniesiono aspekt bezpieczeństwa, jako najistotniejszego elementu bezpośredniej interakcji człowieka z robotem. Zaprezentowano zdobywające coraz większą popularność kierunki współpracy człowieka i robota, które są w praktyce realizowane na stanowiskach produkcyjnych. Pierwszy z nich to kooperacja, rozumiana jako współpraca człowieka z robotem, w wykonaniu niemal standardowym – w wersji sterowania zwanej potocznie safety – bez ogrodzeń. Z kolei drugi, to kolaboracja i pod tym pojęciem rozumie się współpracę człowieka „ramię w ramię”, z robotem.

**Słowa kluczowe:** robotyzacja produkcji, roboty przemysłowe, MŚP, kooperacja, kolaboracja, kobot robotyzacja produkcji, roboty przemysłowe, MŚP, kooperacja, kolaboracja, kobot

## 1. Historia robotyki z punktu widzenia człowieka

Termin „robot” wywodzi się z Czech. Po raz pierwszy tego określenia użył w 1921 r. czeski pisarz Karel Čapek w sztuce *Roboty uniwersalne Rossuma* (R.U.R). Pojęcie to określało maszynę–niewolnika, która zastępowała człowieka w najbardziej uciążliwych zajęciach [1]. Z kolei słowo „robotyka” po raz pierwszy zastosował w swoim opowiadaniu *Zabawa w berka* (ang. *Runaround*) rosyjski pisarz science fiction Isaac Asimov w 1942 r. On również jest autorem trzech praw robotyki, według których powinny być programowane roboty:

- Robot nie może zranić istoty ludzkiej, ani nie może przez zaniedbanie narazić człowieka na zranienie.
- Robot musi spełniać polecenia wydawane przez człowieka, poza poleceniami sprzecznymi z prawami o wyższym priorytecie.
- Robot musi chronić samego siebie dopóki, dopóty nie jest to sprzeczne z prawem o wyższym priorytecie [1].

### Autor korespondujący:

Łukasz Wojtczak, lwojtczak@piap.pl

### Artykuł recenzowany

nadesłany 18.12.2017 r., przyjęty do druku 09.02.2018 r.



Zezwala się na korzystanie z artykułu na warunkach licencji Creative Commons Uznanie autorstwa 3.0

Nieco później ten sam autor określił nadrzędne prawo (prawo zerowe), według którego robot nie może skrzywdzić ludzkości, ani przez zaniechanie działania doprowadzić do uszczerbku ludzkości.

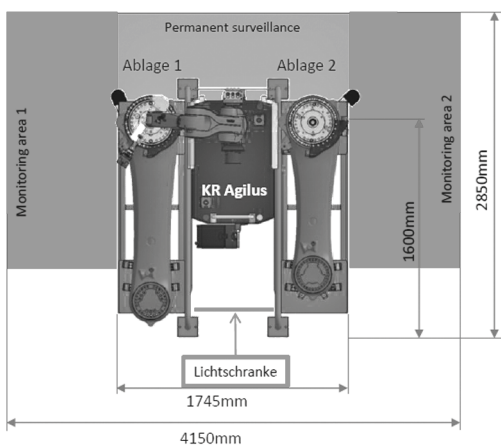
Zasady, według których miały działać inteligentne roboty, powstały dużo wcześniej zanim zostało skonstruowane pierwsze takie urządzenie. Dopiero w 1954 r. amerykański konstruktor George Devol, przy współpracy z Josephem Engelbergerem, stworzył pierwszy egzemplarz programowanego robota, który został opatentowany dwa lata później. Następnie założyli oni firmę Unimation Incorporation, która jako pierwsza zaczęła produkować roboty przemysłowe. Pierwszy robot przemysłowy nosił nazwę UNIMATE (od nazwy jego producenta – firmy UNIMATION) i został uruchomiony na linii produkcyjnej samochodów w jednej z fabryk General Motors w 1961 r. Przyjmuje się, że to właśnie wydarzenie z 1961 r. stało się początkiem rozwoju robotyki jako dziedziny wiedzy [2].

Prawa wymyślone przez Asimowa zakładające, iż robot będzie miał prawa i będzie potrafił podejmować decyzje, a tym bardziej przewidywać skutki swoich działań, zostały przyjęte zanim pojawił się pierwszy robot. Na początku były mocno krytykowane, mimo że niosły wyraźny przekaz, iż człowiek jest w hierarchii dużo wyżej niż sam robot i bezpieczeństwo człowieka jest najważniejszym aspektem.

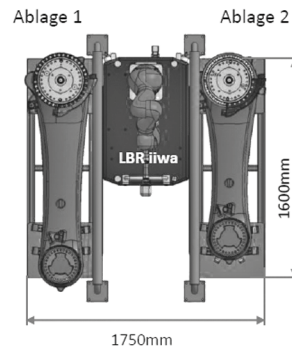
Dopiero w 2004 r. podczas targów robotyki w Fukuoka w Japonii sformułowano uwspółcześnione prawa robotyki:

1. Roboty następnej generacji będą partnerami współgzystrucyjnymi z istotami ludzkimi.
2. Roboty następnej generacji będą pomagać istotom ludzkim, zarówno fizycznie jak i psychologicznie.
3. Roboty następnej generacji będą współuczestniczyć w tworzeniu bezpiecznej i pokojowej społeczności.

Cell with KR Agilus (Coexistence) ⇒ 12 m<sup>2</sup>



Cell with LBR iiwa (Cooperation) ⇒ 3 m<sup>2</sup>



**Rys. 1** Porównanie miejsca zajmowanego przez stanowisko w przypadku tradycyjnej celi oraz celi z kobotem. Na lewym rysunku, na pomarańczowo i szaro zaznaczony jest obszar pracy robotów, który winien znajdować się wewnątrz ogrodzonego stanowiska. Po prawej stronie ta sama instalacja z wykorzystaniem kobotów

Fig. 1. Required space for Coexistence and Cooperation/Collaboration. On the left picture (orange and gray), the robot's work area is marked, which should be inside the fenced area. On the right the same installation with cobots

W XXI w. z uwagi na fakt, iż powstanie nowej generacji robotów było już tylko kwestią czasu, zaczęto poważnie myśleć o robotyce, w szczególności o stosunkach człowieka z obiektami obdarzonymi sztuczną inteligencją. Po raz pierwszy pojęcie to zostało wprowadzone w 2002 r. przez prezesa European Robotics Research Network (EURON) Gianmarco Veruggio. W 2006 r. powstał pierwszy dokument, ogłoszony w Genewie przez EURON *Roboethics Roadmap*, wskazujący na cele i zagadnienia, którymi musi zająć się ludzkość, aby harmonijnie współpracować ze sztuczną inteligencją [3].

Analizując historię robotyki w przemyśle można zauważyć, że początkowo celem było tylko odsunięcie człowieka od niebezpiecznego lub żmudnego procesu produkcyjnego. Roboty w przemyśle miały zastąpić człowieka przy wykonywaniu prac monottonnych i powtarzalnych. Miały przenosić ciężary, pracować w środowisku groźnym dla zdrowia i życia człowieka. Jednak musiały być odseparowane od człowieka by zapewnić bezpieczeństwo pracy. Specjalne bariery wejścia w obszar pracy robota wraz z systemami alarmującymi były (i nadal w dużej części są) nieodłącznym elementem stanowisk zrobotyzowanych. Stąd też, ze względu na charakter pracy w przemyśle, robot zawsze był uważany za maszynę silną, ciężką i stanowiącą potencjalne zagrożenie.

Obecnie robotyka jest jedną z najbardziej dynamicznie rozwijających się dziedzin nauki i przemysłu. Śmiało wkracza niemal w każdy obszar naszego życia pokonując kolejne bariery, zarezerwowane w przeszłości dla człowieka. Dzieje się tak z dwóch powodów. Pierwszym z nich jest coraz lepsza mechanika robotów. Nowe materiały, napędy, stosowanie złożonych obliczeń dla optymalizacji konstrukcji robotów sprawiają, że konstrukcje robotów lepiej odpowiadają na stawiane im wymagania. Coraz większa dostępność i funkcjonalność systemów współpracujących z manipulatorami umożliwia stosowanie w nowych branżach. Nowe typy coraz lepszych czujników, systemy wizyjne i inne rozwiązania techniczne pozwalają na coraz szersze i śmiałe implementowanie rozwiązań zrobotyzowanych w miejscach, w których do chwili obecnej takie wdrożenia nie były możliwe.

Drugą przyczyną (ale zdecydowanie bardziej istotną niż pierwsza) wciąż rosnącej popularności systemów zrobotyzowanych są tworzone nowe i doskonalsze systemy sterowania. Systemy sterowania, kontroli, a przede wszystkim pewność ich działania, odporność na błędy, stosowana redundancja tak programowa jak i wyposażenia, stoją za nowymi kierunkami rozwoju robotyki w kooperacji i kolaboracji. Roboty kolaborujące, pracujące ramię w ramię z człowiekiem, coraz częściej zwane są kobotami (ang. *cobot*). Aktualne potrzeby krajowych firm w zakresie optymalizacji aplikacji zrobotyzowanych

Obecny rynek standardowych rozwiązań zrobotyzowanych stanowisk produkcyjnych jest relatywnie stabilny. Można dodać, że rynek polski należy do dynamicznie rozwijających się, wciąż jednak pozostając w tyle za europejską czołówką w tym obszarze. Roboty pracując na różnych stanowiskach wyręczają w trudnych i niebezpiecznych pracach człowieka. Bezpieczeństwo jest zapewnione przez odizolowanie człowieka od obszaru pracy robota. Tym samym rozwiązania takie prezentują zalety związane z pełnymi możliwościami wykorzystania parametrów technicznych manipulatorów. Okupione jest to relatywnie dużym zapotrzebowaniem na powierzchnię stanowiska i brakiem możliwości, choćby minimalnej współpracy człowieka z robotem. Aby taka wspólna praca mogła mieć miejsce, w obszarze pracy manipulatora, w tradycyjnym pojmowaniu stanowisk zrobotyzowanych, winno dojść do zatrzymania systemu automatyki. Jest to zdanie nieco na wyrost – nawet w przeszłości możliwe było współdziałanie człowieka z robotem, w obszarze pracy tego ostatniego, jednak z silną detekcją takiego stanu, np. za pomocą wyłączników krańcowych itp. rozwiązań bezpiecznych.

Kolejnym parametrem istotnym dla przedsiębiorcy w procesie produkcji, jest oczywiście nadal wydajność i wykorzystanie mocy produkcyjnych. Natomiast nowa jest potrzeba otwartości systemów automatyzacji, zwiększanie ich możliwości adaptacyjnych do zmieniających się wymagań i potrzeb klientów, w kontekście produktu. Powoli normą staje się nie produkcja masowa, ale spersonalizowana. Pod tym pojęciem rozumie się produkcję nadal znacznych wolumenów wyrobów, ale np. jednorazowo w mniejszych partiach, z częstymi zmianami asortymentu, w wariantach, czy to kolorystycznych, czy to wyposażenia danego produktu itp. Na tym tle niemal koniecznością staje się takie projektowanie i wykonawstwo systemów automatyki i robotyki, by odpowiadały na te właśnie potrzeby. Pewną odpowiedzią na tak postawione wymaganie może być dopuszczenie człowieka na obszar pracy robota dla zrealizowania pewnej części montażu, który nie zawsze występuje w toku produkcji detalu i nie podlega automatyzacji.

Przedsiębiorcy coraz głośniejszą mówią o tym, że najważniejsza dla nich oprócz wydajności staje się elastyczność systemu, maksymalne skrócenie czasu jego przeobrażenia. Coraz częściej o przewadze konkurencyjnej nie decyduje tylko cena, ale też szybkość dostawy, gwarancja jakości, elastyczność dostaw i czas reakcji na określone zamówienie. Aby utrzymać pozycję na rynku, niemal koniecznym staje się coraz bardziej indywidualne podejście do realizacji zleceń, w ich czasowo zmieniającej się różnorodności. Na tym tle nowego znaczenia nabiera czas realizacji zamówienia, który na nowo staje się przedmiotem gry rynkowej.

Coraz droższa również staje się powierzchnia produkcyjna oraz magazynowa, szczególnie w bezpośrednim sąsiedztwie dużych miast. Tym samym równie ważną obecnie potrzebą, jak duża elastyczność, jest taka organizacja produkcji, rotacji zapasów i produktu, aby także tutaj minimalizować nakłady. Optymalizacja miejsca na linie produkcyjne oraz najlepsze wykorzystanie powierzchni magazynowych są obecnie bardzo wysoko na liście potrzeb producentów.

Coraz droższa jest sama praca, wciąż rosnące płace stanowią ekonomiczną presję na przedsiębiorców. Tym samym w ten nurt siłą rzeczy musi wpisywać się krajowa robotyzacja. W takim przypadku niezwykle pomocne okazują się zaawansowane systemy sterowania i kontroli na każdym etapie produkcji. Elektroniczny nadzór pozwala jednocześnie na optymalne wykorzystanie maszyn do realizacji zamówień, jak i przestrzeni magazynowej do składowania materiałów i produktów. Nawet w niewielkiej firmie produkcyjnej wprowadzenie optymalizacji funkcjonowania stanowisk zrobotyzowanych, powiązanych z danymi o stanach magazynowych, zamówieniach itd. jest istotnym składnikiem obecności na rynku, utrzymania się na nim, a także zwiększania w nim udziału.

Podsumowując, aktualne potrzeby krajowych przedsiębiorców nie tylko ograniczają się do postawienia stanowiska zrobotyzowanego w zakładzie produkcyjnym, w jego fizycznej postaci, ale też wypracowania algorytmów sterowania i kontroli, które cały cykl życia produktu (usługi) wprowadzą na tory optymalnego wykorzystania wszystkich zasobów. Jakie zmiany winny być wprowadzane oraz na czym polega istota modernizacji w obszarach optymalizacji instalacji zrobotyzowanych w relacji do wyżej przytoczonych zmieniających się uwarunkowań zewnętrznych?

Jedną z możliwych odpowiedzi, na tak postawione pytanie jest teza, że przedsiębiorcom, szczególnie obecnie, zależy na minimalizacji miejsca zajmowanego przez stanowisko, przy zachowaniu pełnych jego wartości technicznych. Jednym z możliwych kierunków osiągnięcia takiego efektu jest skorzystanie z silnie rozwijanego obecnie kierunku bliskiej współpracy człowieka z maszyną. Aplikacje zrobotyzowane tym samym winny spełniać takie wymagania techniczne i formalne, by możliwe było ich bezpieczne użytkowanie, przy założonej minimalnej przestrzeni potrzebnej do ich poprawnego technicznie funkcjonowania.

Systemy wizyjne, skanery, maty naciskowe, czujniki w połączeniu z szafami sterowniczymi robotów wykonanymi w wersji „safety” pozwalają na minimalizację miejsca potrzebnego pod aplikację, przy zachowaniu niemal pełnej funkcjonalności systemu standardowego. W obszarze szaf sterowniczych dedykowanych do współpracy z czujnikami i systemami wykrywającymi obecność człowieka w strefie pracy manipulatora, można spotkać się z różnymi rozwiązaniami programowymi i wyposażenia,

które pozwalają na bezpieczne podłączenie systemów czujników zgodnie z wymaganiami przepisów prawa. Systemy takie umożliwiają pracę robota w przestrzeni, w której może pojawić się człowiek, bazując tylko na sygnałach pochodzących z czujników, skanerów i mat.

## 2. Cooperation czy collaboration – wady i zalety poszczególnych rozwiązań

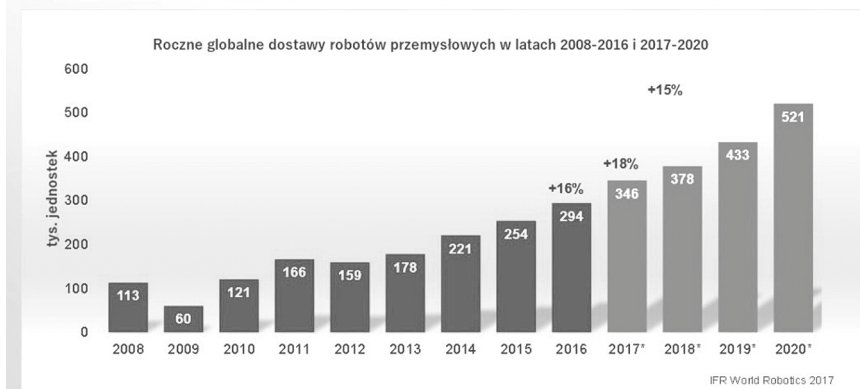
Nowy typ robotów współpracujących z człowiekiem – kobotów, zaprezentowano na targach branżowych już w 2013 r. Obecnie na rynku, oprócz prekursora kierunku – firmy Universal Robots, oferują je prawie wszyscy czołowi producenci tradycyjnych robotów przemysłowych. Według Międzynarodowej Federacji Robotyki (IFR) nastąpi wzrost wartości rocznej sprzedaży robotów przemysłowych na całym świecie o średnio 15% rocznie w latach 2018–2020 [4]. Dla robotów współpracujących prognozy te są jeszcze lepsze. Według firmy Transparency Market Research średnioroczny wzrost do 2024 r. wyniesie 30%. Według prognoz wartość światowego rynku robotów współpracujących zwiększy się z 116 mln dolarów w 2016 r. do 950 mln dolarów w 2024 r. [5].

Koboty są przeznaczone do bezpośredniej współpracy z człowiekiem, powinny więc zachęcać do tego już samym swoim wyglądem. Poszczególni producenci wprowadzając kolejne roboty tego typu zmieniają ich wygląd na bardziej przyjazny dla człowieka. Kształt i wygląd ramienia robota jest bardziej opływowy, bez żadnych wystających elementów, dodatkowo powierzchnia robotów często pokryta jest specjalnym materiałem, np. miękkim tworzywem. Wyposażone są w specjalne systemy wykrywające wartości sił wywieranych na ramię, które zapewnijają w sprzężeniu zwrotnym, ograniczenie użycia siły w przypadku kolizji z człowiekiem. Obecnie roboty ze względów bezpieczeństwa dysponują niewielkimi mocami, małym udźwigniem, są lekkie i „wrażliwe”. Dzięki integracji układów sensorycznych, systemów bezpieczeństwa, dostosowanych do współpracy z człowiekiem oraz lekkiej konstrukcji, mogą z wyczuciem pracować w bezpośrednim kontakcie z człowiekiem.

Wprowadzenie robotów współpracujących spowodowało również istotne zmiany w sposobie programowania manipulatorów. Celem było, aby w powiązaniu z przyjaznością fizycznej konstrukcji robota, występowało także maksymalne ułatwienie programowania. Większość z dostępnych robotów współpracujących można tym samym programować przez bezpośrednie uczenie, czyli ręczne prowadzenie robota po trajektorii, jaką powinien później realizować. Nowością, którą wprowadza robotyka współpracująca jest znakomite upraszczanie programowania, dla maksymalnego ułatwienia uruchamiania robota do nowych aplikacji




### 1, 7 mln nowych robotów przemysłowych w roku 2020

IFR  
International  
Federation of  
Robotics



Rys. 2 Roczne globalne dostawy robotów przemysłowych w latach 2008–2016 i 2017–2020 [4]

Fig. 2. Annual global delivery, industrial robots in years 2008–2016 and 2017–2020 [4]

Aplikacje	Osobne przestrzenie pracy człowieka i robota	Wspólna przestrzeń pracy człowieka i robota
Przetwarzanie sekwencyjne	(brak interakcji)	
Jednoczesne przetwarzanie		

Rys. 3 Wizualizacja różnych form stanowisk zrobotyzowanych, z punktu widzenia współpracy z człowiekiem  
Fig. 3. Visualization of various forms of robotic applications, from the point of view of cooperation with people

i adaptacji programu – w przypadku zmiany asortymentu – dla instalacji już istniejących. Dodatkowym czynnikiem wpływającym na atrakcyjność rozwiązań związanych z niewielkimi robotami współpracującymi jest możliwość pracy w małej przestrzeni produkcyjnej. Obecnie roboty te mają pewne ograniczenia w stosunku do tradycyjnych w manipulatorów przemysłowych. Dotyczą one dwóch ważnych kwestii – udźwigu robota i szybkości ruchu w bezpośredniej bliskości człowieka [6]. Roboty kolaboracyjne nadają się więc do aplikacji operowania detalami o relatywnie niewielkich masach z niewielkimi szybkościami.

Podkreślić należy, że bliska współpraca robot–człowiek, jest jednym z zasadniczych kierunków rozwoju współczesnych robotów. Ostatnio niemal wszędzie słychać głosy o inteligentnych robotach współpracujących i ten trend wyraźnie nabiera tempa. Jednocześnie, można powiedzieć równolegle rozwija się tzw. kooperacja czyli bezpieczna praca człowieka z robotem bez wygradzeń. Tutaj człowiek wraz z robotem występują we wspólnej przestrzeni roboczej, lecz nie występuje między nimi żadna interakcja.

Nie ma wątpliwości, że największym wyzwaniem, gdy mowa o współpracy człowieka z robotem, jest zapewnienie najwyższego poziomu bezpieczeństwa dla operatora, przy jednoczesnej maksymalizacji wykorzystania parametrów pracy robotów – zarówno dla stanowisk kooperacyjnych, gdzie w chwili ingerencji człowieka w obszar pracy robota, dochodzi do bezpiecznego zatrzymania pracy manipulatora, musi być ten ubytek wydajności wzięty pod uwagę. Jednocześnie zaletą takiego rozwiązania jest otwarty dostęp do niemal pełnej gamy robotów przemysłowych, w szczególności ich udźwignię, zasięgów i prędkości.

Stanowisko zrobotyzowane gwarantuje minimalizację przestrzeni potrzebnej do pracy, co odbywa się kosztem zmniejszenia wydajności pracy instalacji, jak i możliwość pracy człowieka z robotem (zatrzymanym), co jest przydatne w systemach podawania detali delikatnych, które człowiek umieszcza ręcznie w bezpośrednim obszarze pracy robota. Gdy w toku realizacji procesów produkcji występuje konieczność bezpiecznej interakcji we wspólnej przestrzeni roboczej człowieka z robotem (robot jest tzw. trzecią ręką), najlepszym rozwiązaniem jest wdrożenie stanowiska z kobotem. Ceną za taki komfort funkcjonowania stanowiska człowiek–robot, jest dostosowanie się do udźwignię manipulatorów na poziomie do 35 kg i optymalizacja prędkości do bezpiecznej przy danym udźwigu manipulatora.

W przypadku pracy z tradycyjnym robotem bez wygradzeń ważne jest zapewnienie bezpiecznej pozycji, zatrzymania i bez-

piecznej prędkości pracy robota uzależnionej od odległości na linii człowiek–robot.

#### 4. Normy oraz wytyczne w zakresie HRC

Zanim powstała finalna wersja normy dotycząca bezpieczeństwa robotów i systemów zrobotyzowanych minęło kilkadziesiąt lat od pojawienia się pierwszego ich przedstawiciela. Przygotowanie właściwego, znormalizowanego dokumentu dotyczącego tego ważnego aspektu, jakim jest bezpieczeństwo, wymagało poznania zagrożeń, a w rzeczywistości badań nad ich źródłami. W 2011 r. została opublikowana dwuczęściowa norma zasadnicza ISO 10218-1 i 2. Pierwsza część ISO 10218-1 dotyczy samych robotów, a druga ISO 10218-2 obejmuje systemy zrobotyzowane. Normy te zawierają wytyczne i wymagania bezpieczeństwa dotyczące tradycyjnych robotów przemysłowych. Nie uwzględniono w nich tym samym kobotów – robotów współpracujących, dlatego w połowie lutego 2016 r. jako uzupełnienie do tej normy opublikowano specyfikację techniczną ISO/TS 15066. Dokument zawiera wytyczne dla aplikacji przemysłowych, w których robot i człowiek pracują obok siebie, ramię w ramieniu [7].

W specyfikacji ISO/TS 15066 wyszczególniono cztery rodzaje (rys. 5) instalacji współpracujących (ang. *collaborative operations*) [8]:

1. Bezpieczeństwo oceniane – monitorowane zatrzymanie (ang. safety-rated monitored stop) – zatrzymanie jest zapewnione bez konieczności wyłączenia mocy; w tym przypadku człowiek i system robotyczny nie mogą poruszać się w jednym czasie.
2. Prowadzenie ręczne (ang. hand-guiding) – ręcznie sterowany system robotyczny, system robotyczny i człowiek mogą poruszać się jednocześnie; kobot jest kontrolowany przez operatora.
3. Monitorowanie prędkości i oddzielania (ang. speed and separation monitoring) – prędkość systemu robotycznego będzie sterowana w oparciu o odległość między nim a intruzem. Obecnie wykorzystywane są do tego urządzenia zewnętrzne, m.in. skanery i czujniki wizyjne, które w przyszłości będą zintegrowane z systemem robotycznym. W tym przypadku człowiek i robot współpracujący mogą poruszać się jednocześnie. System robotyczny zwolni w miarę zbliżania się do obiektu. Możliwe jest zatrzymanie przed obiektem lub uderzenie z siłą określoną w specyfikacji.
4. Ograniczenie mocy i siły (ang. power and force limiting) – prędkość, moment obrotowy i ruch sterowane są w taki sposób, że ból nie będzie odczuwalny lub człowiek nie zostanie

zraniony. W tym przypadku system robotyczny i człowiek pracują jednocześnie, a siła, prędkość i ruch są w pełni kontrolowane – aplikacja nie spowoduje bólu czy uszkodzenia ciała, nie ma też potrzeby stosowania dodatkowych tradycyjnych zabezpieczeń, klatek, systemów czujników. Parametry są określane na podstawie analizy ryzyka.

## 5. Analiza stanu gotowości krajowych MŚP na nowe trendy w robotyce

Od początku istnienia roboty spawaly, zgrzewaly, przenosiły, malowały i realizowały inne czynności, które wykonują również obecnie. Zmianą znaczącą jest rozwój kobotów, który przyczynia się do powstawania nowej jakości w wykorzystaniu robotów przemysłowych. Rosnące wymagania klientów i globalna konkurencja to czynniki, które powodują, że jest koniecznością szybkie reagowanie MŚP na nowe potrzeby. W szczególności podmioty właśnie z tego obszaru winny stawiać na dynamikę w dostosowaniu się do potrzeb i wymagań ich klienta w zakresie szybkości i zmienności zamówień.

Obecnie dla odbiorcy powoli zmniejsza się znaczenie ceny, a najważniejszym parametrem staje się czas dostawy i możliwość wprowadzania personalizacji w produktach (ciekawym przykładem mogą być np., imienne kalendarze książkowe, gdzie z bazy danych pobierane są dane osoby i nanoszone na okładkę).

W ogólnym obrazie krajowego rynku kształtuje się podział na firmy duże lub bardzo duże o znacznej bezwładności, niewielkiej podatności na szybkie zmiany w procesie produkcji, czy w samym produkcie oraz na firmy MŚP, które swoją główną przewagą konkurencyjną budują na możliwości szybkiego dostosowania się do zmieniających wymagań klienta. Krótsze czasy dostaw oraz personalizowanie wyrobów sprawiają, że firmy takie będą w tym obszarze swoje pozycje umacniać. Jednocześnie pewnym zagrożeniem, paradoksalnie, może być wdrażanie przez największych graczy w danej branży idei Przemysłu 4.0. U podstaw tego kierunku leży właśnie adaptacyjność i personalizacja produkcji masowej.

Polskie przedsiębiorstwa, aby móc sprawnie działać na globalnym rynku, muszą oferować pod wieloma względami konkurencyjne produkty. Liczy się właśnie jakość, czas, wydajność, indywidualne podejście do klienta i innowacyjny produkt, i tu zastosowanie kobotów wydaje się idealnym rozwiązaniem. Roz-

wiązaniem niemal doskonałym, także z punktu widzenia przyjętej filozofii samych producentów kobotów, związanej również z upraszczaniem procesu programowania. Zmiana asortymentu, wejście nowego typu produktu, krótkiej partii wyrobu itp. musi być procesem wysoko zautomatyzowanym (zrobotyzowanym), ale też powinno minimalizować nakład czasu na nowe uruchomienie. Skupiając się na pracy samych robotów, nie sposób odejść od idei procesu produkcji, która określa drogę produktu do finalnego wyrobu. Od jego wersji surowej, elementów podstawowych i składowych po obróbkę, kształtowanie, konfekcjonowanie produktów itp., aż do docelowego wyrobu. Tym samym roboty umieszczone w danym miejscu procesu współpracują ze sobą albo z innymi maszynami, ale też bardzo często z człowiekiem. Człowiek jest nie tylko operatorem stanowiska, ale czynnym uczestnikiem procesu produkcji, który odpowiada także za poprawny montaż bardziej skomplikowanego mechanizmu, poprawne pomalowanie elementu itp. Nasuwa się pytanie, czy polskie MŚP są gotowe, aby pominąć wcześniejsze etapy automatyzacji, robotyzacji i wprowadzić w swoich zakładach innowacyjne koboty, bez wygrożeń, które będą pracowały nie tylko obok człowieka, ale „ramię w ramię” z nim? Oczywiście aspekty techniczne stanowią w tym momencie coraz mniejszą barierę we wdrażaniu tego typu rozwiązań. Dochodzimy jednak do ważnego elementu, czyli płaszczyzny społecznej współpracy człowieka z robotem – w jakim stopniu pracownicy są gotowi na akceptację pracy w tak bliskim sąsiedztwie z urządzeniem?

Można wyobrazić sobie zakład produkcyjny, w którym do tej pory nie było zaawansowanych maszyn, robotów i nagle na linii, na której pracują ludzie są instalowane koboty. Jest to wyzwanie dla wszystkich uczestników procesu. Zarówno dla integratorów, którzy biorą odpowiedzialność za właściwe zaprojektowanie, wytworzenie, posadowienie i uruchomienie instalacji, jak i, a może przede wszystkim dla użytkowników systemu. Tak na poziomie zarządu firmy (jak się taka instalacja sprawdzi ekonomicznie), jak i w znaczącej części dla bezpośredniej obsługi stanowiska. Znane jest niepokojące uczucie przebywania w pobliżu głośnego urządzenia czy elementów mechanicznych, które w bliskości człowieka poruszają się relatywnie szybko. Te uczucia także mogą towarzyszyć obsłudze. Powodować pewien niepokój, że za plecami porusza się robot – nawet jeśli robi to z niewielką prędkością i pewnością zatrzymania w przypadku kolizji.



Rys. 4 Przykłady dostępnych kobotów oferowanych przez czołowych producentów robotów: obecnie – udźwig od 500 g do 35 kg; trend – udźwig od 20 kg do 150 kg  
Fig. 4. Examples of available robots, offered by leading robot manufacturers: currently – capacity from 500 g to 35 kg; trend – capacity from 20 kg to 150 kg

# Klasyfikacja HRC



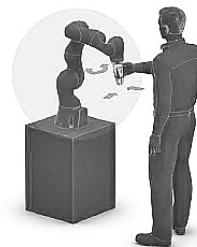
Metoda 1 – Bezpieczne zatrzymanie



Metoda 2 – "Prowadzenie za rączkę"



Metoda 3 – Płynna zmiana prędkości



Metoda 4 – Limit Siły

Rys. 5. Rodzaje instalacji współpracujących wg ISO/TS 15066:2016  
Fig. 5. Types of cooperating installations according to ISO/TS 15066: 2016

Większym wyzwaniem jest praca robotów kooperacyjnych – standardowych, ale pracujących bez ogrodzeń, a zapewniających bezpieczeństwo człowieka przez wprowadzenie czujnikowanych stref. Strefa detekcji obecności człowieka i zmiana prędkości ruchów roboczych, aż do zatrzymania manipulatora po przekroczeniu danego rewiru przez operatora, to ile dla współpracy z kobotami, komfort pracy, jest w pewnym zakresie zapewniony przez ich niewielkie wymiary, przyjazny wygląd, obłe kształty itp., o tyle dla stanowisk z robotami tradycyjnymi ich praca bez wygrodzenia może robić pewne niemiłe wrażenie. Widząc robota o udźwigu nawet „tylko” 300 kg, który operuje dodatkowo elementem o dużych gabarytach i nic poza przestrzenią nie dzieli go od obserwatora, można odczuć pewien rodzaj fizycznie namacalnego dyskomfortu. Przykładem realizacji tego typu stanowiska mogła być instalacja, gdzie duży robot operował na linii produkcyjnej, ale z powodów niewielkiej dostępności przestrzeni, w toku pracy zajmował również część pieszego ciągu komunikacyjnego. Może nie był to najbardziej uczęszczany obszar hali produkcyjnej, ale silne wrażenia, jakie każdorazowo towarzyszyły przechodzącym obok stanowiska, kazały jednak zadać pytanie o w pewnym sensie społeczny i emocjonalny koszt takiej instalacji.

Kierunki kolaboracji i kooperacji w robotyce, które są w dającym się obserwować trendzie silnie wznoszącym, najpewniej nie wyprą tradycyjnej robotyki w pełni, ale udział tego typu rozwiązań będzie wciąż rósł. Obecnie wydaje się jesteśmy na etapie wprowadzania do zakładów wytwarzania systemów, które w założeniu stosowania rozwiązań technologicznych produkcji nie były dla tych zakładów przewidziane, a to może stanowić pewne wyzwanie. Wydaje się jednak, że z czasem i same procesy oraz technologie będą tak projektowane i realizowane technicznie, aby uwzględniły w samych swoich założeniach miejsce dla stanowisk kolaboracji i kooperacji między człowiekiem i robotem.

Bardzo krótki czas życia produktu wymusza daleko idącą elastyczność tak systemów produkcji, jak i technologii. Daje to rezultat w postaci eskalacji żądań ze strony producentów skierowanych do dostawców robotów, by te jak najlepiej odpowiadały na ich potrzeby. I w ten kierunek wpisuje się coraz głośniejsze podnoszone zapotrzebowanie na prostego i taniego robota o trwałości jedynie takiej, która spełniłaby potrzeby tylko jednego zadania produkcyjnego. Taki robot, dedykowany do projektu produkcyjnego winien także być relatywnie łatwo programo-

walny, aby uruchomienie linii produkcyjnej 100 jednostek tego typu manipulatorów było zarówno szybkie, jak i kosztowo optymalne ze względu na liczbę zaangażowanych programistów.

Otwartym zatem pozostaje pytanie, czy którykolwiek z przedstawionych kierunków rozwoju robotyki zdobędzie przewagę, czy raczej będzie to równoległy rozwój wielu kierunków, odpowiadających tak naprawdę na bardzo różne cele realizowane przez dane typy robotów.

## 6. Etapy wprowadzania bezpiecznej aplikacji z robotem – nowe wyzwania dla integratorów

W swoich wcześniejszych założeniach systemy automatyzacji i robotyzacji dedykowane były do prac powtarzalnych, gdzie dokładnie określone były parametry wejścia do takiego systemu (wymiar, tolerancje wymiarowe, technologia itp.) i na ogół mocno sformalizowany był także rezultat jego pracy. Uzyskana wydajność, wymiarowa dokładność elementów, zgodność z założoną technologią były bezpośrednimi parametrami oceny systemu. Obecnie takie podejście ulega zmianie.

Nowy trend zakłada większą niż obecnie uniwersalność instalacji, a czasem również jej pewną nieokreśloność odnośnie przyszłości eksploatacji. W związku z tym stanowiska zrobotyzowane powinny łatwo poddawać się modernizacjom, a już niemal warunkiem jest łatwość ich przeobrażenia na nowe, nieprzewidziane na etapie integracji rodzaje detali, czy technologii. Założeniem nowoczesnych systemów produkcji jest właśnie uniwersalność oraz elastyczność. W znacznej mierze od integratora zależy, w jakim stopniu projektowany system spełni oczekiwania inwestora oraz ułatwi jego produkcję, ze szczególnym naciskiem na jej zmienność i personalizację wyrobu docelowego.

Krajowe MŚP coraz częściej poszukują przewagi konkurencyjnej na polu czasu reakcji na realizację nowych zamówień, mniejszych wolumenów produktu i ich personalizacji. Tym samym zrobotyzowane systemy produkcji muszą realizować takie właśnie wymagania. Stąd obecnie rosnące wymagania stanowiące wyzwania dla integratorów. Integrator obecnie jest bardziej partnerem przedsiębiorcy na drodze do jego rozwoju, niż tylko firmą usługową. Takie podejście wymaga dobrego kontaktu między stronami oraz dużego zaufania, a o sukcesie projektu stanowią

korzyści płynące z pracy wykonywanej ściśle pod potrzeby inwestora i realizowanej w sposób zgodny ze sztuką inżynierską. Jak zatem może wyglądać taka współpraca idealna przy realizacji aplikacji, której założeniem jest uniwersalność, łatwość programowania i bezpieczeństwo użytkownika?

Pierwszym i niezwykle istotnym etapem jest przeprowadzenie audytu technologicznego, w którym nadrzędne miejsce zajmą wymagania dla instalacji. Jest to niezwykle ważny etap przedstawiania przez przedsiębiorcę zakresu prac, jaki realizować ma system, planowanych sposobów jego wykorzystywania, ze szczególnym naciskiem i uwzględnieniem przewidywanych uniwersalności instalacji. Już na tym etapie jest istotne, aby integrator dogłębnie rozumiał oczekiwane przez inwestora funkcjonalności instalacji. W tym miejscu bardzo ważny jest również dialog, jaki prowadzony jest między stronami. Wysłuchanie i zrozumienie potrzeb to jedno, a naniesienie na nie maski wykonalności, jest już zadaniem integratora. Musi tu dojść do wypracowania pewnego kompromisu, między oczekiwaniami osoby czasem mniej zorientowanej technicznie, co do projektu oraz wykonawcy – integratora w zakresie możliwości technicznych jego przeprowadzenia. Przekłada się to bezpośrednio na dokładne określenie budżetu wdrożenia, jak i po podpisaniu umowy – na etap projektowania instalacji. Można podsumować: początek współpracy to wsłuchanie się w potrzeby klienta, urealnienie jego wizji pod kątem możliwości technicznych. Tu pojawia się pierwsze wyzwanie dla integratora. Musi on posiadać szeroką i najnowszą wiedzę w danym obszarze. Być świadomy nowych rozwiązań dostępnych na rynku tak, aby w maksymalnym stopniu spełnić oczekiwania projektu. Regułą jest też, że w parze z nowoczesnymi rozwiązaniami w dziedzinie sprzętowej idzie rozwój systemów sterowania oraz oprogramowania i, co się z tym wiąże, wprowadzanie zmian i ulepszeń w aplikacjach. Coraz bardziej rozbudowane algorytmy i technologie chmur obliczeniowych sprawiają, że przy ich pomocy, nawet relatywnie proste rozwiązanie techniczne znakomicie wpisuje się w wymagania przedsiębiorcy, w pełni zaspokajając jego potrzeby.

Ogólnie można zauważyć tendencję wśród samych dostawców wyposażenia do oferowania produktów otwartych, podatnych na zmiany, z możliwością ich rozwoju w przyszłości, bazującego na zmianach jedynie programowych, które skutkują zmianami funkcjonalności. Dobrym przykładem są nowoczesne spawarki, które mają różne zakresy mocy, a sam system sterowania pozwala na dogrywanie i rozwój urządzenia od podstawowego, do tego z zaawansowanymi parametrami kontroli pracy. Wydaje się, że kierunek taki zyska na popularności i przyczyni się w pewnej mierze do przeniesienia funkcjonalności z poziomu sprzętu na poziom programowania. Stąd już tylko krok do np. wykupienia czasowej licencji, na potrzeby konkretnego projektu, dla podniesienia parametrów użytkowych urządzenia, a następnie powrotu do parametrów „standardowych”. Wiedzę taką winien mieć właśnie integrator na etapie wspólnego wypracowania założeń do projektu, aby optymalizować go pod kątem zarówno parametrów wartości inwestycji, jak i eksploatacji stanowiska w czasie.

W kolejnym kroku, na etapie projektu, ważne jest, aby zachować ciągłą świadomość potrzeb w relacji do możliwości technicznych. Przechodząc przez kolejne etapy powstawania aplikacji warto zaangażować w proces wdrażania projektu również użytkownika, gdyż każdy etap współpracy winien być przeprowadzany w silnym kontakcie z zamawiającym. W fazie projektowania zarówno instalacji, w których założeniem jest obecność człowieka w obszarze pracy robota, jak i robotów kolaborujących

niezwykle ważne jest, aby nie tylko elementy systemu zapewniały bezpieczeństwo, ale też cała instalacja. Oczywistym jest, że nawet jeśli robot i zamocowany na nim chwytak standardowy mają oznaczenie CE, nie oznacza to, że takie połączenie jest bezpieczne. Na tym tle dla aplikacji współpracujących szczególnie ważne jest takie połączenie elementów i zaprojektowanie nowych detali, aby całość instalacji spełniała niezbędne warunki bezpieczeństwa. Tutaj decydują projektanci narzędzi i oprzyrządowania dla robotów kolaborujących. Tu szczególnie istotne jest to, aby również narzędzia, np. elementy chwytające, czy realizujące dane technologie, spełniały założenia bezpieczeństwa do pracy z człowiekiem. Zdarza się, że ten element projektu stanowi największe wyzwanie dla firmy integratorskiej. Zgodnie z najnowszymi zapowiedziami firmy Schunk, pierwszy certyfikowany chwytak przemysłowy przeznaczony do współpracy z człowiekiem będzie dostępny w Polsce już wiosną 2018 r. Chwytak dwupalczasty EGP-C będzie spełniał wymagania specyfikacji ISO/TS 15066, a tym samym, jako jednostka z odpowiednim złączem, będzie z natury dedykowany do robotów współpracujących [9].

Nieco lepiej wygląda problem robotów nieogrodzonych, które realizują prace bez mechanicznych osłon, a bezpieczeństwo zapewnione jest przez systemy sterowania i kontroli. Tutaj również należy zwrócić szczególną uwagę na wyposażenie takiego stanowiska. Czy wykorzystana pełna dynamika ruchu robota nie będzie przyczyną np. wyrzucenia przenoszonego ciężkiego przedmiotu, stanowiąc potencjalne zagrożenie? O ile samo narzędzie może być „mniej bezpieczne”, o tyle całość aplikacji winna zapewniać najwyższe wymagane standardy ochrony. Dla robotów niekolaboracyjnych, a pracujących bez ogrodzeń, jedyne ich osłonami, są te programowe. Stąd tak ważny dla tych projektów aspekt bezpiecznego oprogramowania i sterowania instalacją, gdyż w tym bazuje bezpieczeństwo pracy całego stanowiska.

Sam proces posadawiania aplikacji na terenie zakładu produkcyjnego jest również niezwykle istotnym elementem procesu implementacji stanowisk zrobotyzowanych. Ma on, dla aplikacji, które bazują na współpracy człowieka z robotem, nieco inny wymiar niż dla robotów oddzielonych od przestrzeni człowieka. W przypadku tych pierwszych bardzo ważnym aspektem bezpieczeństwa są systemy sterowania i kontroli, obecność czujników i ich właściwe oprogramowanie. O ile w przypadku oddzielenia człowieka od strefy pracy robota to najczęściej sygnał stopu awaryjnego, sprzężony z dedykowanym do tego celu sterownikiem bezpieczeństwa, zapewnia bezpieczeństwo, o tyle w przypadku kooperacji człowieka z robotem ważne jest takie opracowanie algorytmów systemu i sterowania, aby to na tym etapie zapewnione zostało bezpieczeństwo.

Podsumowując, w toku realizacji projektu robotyzacji procesu produkcji niezwykle istotna jest świadomość uczestników procesu o wzajemnych uwarunkowaniach. To inwestor decyduje o parametrach wejściowych do projektu, integrator odpowiada za opracowanie techniczne (czasem też technologiczne) rozwiązania i uzgodnienie z użytkownikiem docelowych, możliwych technicznie do osiągnięcia parametrów wdrożenia. Jednocześnie to na firmie wdrożeniowej spoczywa takie zaprojektowanie stanowiska, które zapewnia bezpieczne użytkowanie w chwili, gdy złożone w całość poszczególne, bezpieczne elementy systemu nie dają takiej gwarancji. To wysiłek projektantów nadaje instalacji kształt docelowy z finalnym zapewnieniem bezpieczeństwa kupionych i zaprojektowanych elementów systemu połączonych w całość funkcjonalnego rozwiązania.



Co-act EGP-C

Rys. 6. Certyfikowany chwytak firmy Schunk do aplikacji HRC  
Fig. 6. A certified Schunk gripper for HRC applications

Warto na koniec jeszcze raz podkreślić fakt, że nadanie znaku CE poszczególnym elementom instalacji, nie jest równoznaczne z CE dla całej instalacji. Ma to szczególnie wymiar dla stanowisk z robotami kolaboracyjnymi, gdzie ewentualny wypadek może być szczególnie dotkliwy z racji bezpośredniej bliskości człowieka i manipulatora oraz trudności w obiektywnej ocenie przez pracownika poprawności pracy instalacji, w tym w szczególności w zakresie bezpieczeństwa.

W obecnej chwili śmiało można powiedzieć, że rodzi się nowy rozdział historii robotyki. W tworzonej i wdrażanej idei Przemysłu 4.0, roboty kolaborujące stanowią o nowej jakości systemów produkcji i wytwarzania. Coraz większe możliwości, tak w aspekcie technicznym, a może przede wszystkim sterowania i kontroli, pozwalają robotyce wkraczać na coraz nowe pola aktywności i można zaryzykować, że coraz lepiej do stanu dzisiejszej i przyszłej robotyki pasuje określenie, że „granica jest tylko wyobraźnia”.

## Bibliografia

1. Sciacivco L., Siciliano B., *Modelling and Control of Robot Manipulators*, Springer – Verlag London Limited, 2000.
2. Staszyński M., *Roboty przemysłowe początku wieku*, „Projektowanie i Konstrukcje Inżynierskie”, Nr 1/2 (04/05), 2008, 9–17.
3. [<https://www.spidersweb.pl/2016/09/roboetyka.html>] – 22.12.2017.
4. [[https://ifr.org/downloads/press/English\\_Press\\_Release\\_IFR\\_World\\_Robotics\\_Report\\_2017-09-27.pdf](https://ifr.org/downloads/press/English_Press_Release_IFR_World_Robotics_Report_2017-09-27.pdf)] – 10.12.2017.
5. [<https://automatykab2b.pl/gospodarka/10674-rynek-robotow-wspolpracujacych---950-mln-dolarow-w-2024-roku#.WlXy-DQiGpr>] – 12.12.2017.
6. Kulik J., *Ramię w ramię z robotem. Jak współpraca robotów i ludzi ukształtuje robotykę przyszłości*, „Automatyka”, 9/2015, 102–103.
7. [<https://www.iso.org/news/2016/03/Ref2057.html>] – 17.10.2017.
8. [<http://automatykaonline.pl/Artykuly/Robotyka/Roboty-wspolpracujace.-Specyfikacja-techniczna-ISO-TS-15066>] – 12.12.2017.
9. *Pierwszy przemysłowy certyfikowany chwytak współpracujący*, „Automatyka”, Nr 12/2017, 72–73.

## Safe human-robot interaction – a real need or a temporary trend among domestic SMEs

**Abstract:** The subject of the article is to present the specifics of robotization of small and medium-sized production enterprises (SMEs) in Poland, in particular including cooperative and collaborative robots (cooperation, collaboration). Current global directions and trends in the development of industrial robotics in these areas will be presented at the same time, the article presents the security aspect as the most important element of direct human-robot interaction. Those two directions of cooperation between man and robot, which are gaining increasing popularity, are in practice already implemented at production sites. To zoom in, the first of these is cooperation, understood here as a cooperation between man and robot, almost standard (in the control version commonly known as safety), without fences. In turn, the second one is collaboration and under this concept, for the purposes of this study, it means the cooperation of the person „shoulder to shoulder”, with the robot.

**Keywords:** industrial robotics, industrial robots, SME, cooperation, collaboration, cobot

### mgr inż. Joanna Kulik

[jkulik@piap.pl](mailto:jkulik@piap.pl)

Absolwentka Wydziału Inżynierii Produkcji Politechniki Warszawskiej. Zainteresowania zawodowe koncentrują się wokół robotyzacji krajowych małych i średnich firm produkcyjnych, oraz coraz popularniejszej ostatnio dziedziny szybkiego prototypowania, włącznie z wykorzystaniem technologii wydruków 3D.



### mgr inż. Łukasz Wojtczak

[lwojtczak@piap.pl](mailto:lwojtczak@piap.pl)

Ukończył studia na Wydziale Samochodów i Maszyn Roboczych Politechniki Warszawskiej. Aktywność zawodowa koncentruje się wokół zagadnień automatyzacji i robotyzacji krajowych firm produkcyjnych, w szczególności w obszarach procesów mniej podatnych na automatyzację i robotyzację.

