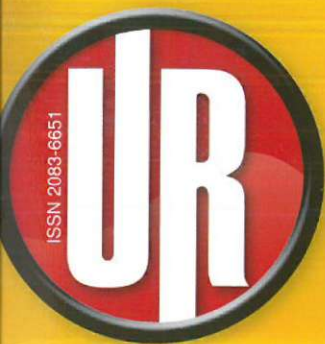


PUBLIKACJA SPECJALISTYCZNA



# UTRZYMANIE RUCHU

1/2017

DODATEK SPECJALNY  
AUTOMATYKA

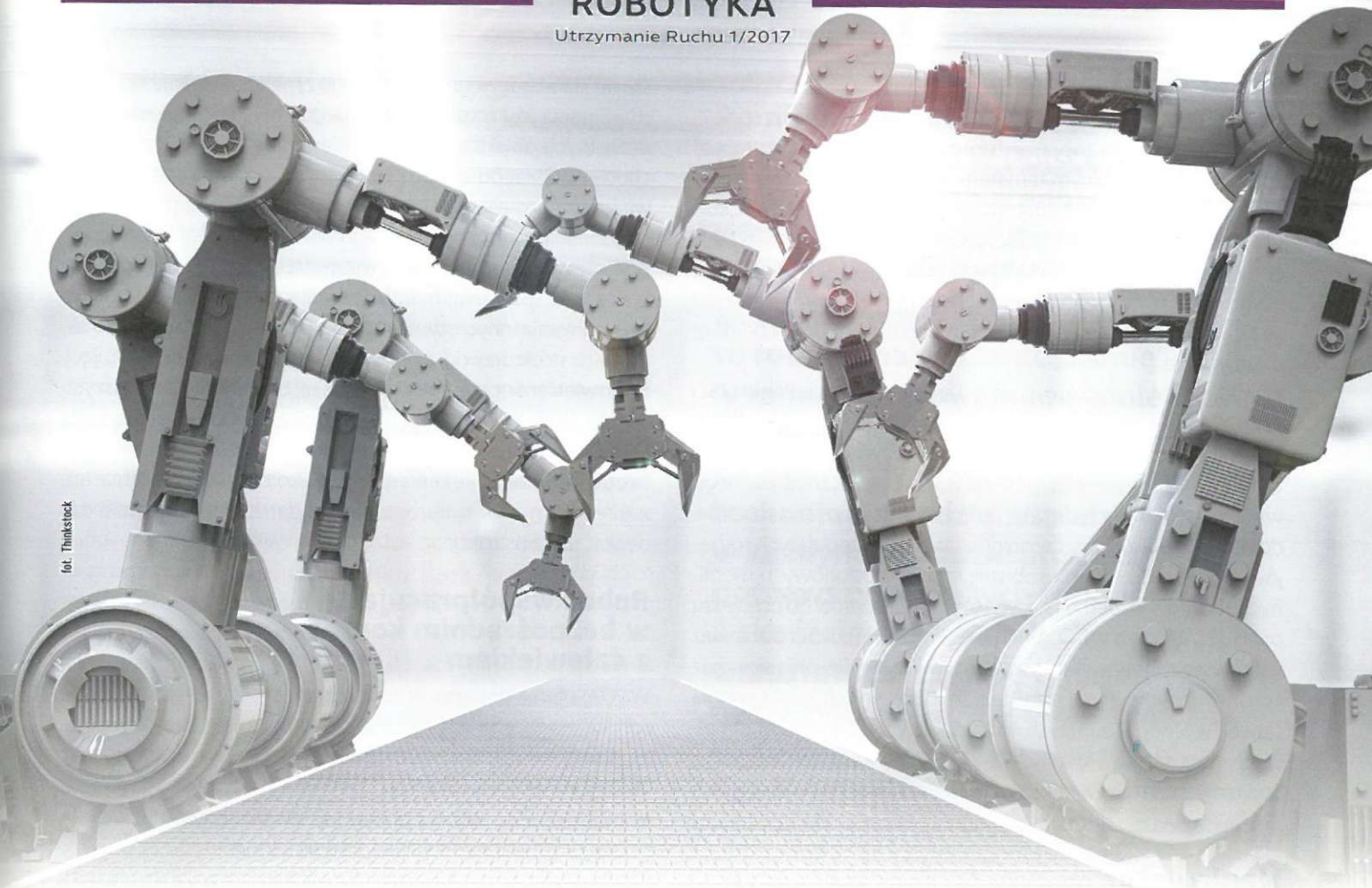
PARTNER DODATKU

**STEMMER**<sup>®</sup>  
IMAGING

Inżynieria  
kreatywności

Wbudowane  
funkcje sterowania  
i bezpieczeństwa  
napędów  
przekształtnikowych

Wielofunkcyjna  
odzież ochronna  
– aktualne wymagania



fot. Thinkstock

**mgr inż. Grzegorz Czekala**

EMT-Systems Sp. z o.o.

# WSPÓŁPRACUJĄCE ROBOTY PRZEMYSŁOWE

## - nowy kierunek w zakładach przemysłowych

**W** 1959 roku został skonstruowany pierwszy robot przemysłowy – Unimate, którego dwa lata później zainstalowano na linii montażowej w zakładzie General Motors Inland Fisher Guide w stanie New Jersey [1]. To pierwszy produkowany seryjnie pracujący robot przemysłowy. Został stworzony przez George'a Devola, który opatentował manipulator, oraz inżyniera Josepha Engelbergera. Unimate został wyprodukowany przez firmę Unimation Inc. Konstrukcja manipulatora ważyła 2 tony, a jako układy napędowe wykorzystano siłowniki hydrauliczne. Układ sterowania opierał się na bębnie magnetycznym z zapisaną sekwencją ruchów. Pierwsze zadanie robota przemysłowego polegało na przenoszeniu gorących elementów nadwozia samochodowego, ponieważ zabieg ten nie tylko wymagał użycia sporej siły, ale również stanowił bardzo duże zagrożenie dla pracowników.

Ludzie obawiali się jednak, że roboty pozbawią ich pracy. Taka opinia powodowała niepokoje społeczne. Świadomi tego byli również producenci robota Unimate, dlatego pierwsze zadanie, do którego wykorzystano tę maszynę, miało przede wszystkim na celu przekonanie szerokiego grona pracowników zakładów, że manipulatory nie mają ich pozbawić pracy, a wręcz przeciwnie – odciążą fizycznie i podnieść poziom bezpieczeństwa w zakładzie.

**W artykule przedstawiono pokrótce początki rozwoju automatyki i robotyzacji. Skupiono się na ostatnich nowatorskich dokonaniach branży przemysłowej w dziedzinie robotów współpracujących (CoBots, Collaborative Robots).**

## ► Robot w zakładzie – zagrożenie czy przyjaciel?

W XXI wieku prawa robotów (sformułowane przez I. Asimova) znów stają się aktualnym tematem. Roboty nigdy wcześniej nie pracowały w bezpośrednim otoczeniu człowieka bez kratek, kurtyn i innych zabezpieczeń. Rozwój informatyki daje maszynom coraz większe możliwości decyzyjne, odciążając nas już nie tylko fizycznie, ale również psychicznie. Systemy wizyjne w połączeniu ze sztucznymi sieciami neuronowymi działają szybciej i bardziej niezawodnie.

W maju 2014 r. wydano normę bezpieczeństwa PN-EN ISO 13482:2014-05, która nie odnosi się bezpośrednio do robotów przemysłowych. „W niniejszej Normie Międzynarodowej podano wymagania i wytyczne do projektowania bezpiecznego samego w sobie, środków ochronnych i informacji do używania robotów do opieki osobistej, w szczególności trzech następujących rodzajów robotów do opieki osobistej: robotów usługowych mobilnych, robotów wspomagających fizycznie, robotów do przewozu osób” [2]. Celowo wspominam o tym dokumencie, ponieważ najnowsze roboty wykorzystywane w przemyśle stają się coraz bardziej uniwersalnymi urządzeniami. Obszary ich zastosowania powoli wychodzą z dużych hal produkcyjnych w stronę mniejszych warsztatów, a kto wie, kiedy trafią do naszych mieszkań. Spójrzmy zatem na wybrane rozwiązania stosowane w zakładach przemysłowych.

## Manipulator współpracujący z człowiekiem

Bionic Handling Assistant to pierwszy na świecie manipulator mogący bez żadnych zewnętrznych zabezpieczeń współpracować bezpośrednio z człowiekiem; istnieje od siedmiu lat, nie został jednak wykorzystany w przemyśle. Festo podało jedynie informacje potwierdzające jego zastosowanie jedynie instruktażowe, edukacyjne oraz marketingowe.

Standardowe roboty zbudowane są z twardych materiałów, charakteryzujących się dużą sztywnością, i wykorzystują przede wszystkim napędy elektryczne. Całkowicie odwrotny kierunek Festo obrało przy BHA (Bionic Handling Assistant). Inspiracją twórców tego rozwiązania była trąba słonia, charakteryzująca się dużą elastycznością, zwinnością i pomimo swojej siły – delikatnością. Konstrukcja składa się z trzech prążkowanych, połączonych ze sobą elastycznych poduszek pneumatycznych. Odpowiednie wypełnianie powietrzem każdej z komór umożliwia bardzo precyzyjne manipulowanie położeniem chwytaka [4, 6]. W nowszych konstrukcjach „trąba” jest zastąpiona elastycznym tripodem lub wydłużona o ten element, zwiększający zasięg układu – the Bionic Tripod 3.0.

Zderzenie człowieka z elastyczną poduszką pneumatyczną wypełnianą pod niewielkim ciśnieniem nie grozi poważnym uszczerbkiem na zdrowiu współpracowników, pod warunkiem że wszystkie elementy konstrukcji będą wykonane z delikatnych, nieposiadających ostrych krawędzi materiałów. Również chwytak musi być zaprojektowany w nowatorski sposób. Inżynierowie Festo poradzili sobie również i z tym problemem, ponieważ równolegle zaprojektowali elastyczny, adaptacyjny chwytak z wykorzystaniem systemu Ray Effect®, wzorowanego na rybich płetwach ogonowych. Masa takiego chwytaka jest o 80% mniej-

sza niż standardowego, wykonanego z metalu. Kolejną zaletą tego rozwiązania jest możliwość pewnego chwytania nawet bardzo delikatnych obiektów, o bardzo niestandardowym kształcie, jak chociażby kurzego jaja lub owoców. W Internecie można znaleźć wiele filmów prezentujących wyjątkowe cechy tego futurystycznego manipulatora niemieckiego producenta.

BHA nie został zaprojektowany z myślą o zastosowaniu go przy procesach spawania, manipulowania ciężkimi obiektami lub wykonywania innych, typowych dla ciężkich manipulatorów zadań. Konstruktorzy doszli do wniosku, że robot współpracujący z człowiekiem np. na linii montażowej czy nawet w mniejszych warsztatach mógłby znacznie przyspieszyć proces składania produktów. Tego typu ramię mogłoby podawać człowiekowi bezpośrednio do ręki elementy w kolejności składania lub narzędzia, nawet o bardzo niestandardowym kształcie czy delikatnej konstrukcji.

## Robot współpracujący w bezpośrednim kontakcie z człowiekiem

W 2008 r. firma Universal Robots wypuściła pierwszego na świecie robota mogącego współpracować w bezpośrednim kontakcie z człowiekiem. UR5 ważył 18 kg, miał zasięg 850 mm i udźwig 5 kg. W 2012 roku dopracowano wcześniejsze rozwiązania inżynierskie w modelu UR10, który z podwójnie zwiększonym udźwigiem i zasięgiem 1300 mm trafił do produkcji seryjnej.

Manipulatory firmy Universal Robots charakteryzują się prostotą konfiguracji, bardzo intuicyjną, opatentowaną metodą graficznego programowania lub poprzez prowadzenie (ręczne ułożenie ramienia manipulatora w żądanych pozycjach, a następnie zapisanie konfiguracji położenia wszystkich napędów dla kolejnych etapów pracy).

Aktualnie dostępne są trzy modele: UR3, UR5, UR10, charakteryzujące się 6 przegubami obrotowymi i powtarzalnością wynoszącą  $\pm 0,1$  mm. Zakres pracy modułów wynosi od  $180^\circ$  do  $360^\circ$  przy prędkości dla UR3 wynoszącej  $\pm 360^\circ/s$ , dla pozostałych  $\pm 180^\circ/s$ , co daje prędkość narzędzia wynoszącą 1 m/s w ruchu liniowym. Każdy z robotów jest zbudowany z aluminium i tworzywa polipropylenowego, dzięki czemu waga najlżejszego z nich to jedynie 11 kg wraz z przewodami, a najcięższego – 28,9 kg [7].

Standardowo wszystkie urządzenia współpracujące są podpięte do jednej sieci przemysłowej, za pomocą której wymieniają ze sobą dane i potwierdzają zakończenie poszczególnych etapów. Przeglądając udostępnione dane na temat wykorzystania tych robotów w zakładach produkcyjnych, można dostrzec, że w celu minimalizacji kosztów, jak i czasu poświęconego na programowanie manipulatory wykorzystują przyciski, klamki czy zabezpieczenia zaprojektowane dla ludzi. Automatyczne ramię po otrzymaniu tylko jednej informacji (np. jednego bitu wejściowego) z obrabiarki CNC jest w stanie samodzielnie otworzyć jej drzwi, wymienić obiekt, zamknąć drzwi, a na koniec uruchomić proces obróbczy poprzez standardowy przycisk zamontowany na panelu stacji obróbczej. Czas i liczba pracowników, a co za tym idzie – również koszt potrzebnych do zaprogramowania takiej współpracy dwóch urządzeń są nieporównywalnie mniejsze.

## Roboty z twarzą

Założyciel firmy Rethink Robotics, Rodney Brooks, pracował wcześniej przy produkcji autonomicznych odkurzaczy w iRobot, gdzie dostrzegł, że roboty przemysłowe przestały od pewnego czasu ewoluować. Stwierdził on, że skoro roboty, odkurzacze, kosiarki, drony itp. zostały stworzone od zera w przeciągu ostatniej dekady, to i roboty przemysłowe powinny przejść gruntowną rewolucję, aby lepiej dopasować się do współczesnego przemysłu.

W 2012 r. firma zaprezentowała pierwszego dwuramiennego CoBota, był to Baxter®. Nadano mu ludzką twarz, zmieniając tym samym pogląd ludzi na to, jak może wyglądać robot przemysłowy. Roboty tej firmy przypominają do pewnego stopnia większe dziecięce zabawki, ważą od 19 kg, dzięki czemu łatwo je przemieszczać, i mają atrakcyjny *design*. Cechą charakterystyczną Baxtera oraz Sawyera (mniejszy model z jednym ramieniem) jest monitor umieszczony w miejscu, gdzie powinna znaleźć się twarz w przypadku maszyn humanoidalnych. Na ekranie na bieżąco wyświetlane są animowane oczy śledzące wykonywane przez ramiona operacje. Na pierwszy rzut oka to rozwiązanie może wydawać się całkowicie zbędne, służące jedynie zwiększeniu atrakcyjności fizycznej urządzenia, co w przemyśle nigdy nie stanowiło istotnej wartości – choć i to się powoli zmienia. Firma jednak doszła do wniosku, że skoro jest to robot współpracujący z człowiekiem, ludziom będzie lepiej przebywać w jego towarzystwie, jeśli będzie po prostu sympatyczny i zachowaniem w pewnym stopniu upodobni się do „kolegi z pracy”. Jest to całkowicie nowe podejście do zagadnienia współpracy ludzi z maszynami. Może w dalszej przyszłości na imprezy integracyjne dla pracowników firm będą zapraszane również inteligentne urządzenia?

Sam ekran oczywiście nie służy wyłącznie do wyświetlania oczu. Umożliwia on zmianę konfiguracji wykonywanego programu. Przy projektowaniu manipulatorów inżynierowie zwrócili również uwagę na fakt, że czas przekalibrowania maszyny po przesunięciu jej tylko o kilka centymetrów powinien być jak najkrótszy, a standardowo może wiązać się nawet z napisaniem programu od nowa. Dlatego w każdym ramieniu robota zamontowano niezależną kamerę służącą do wykrywania kluczowych markerów dla jej pracy. Po zmianie położenia Baxtera wystarczy naprowadzić jego ramiona na nowe znaczniki 2D (pozycja początkowa, końcowa, ewentualnie pośrednie) i zatwierdzić wprowadzone zmiany. Roboty Rethink Robotics, oprócz standardowych układów kontrolujących kolizje na podstawie detekcji siły, na bieżąco monitorują swoje środowisko, poszukując anomalii za pomocą wcześniej wspomnianych kamer. Obydwa manipulatory mają 7 stopni swobody, dzięki czemu dobrze sprawdzą się w nawet bardzo ciasnych przestrzeniach.

## Czy duże firmy zostały w tyle?

13 kwietnia 2015 r. na targach w Hanowerze firma ABB zaprezentowała urządzenie YuMi. Jego nazwa to skrót od wyrazów *you* i *me*, czyli z angielskiego „ty” i „ja”, co oznacza współpracownika, którego możemy mieć przy swoim stanowisku. Jest to niewielki, bo ważący jedynie 38 kg, dwuramienny manipulator, zaprojektowany do pracy z drobną elektroniką. Udźwig każdego z ramion wynosi jedynie 0,5 kg, natomiast dokładność ruchu wynosi 0,02 mm. Prędkość przemieszczenia

**Pomimo iż coraz więcej pracowników fabryk – również w Polsce – ma obawy, czy ich stanowiska nie zostaną obsadzone manipulatorami przemysłowymi, zaczynamy zauważać nowy trend, w którym to roboty mają stawać „ramię” w ramię z pracownikami, a nie ich zastępować. XXI w. zapowiada się jako okres, w którym zaawansowana technologia będzie wspierać nas w każdym zakładzie produkcyjnym, począwszy od dużych fabryk, a skończywszy na małych warsztatach, czyniąc tym samym naszą pracę bardziej ergonomiczną i – co bardziej istotne – bardziej bezpieczną.**

na poszczególnych osiach waha się od 180°/s aż do 400°/s. YuMi reklamowany jest jako dwuramienny rzeczywisty robot kolaboracyjny. Prezentacje dotyczące tego robota można aktualnie spotkać nie tylko na targach branżowych, ale również dniach nauki kierowanych w stronę najmłodszych. Dzięki bardzo precyzyjnej powtarzalności ruchów, jak na tę grupę urządzeń, YuMi nadaje się do wspomagania pracowników w zakładach produkujących urządzenia elektryczne. Od samego początku został zaprojektowany z myślą o składaniu smartfonów, tabletów czy też kontrolowaniu ich jakości. Warto wspomnieć o dwóch systemach, które w znacznym stopniu zwiększają zakres dostępnych zastosowań. Pierwszym jest składanie elementów z wykorzystaniem kamery wbudowanej w chwytak, co umożliwia wykonywanie korekcyjnej trajektorii ruchu ramienia w czasie rzeczywistym. Robot nie będzie już więcej zatrzymywał pracy, gdy poszczególne elementy, które ma ze sobą połączyć, będą położeniem delikatnie odbiegały od przyjętych wzorców. Drugi system to precyzyjna kontrola docisku dwóch elementów znajdujących się w obu ramionach. Niczym człowiek jest w stanie również w takiej pozycji z odpowiednim „wycuciem” połączyć elementy za pomocą np. plastikowych złączek wymagających odpowiedniej siły [9].

Manipulator CR-35iA firmy Fanuc to klasyczny robot przemysłowy ubrany w gumowy kombinezon i wyposażony w czułe układy bezpieczeństwa. Pociąga to oczywiście za sobą kilka zalet, jak chociażby największy udźwig w tej kategorii wynoszący 35 kg, sprawdzoną przez lata konstrukcję i dokładność rzędu  $\pm 0,08$  mm, niestety tym samym także i pewne wady, jak np. masa 990 kg. Fanuc znalazł niszę w zastosowaniu robotów współpracujących. Pozostali producenci skupili się na niewielkich udźwigach, mobilności i łatwości programowania. Tymczasem wprowadzenie ►

► CoBotów na linii montażowej, które potrafiłyby w bezpośrednim towarzystwie odciążać ludzkie kręgosłupy od dźwigania ciężkich przedmiotów, może w bardzo szybkim czasie znaleźć setki zastosowań. Przykładem może tutaj być montaż samochodów na linii [10].

KUKA LBR iiwa (LBR to skrót od *Leichtbauroboter* – lekki robot przemysłowy; iiwa oznacza *intelligent industrial work assistant*) – robot ten został zaprojektowany do zadań kosmicznych, więc ma bardzo futurystyczny *design*, wyróżniających się na tle konkurencji [5]. Liwa ma spory zasięg ramienia (800 i 820 mm), które jest w stosunku do pozostałych, wcześniej omawianych manipulatorów, włożone do bardzo smukłej obudowy, bez żadnych wystających zbędnych elementów. Dzięki takiej konstrukcji robot ten znajduje zastosowanie między innymi w zakładach produkcyjnych Daimler Mercedes, do skręcania karoserii samochodowych od wnętrza. Robot ma 7 stopni swobody, waży 23 kg i ma czułą detekcję kolizji. To umożliwia mu wykonywanie zadań wymagających dużej zwinności w bardzo wąskich przestrzeniach. Można go wprowadzić tam choćby za pomocą Fanuca CR-35iA. 7 kg udźwigu, lub w większej wersji 14 kg, spokojnie wystarczy do utrzymania wkrętarki lub innego narzędzia potrzebnego w tego typu zadaniach montażowych [11].

## Podsumowanie

Pomimo iż coraz więcej pracowników fabryk – również w Polsce – ma obawy, czy ich stanowiska nie zostaną obsadzone mani-

pulatorami przemysłowymi, zaczynamy zauważać nowy trend, w którym to roboty mają stawać „ramię” w ramię z pracownikami, a nie ich zastępować. XXI w. zapowiada się jako okres, w którym zaawansowana technologia będzie wspierać nas w każdym zakładzie produkcyjnym, począwszy od dużych fabryk, a skończywszy na małych warsztatach, czyniąc tym samym naszą pracę bardziej ergonomiczną i – co bardziej istotne – bardziej bezpieczną. □

## Piśmiennictwo

1. *History – International Federation of Robotics* (<http://www.ifr.org/history>, dostęp w Internecie 6.02.2017 r.).
2. *PN-EN ISO 13482:2014-05 Roboty i urządzenia dla robotyki – Wymagania bezpieczeństwa dla robotów do opieki osobistej* (<http://sklep.pkn.pl/pn-en-iso-13482-2014-05e.html>, dostęp w Internecie 6.02.2017 r.).
3. *Making Stuff Wilder Preview* (<http://www.pbs.org> 2013, dostęp w Internecie 6.02.2017 r.).
4. *Award honours commercial development of 'elephant's trunk' bionic handling assistant* (<http://www.dpaonthenet.net/article/38543/Award-honours-commercial-development-of-elephant-s-trunk-bionic-handling-assistant.aspx>, dostęp w Internecie 6.02.2017 r.).
5. Kampa A.: *Współpraca pomiędzy człowiekiem i robotem przemysłowym*. „Utrzymanie Ruchu”, 4/2016.

Autor korzystał z materiałów następujących firm: Festo [6], Universal Robots [7], Rethink Robotics [8], ABB [9], Fanuc [10], Kuka [11].

reklama



**Zostań  
prenumeratorem:**  
Prenumerata roczna

**126 zł brutto**  
(100 zł netto + 8% VAT  
oraz koszty pakowania i wysyłki)

## ZAINWESTUJ W SWÓJ PROFESJONALNY ROZWÓJ!

- Praktyczny wymiar wiedzy – prezentujemy rozwiązania najlepszych specjalistów oraz kierownictwa działów UR.
- Sprawdzone i aktualne informacje: opis wdrożeń, przeglądy urządzeń, informacje o rynkowych nowościach.
- Nowoczesne rozwiązania techniczne, zasady eksploatacji maszyn i bezpieczeństwa, profilaktyki i redukcji awaryjności.
- Odpowiedzi na najczęstsze pytania – metody optymalizacji codziennej pracy, zarządzanie kosztami i zespołem pracowników UR.

**Zamów:** [www.dlaspecjalistow.pl](http://www.dlaspecjalistow.pl)  
tel. 32 788 51 28, Infolinia: 801 888 980