

# Zrobotyzowane gniazdo technologiczne

W latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku, planowano produkcję samochodów w takcie około 60 sekund. Ogromny postęp w organizacji produkcji, technologii i logistyce doprowadził obecnie do zmniejszenia taktu nawet do około 12 sekund. Rodzi to wiele problemów technicznych, które wcześniej nie występowały lub nie miały takiego znaczenia. Niektóre aspekty tej produkcji zwłaszcza związane ze zrobotyzowanymi gniazdami technologicznymi przedstawiono poniżej.

## Aleksander Łukomski

Przemysł motoryzacyjny, ze względu na wielkość samochodu, jego złożoność, liczbę części, skomplikowaną technologię produkcji, liczbę produkowanych samochodów, ale także na społeczne oddziaływanie motoryzacji, skupia w sobie większość problemów produkcyjnych, które mogą też występować w innych przemysłach, jednak w mniejszej skali.

Przykładowo, jeżeli fabryka produkuje 2500 samochodów na dobę, to łatwo wyliczyć, że roczny program produkcji wynosi 700000 samochodów. Daje to teoretyczny (konstrukcyjny) takt produkcji 34 sekundy, które należy pomnożyć przez współczynnik ciągłości pracy  $c = 0,9$ , co daje takt planowany (technologiczny) wynoszący 30,6 sekundy.

Wydajność oblicza się ze wzoru:

$$Wg = c \frac{60}{Tc} \text{ sztuk/godzinę}$$

gdzie:

$Wg$  – wydajność godzinowa (może być np. dobową lub roczną)

$c$  – współczynnik ciągłości pracy

60 – ilość minut (może być np. 1440 na dobę lub 403200 na rok przy 280 dobach i pracy trybowej)

$Tc$  – średni czas wykonania jednej sztuki (często równoznaczny z taktom)

Współczynnik  $c$  przyjęto tu orientacyjnie. W rzeczywistości wykonuje się skomplikowane analizy i wyliczenia otrzymując liczbę do trzeciego, czy czwartego miejsca po przecinku. Współczynnik ten oscyluje jednak w okolicy podanej wysokości dla produkcji wysoce zautomatyzowanej. Przy produkcji jednostkowej lub małoseryjnej jego wartość wynosi znacznie mniej. W przemyśle motoryzacyjnym jego wielkość zależy od wielu czynników, takich jak:

- Dobry projekt technologiczny, uwzględniający: właściwie i optymalnie zaplanowane operacje technologiczne, właściwie dobrane magazyny buforowe (także na stany awaryjne), odpowiednią liczbę stanowisk kontrolnych i kalibracyjnych, które automatycznie i z wyprzedzeniem wychwytyją wszelkie najdrobniejsze nawet uszkodzenia, tak elementów produkowanych samochodów, jak też maszyn i urządzeń technologicznych, przeciwdziałając awariom. Istnieją programy komputerowe do szybkiego wykonywania projektów technologicznych, jednak nie zwalniają one inżyniera procesu (projektanta technologa) od posiadania wiedzy na temat projektowania procesów produkcyjnych.
- Odpowiednia organizacja i sprawność służby utrzymania ruchu. Występują tu różne systemy organizacji, ale zawsze dąży się do utrzymania

najwyższej możliwej ciągłości i płynności produkcji. Przede wszystkim – zamawianie urządzeń technologicznych od sprawdzonych i rzetelnych dostawców. Ważne są procedury oceny stanu technicznego maszyn i urządzeń oraz planowanych konserwacji, napraw i wymian. W niektórych fabrykach utrzymuje się ogromne magazyny części i zespołów zamiennych dla wszystkich urządzeń technologicznych w fabryce. Trudno sobie wyobrazić, żeby produkcja została wstrzymana na trzy tygodnie ze względu na awarię np. jakiegoś małego siłownika hydraulicznego, który może być dostarczony dopiero właśnie za trzy tygodnie. Trzeba go mieć w magazynie. Niekiedy też dostawcy utrzymują magazyny konsygnacyjne części zamiennych na terenie fabryki samochodów. Często też na terenie fabryki samochodów organizuje się duże warsztaty naprawcze maszyn produkcyjnych.

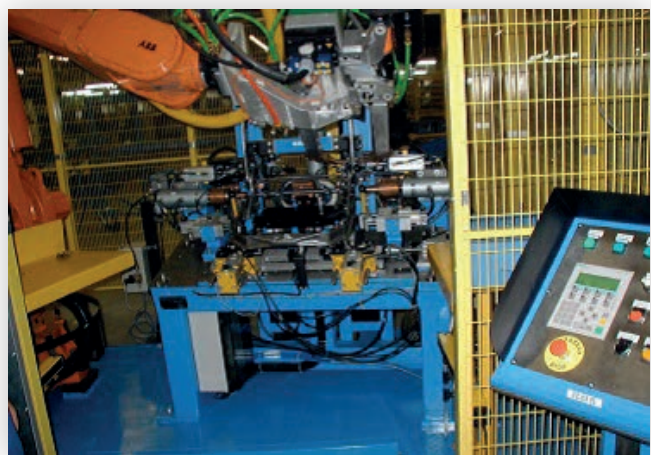
- Logistyka jest następnym ważnym ogniwem mającym wielki wpływ na płynność i ciągłość produkcji. Obecnie często stosowany jest system *just in time* tj. dostarczanie części na linię montażową w ściśle określonym czasie. Wchodzą tu zagadnienia magazynowania, transportu, kooperacji czynnej i biernej, środków transportu np. systemy transportu technologicznego, systemy kontroli jakości dostaw i wiele innych zagadnień.

Ważnym elementem jest ekspediowanie wykonanych samochodów do określonych odbiorców. Wywiezienie z terenu fabryki 2500 samochodów na dobę jest poważnym i trudnym zagadnieniem.

Dochodzi jeszcze wiele innych elementów, które czy to w sposób bezpośredni lub pośrednio mają wpływ na rzeczywisty współczynnik ciągłości pracy. Problemy związane z przyjętym taktem produkcji przechodzą na poszczególne stanowiska i linie produkcyjne w trzech podstawowych działach produkcji samochodów: spawalni, lakierni i montażu. Z tych trzech działów spawalnia jest tym, w którym najczęściej jest wszelkich urządzeń stricte produkcyjnych, a więc manualnych

i zrobotyzowanych stanowisk i linii do spawalniczego montażu, najpierw kadłuba nadwozia, a dalej kompletnego nadwozia po zamontowaniu elementów ruchomych nadwozia: drzwi, klap i błotników. Trzeba zdać sobie sprawę, że jeżeli wykonujemy 700000 samochodów rocznie, to błotników przednich mamy dwa razy tyle, a drzwi cztery razy, też wielką liczbę siedzeń samochodowych i np. prowadnic do tych siedzeń, zamontowanych w kadłubie nadwozia. Ma to duży wpływ na rozwiązania technologiczne i konstrukcyjne w poszczególnych stanowiskach produkcyjnych i liniach.

Za pomocą robotów wykonuje się w spawalni samochodów następujące operacje technologiczne: zgrzewanie punktowe, zgrzewanie garbowe, spawanie łukowe i laserowe, przygrzewanie śrub, kołków i nakrętek, klejenie, zagniatanie, klin czowanie, cięcie plazmowe, nitowanie i inne. Każda z tych operacji ma swoją specyfikę oraz niezbędne do wykonania pełnej aplikacji dodatkowe, niekiedy skomplikowane, wyposażenie. Do tego należy dodać specjalne wymagania konkretnej fabryki samochodów co do budowy stanowisk i linii zrobotyzowanych. Do wymienionych elementów dochodzi sprawa niezawodności oraz uruchomienia stanowisk czy linii w ściśle określonym terminie, w zasadzie bez możliwości czasochłonnych korekt i dopracowań.



Fot. 1 Zrobotyzowane gniazdo zgrzewania szkieletu siedzenia samochodowego. Widoczne dwie zamontowane zgrzewarki stacjonarne poziome w przyrządzie do zgrzewania zrobotyzowanego.



Fot. 2 Zrobotyzowane gniazdo technologiczne do wykonywania nadkola

Dużą wydajność stanowisk zrobotyzowanych osiąga się poprzez dobrą organizację pracy, a także zgrupowanie operacji, czy zabiegów. Czasy pomocnicze są skracane do minimum przez przyspieszenie ruchów jałowych robota i zespołów pomocniczych. Także poprzez sprawnie działające automatyczne sterowanie.

Organizacyjnie w produkcji zrobotyzowanej rozróżnia się linie produkcyjne i gniazda produkcyjne. Linie mogą być zsynchronizowane lub niezsynchronizowane. Linia zsynchronizowana to linia, której wydajność wyrażona liczbą wykonywanych zespołów na jednostkę czasu, równa się, lub stanowi wielokrotność, wydajności stanowisk roboczych linii. Miarą wydajności jest rytm linii, tożsamy lub bliski z taktem. Linie niezsynchronizowane stosuje się wtedy, gdy synchronizacja jest niemożliwa, ale np. uzyskuje się usprawnienie transportu, a poprzez to skraca się cykl produkcyjny.

W tym artykule omówimy skrótkowo projektowanie zrobotyzowanych gniazd technologicznych.

Gniazda technologiczne mogą być proste, wyposażone w jednego robota i stanowisko załadowniczo-rozładownicze, obsługiwane przez operatora (rzadziej przez manipulator lub inny robot podający detale), jak też i większe, bardziej skomplikowane, składające się z większej liczby robotów i urządzeń technologicznych. Przeważnie na wyposażeniu takiego prostego stanowiska jest stół obrotowy o pionowej lub poziomej osi obrotu z dwoma przyrządami. Detale na stanowisku załadowniczym są wkładane i mocowane w przyrządzie, a w tym samym czasie robot spawa zespół w drugim przyrządzie. Po czym, po zakończeniu operacji spawania stół obraca się i operator wyjmuje pospawany zespół i cykl powtarza się. Są to najprostsze rozwiązania gniazd zrobotyzowanych, nazywanych często stanowiskami zrobotyzowanymi.

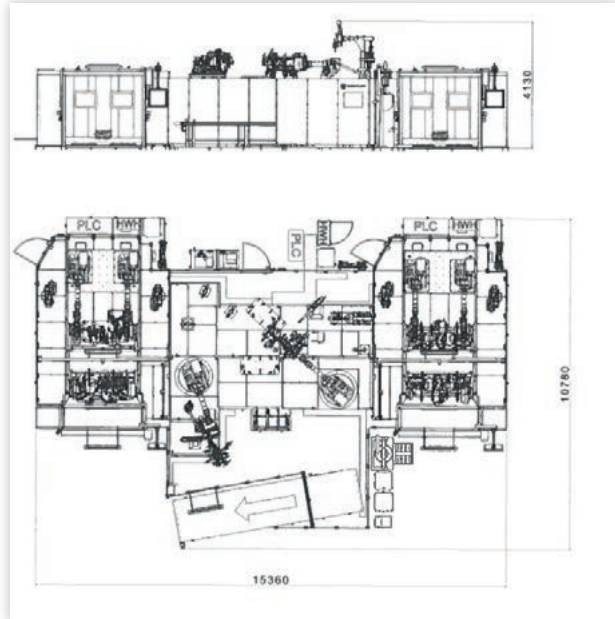
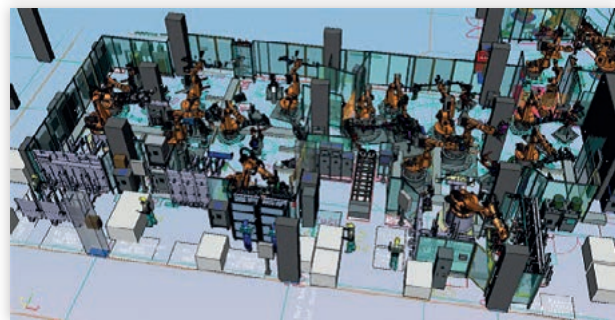
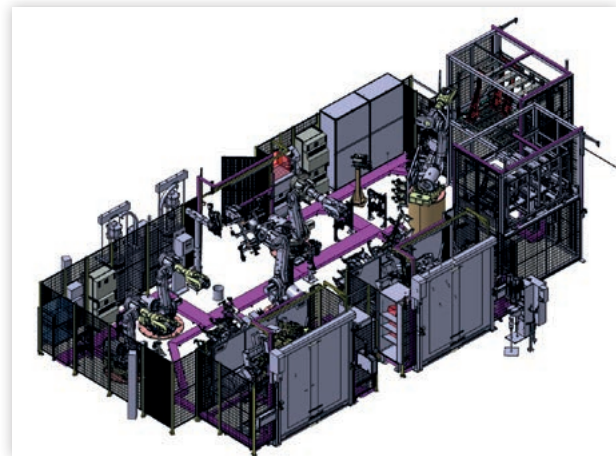
Znacznie trudniejsze od projektowania powyższych rozwiązań jest projektowanie zrobotyzowanego gniazda technologicznego, w którym ze względu na krótki czas taktu należy wykonać wiele, często skomplikowanych operacji, przy

pomocy wielu robotów i kilku urządzeń dodatkowych, odpowiednio zainstalowanych i współpracujących. Potrzebne są tu żmudne analizy i obliczenia, ażeby doprowadzić do optymalnego, lub częściej – żądanego taktu gniazda.

Zrobotyzowane gniazdo technologiczne składa się ze stanowisk, niekiedy wielu. W skład stanowiska wchodzi robot z aplikacją umożliwiającą wykonanie przez niego konkretnej założonej operacji technologicznej. W gnieździe są również przyrządy mocujące i ustalające detale zespołu zgrzewanego (spawanego) lub poddanego innym zabiegom technologicznym, i urządzenia dotyczące transportu technologicznego w obrębie gniazda technologicznego. Mogą być także urządzenia transportowe do pobierania poszczególnych detali z zewnątrz gniazda, z których tworzy się w gnieździe zespół, jak również urządzenia do transportowania gotowego już zespołu poza gniazdo. W skład gniazda wchodzi odpowiednie sterowanie i wygradzenie. Gniazdo może być wyposażone w wiele innych jeszcze urządzeń dodatkowych, w zależności od wykonywanych zadań technologicznych np. urządzenia do podawania kołków, nakrętek lub śrub, kleju, masy wyciszającej, a także aparatura spawalnicza i inne.

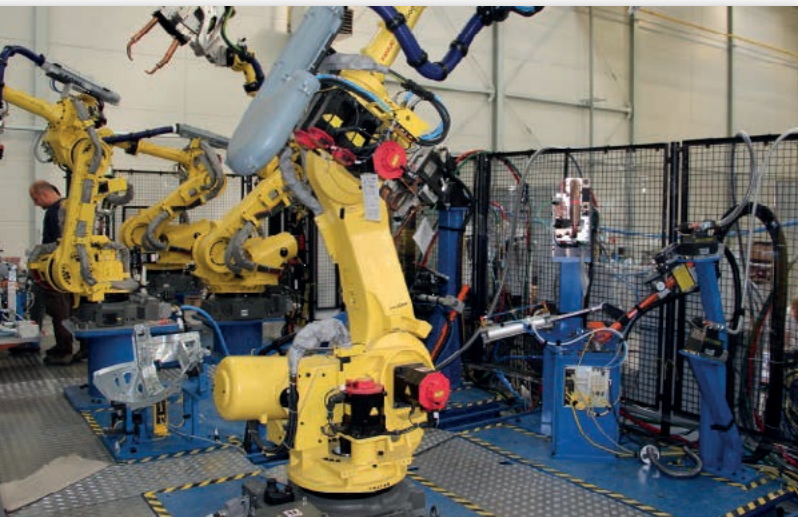
Roboty w gnieździe wykonują operacje podstawowe, do jakich zaliczyć można łączenie detali w zespół, jak również pomocnicze, jak np. pobieranie detali z zasobnika i wkładanie ich do przyrządu, transport pomiędzy stanowiskami w gnieździe oraz odkładanie gotowego zespołu wykonanego w gnieździe lub też podkładanie zespołu spawanego, częściowo już zmontowanego, pod robota zgrzewającego, dla wykonania zgrzein uzupełniających. Mogą tu występować jeszcze inne operacje lub zabiegi wykonywane przez specjalne zespoły np. przesuw lub obrót przyrządów, czy operacje kontrolno-pomiarowe albo kalibracja robotów, a niekiedy czyszczenie głowic spawalniczych od odprysków podczas spawania.

Wstępne prace projektowe powinny zacząć się od analizy zespołu montowanego w gnieździe:



Rys. 1, 2, 3 Rozplanowanie przykładowych zrobotyzowanych gniazd technologicznych

od jego wielkości, budowy, sposobu łączenia detali, ilości zgrzein, jego materiału i wymaganych tolerancji. Następnie dzieli się wykonanie zespołu na podstawowe operacje i ewentualne zabiegi. Za operację technologiczną przyjmuje się możliwość wykonania czynności technologicznych na poszczególnym stanowisku, a więc przez np. pojedynczego robota lub pojedyncze urządzenie

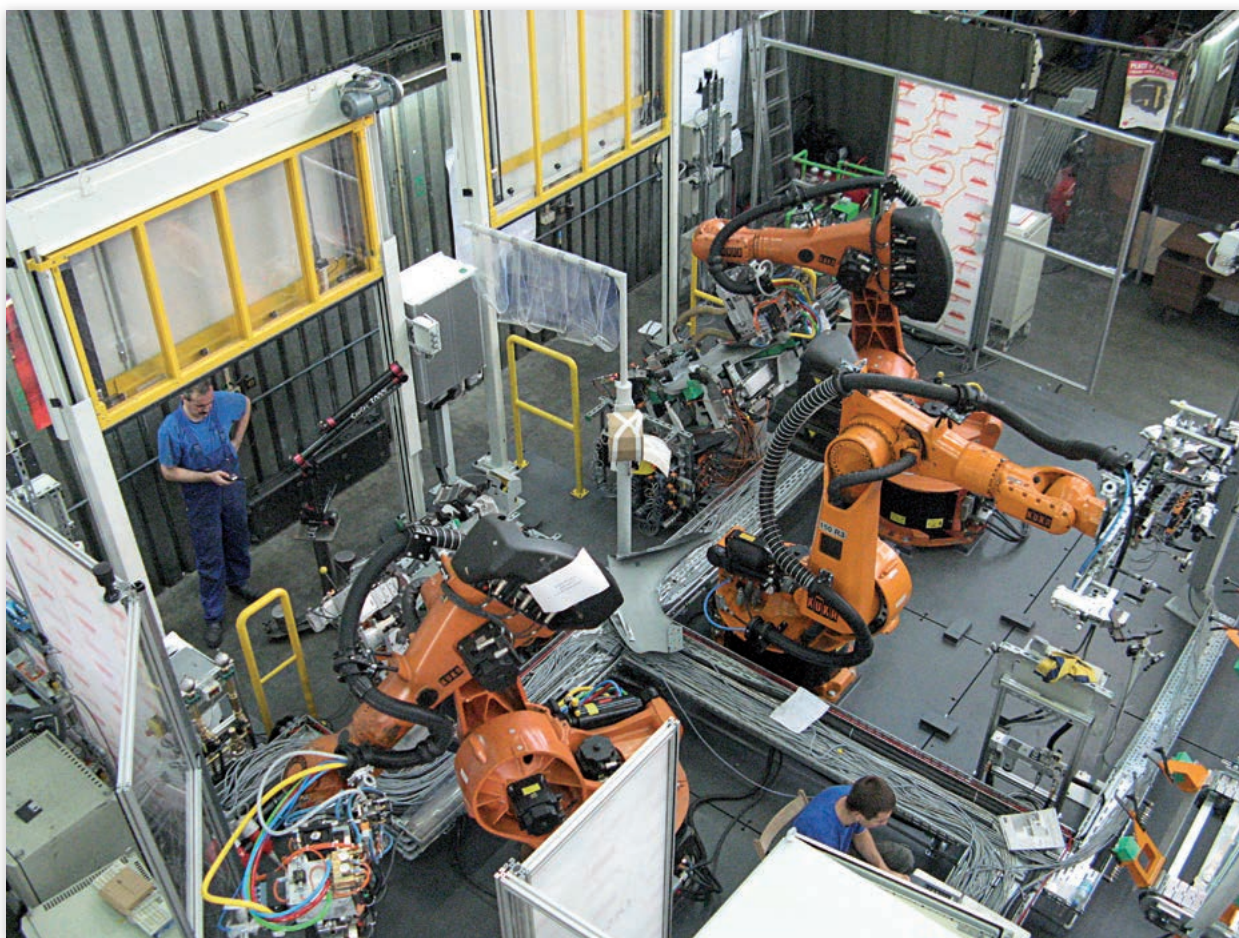


Fot. 3 Zrobotyzowane gniazdo technologiczne. Na pierwszym planie po prawej widać urządzenie technologiczne – automatyczną zgrzewarkę stacjonarną, pod którą robot podkłada zgrzewany zespół

technologiczne. Operacje dzieli się na zabiegi. Zabiegiem może być ruch jałowy robota, a więc wszelki przesuw, dosuw, dobiegi i wybiegi. Ewentualnie może to być też wymiana zgrzewadła na inne, czyszczenie palnika, kalibracja itp. Jeżeli na stanowisku jest przyrząd, który

dedykowany jest do współpracy tylko z konkretnym robotem na konkretnym stanowisku, to jego działanie też podlega pod zabiegi na tym stanowisku. Jeżeli przyrząd z zespołem zgrzewanym zamontowany jest na stole przesunym lub obrotowym i współpracuje z kilkoma robotami, to powinien być analizowany jako osobny zespół.

Najkorzystniej jest zebrać wszystkie informacje na rysunku lub opracowaniu jako plan technologiczny, który obejmuje opis detali wchodzących do gniazda, z podaniem rodzaju materiału, wymiarów, tolerancji, opisaniem parametrów technologicznych, a więc podziału na operacje, szybkości pracy poszczególnych zespołów, z wyliczeniem czasów zabiegów i zsumowaniem czasu każdej operacji. Najdłuższa operacja wyznacza takt. Jeżeli jest on zbyt długi, to prowadzi się dalsze analizy i kolejne przymiarki, aż do uzyskania czasu wykonania w gnieździe w wielkości założonego taktu. Dobrze jest też podać na planie jak będzie wyglądał zespół wykonany



Fot. 4 Zrobotyzowane gniazdo technologiczne

w gnieździe, a więc jego rysunek z podaniem wymiarów i tolerancji. Często podczas analizy tolerancji detali okazuje się, że niemożliwe jest osiągnięcie tolerancji zespołu wykonywanego w gnieździe przy tolerancjach detali. Niekiedy można wtedy „poprawić” te detale technologicznie np. poprzez dociśnięcie ich do wspólnej bazy w przyrządzie lecz często się to nie udaje. Sugeruje się wtedy inwestorowi zmianę tolerancji zespołu lub detali i inne ich wykonanie. Niedostateczna tolerancja detali najczęściej występuje np. w produkcji szkieletów siedzeń, gdzie bardzo dużo detali jest ciętych z kształtowników w sposób mało dokładny. Powoduje to często poważne problemy technologiczne i konstrukcyjne przyrządów. Załącznikiem do planu technologicznego powinien być diagram procesu.

Po wstępnych pracach analitycznych podejmuje się pierwsze przymiarki do ustalenia liczby robotów, przyrządów i innych urządzeń technologicznych w gnieździe. Pomocne jest tu obliczenie czasów wykonania poszczególnych operacji i ewentualnego dalszego ich podziału np. kilka zgrzein na jednym stanowisku, kilka na następnym itd. Bardzo często takt gniazda limituje operacja załadowania przyrządu. Niekiedy można podzielić operacje wykonywane w gnieździe na dwa lub więcej taktów, ale zawsze tak, aby co takt wychodził z gniazda gotowy zespół. Wtedy gniazdo pracuje z elementami linii produkcyjnej. Aby osiągnąć efekt ostateczny konieczne jest przeprowadzenie wielu czynności analitycznych, symulacji oraz przymiarek rozplanowania gniazda z uwzględnieniem wielkości robotów i ich optymalnym rozmieszczeniem. Symulacje pozwalają:

- zaplanować proces produkcyjny z jego czasem taktu i sekwencją działania,
- wyeliminować niedokładności i potencjalne kolizje,
- dostosować wymagania klienta dla założonego procesu, uwzględniając dostęp robota (robotów), czas cyklu, ergonomię operatorów itp.
- zoptymalizować koszty poprzez dobór wielkości robotów, ich liczby oraz ilość innych

urządzeń, a także zajmowanej powierzchni produkcyjnej.

Poza przedstawionym wynikiem pracy inżynierów procesu, w postaci opracowania technologicznego z planem technologicznym, zagospodarowaniem gniazda i diagramem procesu, należy jeszcze wykonać założenia do sterowania, transportu technologicznego oraz opracować wytyczne do zaprojektowania przyrządów i zgrzewadeł, specjalnych urządzeń technologicznych, a niekiedy też opracować wytyczne budowlane np. dla posadzki lub fundamentów. Należy też podsumować potrzebne media, a więc zasilanie elektryczne, wodę chłodzącą zgrzewadła i sprężone powietrze lub gazy techniczne, oraz uzgodnić ich dostawę w odpowiedniej ilości i jakości z klientem, poza tym również zajmowaną powierzchnię produkcyjną. Trzeba ustalić liczbę operatorów, jeżeli są oni potrzebni. Mogą być też konieczne różne dokumenty wymagane prawem, jak deklaracja zgodności dla całego zrobotyzowanego gniazda technologicznego, instrukcja, różne certyfikaty, dokumentacja ochrony środowiska i inne.

Projektowanie zrobotyzowanej produkcji jest trudne. Wymaga dużej wiedzy, nie tylko z zakresu robotyki, ale też różnych dziedzin technologii procesowej. Szczególnie trudne jest projektowanie zrobotyzowanych gniazd technologicznych, gdyż dodatkowo potrzebne są tu umiejętności analityczne oraz abstrakcyjne myślenie i duża wyobraźnia do optymalnego zaprojektowania takiej produkcji. Pomocne w projektowaniu może być zbieranie doświadczeń z kolejnych uruchomień, a także próba sformalizowania procedur projektowania poprzez tworzenie odpowiednich, w taki sam sposób wykonanych kolejnych dokumentacji projektów. Polecane jest w miarę nabierania doświadczenia, tworzenie katalogów i normatywów dla różnych rozwiązań technologicznych i technicznych-konstrukcyjnych.

*Aleksander Łukomski*

Fotografie i rysunki: Taskoprojekt S.A.