



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

Elastyczne systemy produkcyjne

Workbook

Autor: Antoni Świć

Lublin, 2021 rok

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biurowo Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20-618 Lublin

1. Wprowadzenie

Na dynamicznym rynku, przedsiębiorstwo powinno bez opóźnień reagować na zmienne wymagania być zdolne do wydajnej i opłacalnej produkcji różnych wyrobów w krótkich seriach bez konieczności stałego inwestowania w ciągle zmieniające się specjalistyczne wyposażenie. Konieczne, więc okazały się jakościowo nowe rozwiązania techniczne zakresie automatyzacji takiej produkcji, szczególnie umożliwiające opłacalną automatyzację produkcji małoseryjnej i seryjnej, a nawet jednostkowej stanowiących około 75% całej produkcji przemysłowej.

Rozwój zautomatyzowanej produkcji na współczesnym etapie charakteryzuje się następującymi tendencjami.

Pierwsza tendencja – szerokie zastosowanie metody koncentracji operacji technologicznych przy tworzeniu urządzeń zautomatyzowanych w produkcji masowej, seryjnej i małoseryjnej. Koncentracja operacji wyraźnie podwyższa wydajność produkcji i umożliwia szybki zwrot nakładów na automatyzację.

Druga tendencja- szerokie zastosowanie metody budowy modułowej maszyn technologicznych, zautomatyzowanych linii, środków transportowych i systemów sterownia, co wydatnie zmniejsza terminy projektowania i wykonania środków automatyzacji produkcji.

Trzecia tendencja – zwiększenie zastosowania mikroprocesorów i komputerów przy projektowaniu produkcji zautomatyzowanej i dla sterowania procesami technologicznymi, co zwiększa elastyczność produkcji, stwarza wysoką niezawodność stosowanych systemów, umożliwia wykorzystanie, dużych potencjalnych możliwości współczesnej technologii.

Złożoność współczesnych zautomatyzowanych systemów produkcyjnych stawia przed projektantami poważne problemy, związane z racjonalnym wykorzystaniem tych tendencji przy organizacji zautomatyzowanych procesów technologicznych.

Takie możliwości stwarzają, stosowane coraz powszechniej, elastyczne formy automatyzacji produkcji w tym elastyczne systemy produkcyjne, pod warunkiem, że przy ich projektowaniu i eksploatacji zostaną właściwie rozwiązane, między innymi, zagadnienia technologiczne dotyczące właściwego doboru urządzeń systemu, doboru przedmiotów do obróbki oraz projektowania procesów technologicznych wytwarzania.

Przedstawione zostały także relacje łączące właściwości wytwarzanych wyrobów z właściwościami systemów, w których one powstają, zaprezentowane zasady racjonalnego projektowania struktury tych systemów. Łącząc potrzeby wieloasortymentowej produkcji z wymaganiami systemu zarządzania (tzn. obejmującego funkcje planowania, sterowania i monitorowania) jej przebiegiem, wyznaczane są zasady racjonalnej organizacji przepływu produkcji, co odpowiada żywotnym potrzebom już istniejących jak i nowotworzonych elastycznych systemów produkcyjnych.

Przedstawiono problematykę dotyczy więc automatyzacji dyskretnych procesów produkcyjnych przy zastosowaniu elastycznych zautomatyzowanych środków wytwórczych.

Cele dydaktyczne zajęć w ramach niniejszego przedmiotu obejmują:

- Poznanie zasad i istoty i sposobów elastycznej automatyzacji procesów wytwarzania.
- Zdobycie wiedzy na temat efektywnych metod automatyzacji produkcji w przedsiębiorstwie

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



produkcyjnym.

- Nauczenie samodzielnego doboru podstawowych zespołów funkcjonalnych i ich wzajemnego współdziałania w elastycznych systemach produkcyjnych.

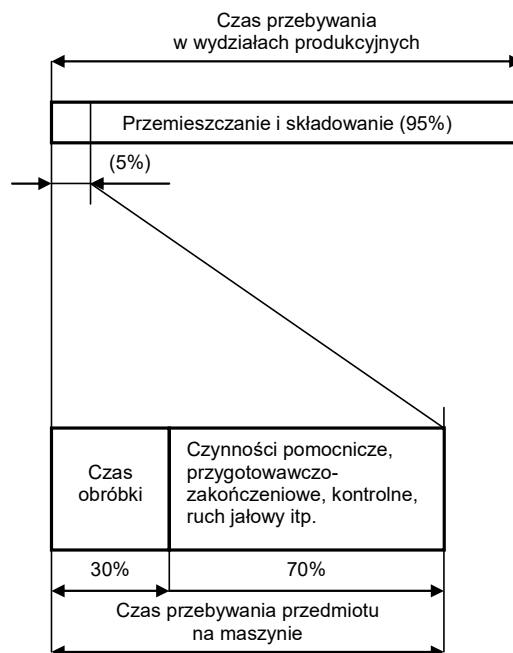
2. Automatyizacja produkcji jednostkowej i małoseryjnej

2.1. Produkcja jednostkowa i małoseryjna - ogólna charakterystyka

Nowoczesne materiały i technologie oraz dynamiczny rozwój elektroniki i techniki komputerowej umożliwiły szerokie zastosowanie w przemyśle obrabiarek sterowanych numerycznie, robotów przemysłowych, zautomatyzowanych systemów transportu i magazynowania oraz komputerowych systemów sterowania.

Jednakże to nie sam rozwój techniki i nowoczesnych technologii lecz konieczność zwiększenia **elastyczności** przedsiębiorstw i lepszego przystosowania ich do rosnących wymagań rynku doprowadziły do powstania obrabiarek sterowanych numerycznie i na ich bazie elastycznych systemów produkcyjnych (ESP).

Efektywność wytwarzania przedmiotów na obrabiarkach konwencjonalnych



Rys. 1. Struktura cyklu produkcyjnego w przypadku konwencjonalnej organizacji produkcji

Faktyczny czas obróbki przedmiotów stanowi około 30% normatywnej stanowiskochłonności. Znaczną część czasu jednostkowego zajmują czynności przygotowawcze, głównie manipulacja obrabianym przedmiotem.

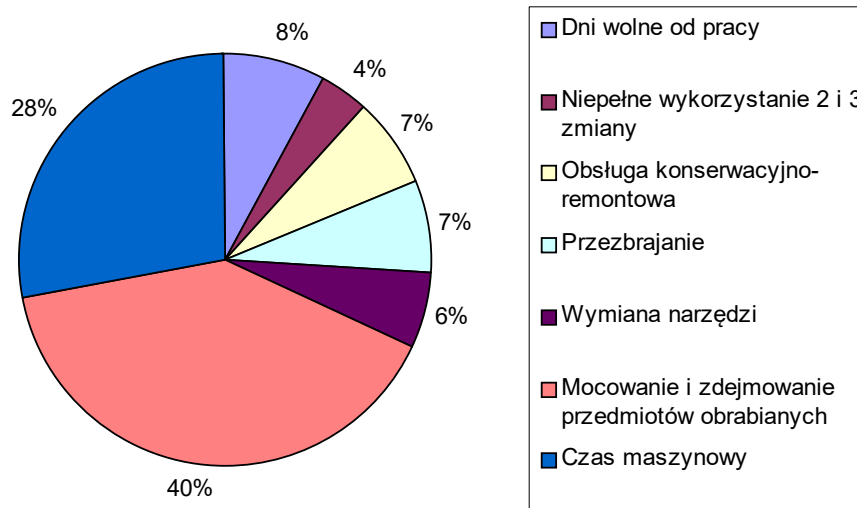
Czas obróbki w produkcji konwencjonalnej stanowi tylko około 1,5% czasu trwania cyklu produkcyjnego. Czas ten można zmniejszyć przede wszystkim dzięki zastosowaniu bardziej wydajnych metod obróbki.

Struktura czasów przygotowawczo-zakończeniowego i pomocniczego w przypadku obrabiarek konwencjonalnych



Rys. 2. Struktura czasów przygotowawczo-zakończeniowego (t_{pz}) i pomocniczego (t_p)

Automatyzacja umożliwia zmniejszenie tych czasów nawet o 90%.



Rys. 3. Struktura wykorzystania nominalnego funduszu czasu pracy obrabiarek w przemyśle USA w przypadku produkcji średnio- i małoseryjnej

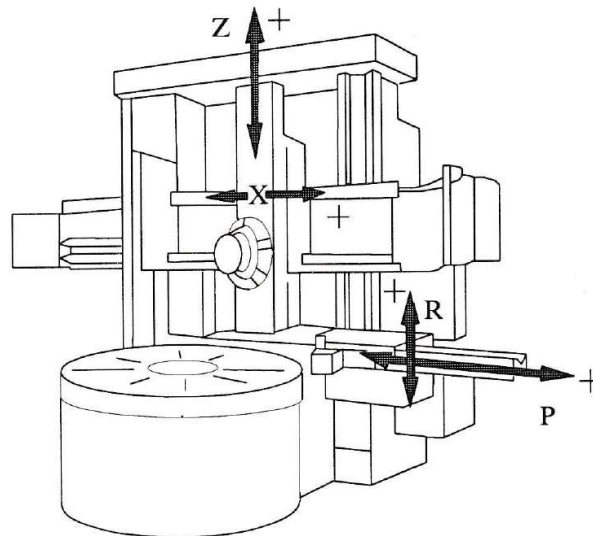
2.1.1. Podział zautomatyzowanych elastycznych środków wytwórczych

1. Systemy jednomaszynowe:
 - obrabiarki sterowane numerycznie;
 - centra obróbkowe;
 - autonomiczne stacje obróbkowe.
2. Systemy wielomaszynowe:
 - elastyczne gniazda obróbkowe (EGO);
 - elastyczne systemy obróbkowe;
 - elastyczne linie obróbkowe

Obrabiarka sterowana numerycznie

Obrabiarka sterowana numerycznie – obrabiarka zautomatyzowana wyposażona w numeryczny układ sterowania programowego NC, który steruje w sposób programowy wszystkimi ruchami w procesie obróbki, parametrami obróbki i czynnościami pomocniczymi w celu uzyskania przedmiotu o żądanym kształcie, wymiarach i chropowatości powierzchni.

Obrabiarka NC jest obrabiarką specjalnie skonstruowaną do potrzeb automatycznego, programowego sterowania. Nie jest to obrabiarka automatyczna, która została dodatkowo wyposażona w programowe sterowanie numeryczne.

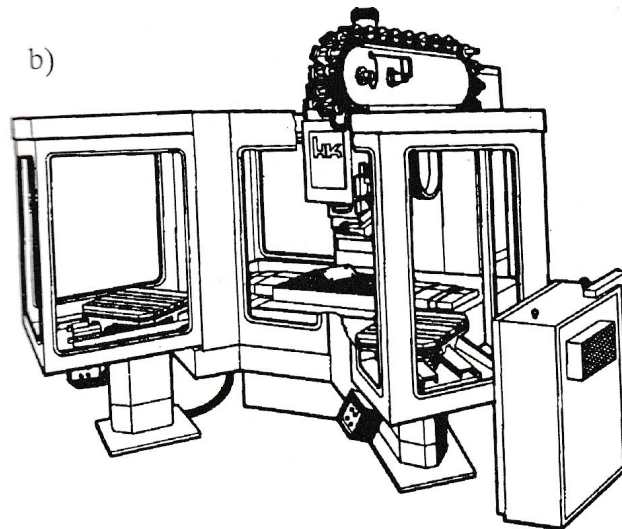


Rys. 4. Tokarka ze sterowaniem numerycznym w czterech osiach

Centrum obróbkowe

Centrum obróbkowe – obrabiarka sterowana numerycznie (zwykle CNC) zapewniająca w zakresie jej możliwości technologicznych, wykonanie w jednym zamocowaniu przedmiotu dużej liczby zabiegów obróbkowych za pomocą różnych narzędzi w takim zakresie, aby po obróbce uzyskać przedmiot w pełni lub

w dużej części obrabiony. Centrum obróbkowe jest wyposażone w magazyn narzędzi z automatyczną zmianą narzędzi.



Rys. 5. Centrum wiertarskie spaletyzowane

Cechy charakterystyczne obrabiarki sterowanej numerycznie

- niezależne, serwomechanizmowe, indywidualne napędy posuwu każdej sterowanej osi;
- indywidualne, elektroniczne układy pomiarowe położenia lub przemieszczenia każdej sterowanej osi;
- w większości spotykanych obrabiarek NC, automatyczne urządzenia do wymiany narzędzi, a także przedmiotów;
- przekładnie śrubowo-toczone z obrotową śrubą lub nakrętką do napędu ruchów posuwowych (nie są stosowane wałki pociągowe do zmiany ruchu obrotowego na prostoliniowy ze względu na luzy i małą sztywność);
- prowadnice toczne, hydrostatyczne lub ślizgowe z materiałów o dużej stałości współczynnika tarcia;
- głowice i magazyny wielonarzędziowe;
- jeden lub więcej suportów narzędziowych;
- automatycznie i zdalnie sterowany konik (coraz częściej sterowany numerycznie);
- konstrukcja typu *compact*, zajmująca niewielką powierzchnię użytkową;
- mechaniczne usuwanie wiórów do pojemnika wiórów.

Cechy odróżniające obrabiarki sterowane numerycznie od konwencjonalnych

1. Duża sztywność statyczna i dynamiczna oraz dobre tłumienie drgań:

- bezluzowe łożyskowanie wrzecion;
- wyrównywanie silników napędowych;

- bezluzowe przekładnie i śruby pociągowe;
 - stabilne prowadnice z materiałów o minimalnej różnicy współczynników tarcia spoczynkowego i kinematycznego;
 - stosowanie śrub pociągowych o dużej sprawności rzędu 98% (śruby toczne) – minimalizowanie strat cieplnych, a więc duża dokładność skoku gwintu;
 - stosowanie przekładni śrubowo-tocznych, które przy porównywalnych wymiarach cechuje znacznie większa nośność i sztywność;
 - stosowanie obrotowych nakrętek w przekładniach śrubowo-tocznych przy długich przesuwach, co pozwala na stosowanie dużych średnic śrub (do 150 mm), polepsza sztywność skrętną i nie zwiększa masowego momentu bezwładności ruchomych elementów (wzrasta sztywność dynamiczna);
 - stosowanie korpusów o dużej sztywności;
 - stosowanie operacji szlifowania do wszystkich elementów (wrzeciona, wałków wielowypustowych, kół zębatych);
 - minimalizowanie liczby kół zębatych (przekładni zębatych) w łańcuchach kinematycznych;
 - specjalna konstrukcja łoża i prowadnic zabezpieczająca przed gorącymi wiórami i skutkami odkształceń cieplnych.
2. Całkowite wyeliminowanie napędów posuwu ze wspólnym (centralnym) silnikiem asynchronicznym i 3-4 stopniową skrzynką posuwów (napędy przełączalne) oraz z zakleszczaniem prowadnic w żądanym położeniu.
 3. Eliminowanie nieregulowanych silników prądu przemiennego z napędów posuwu.
 4. Wyposażenie obrabiarki NC w magazyny narzędziowe i zmieniacze narzędzi.
 5. Automatyzacja wymiany przedmiotów obrabianych.
 6. Automatyczny nadzór obróbki na obrabiarence NC.
 7. Sterowanie numeryczne osi napędu głównego.
 8. Narzędzia obrotowe napędzane.

Są jedną z najmłodszych i najbardziej dynamicznie rozwijających się tendencji w obrabiarkach sterowanych numerycznie. Polega na możliwości niezależnego napędu ruchu obrotowego narzędzi obrotowych (wierteł, frezów itp.) znajdujących się w głowicach rewolwerowych. Jest to ruch skrawający, który na przykład pozwala wiercić otwory w wałku w kierunku prostopadłym do jego osi.

ESP - ogólna charakterystyka

Elastyczny system produkcyjny (ESP; ang. *FMS- Flexible Manufacturing System*) to układ obrabiarek ze sterowaniem CNC (ang. **Computer Numerically Controlled**) uzupełnionych stanowiskami nieobróbkowymi, zintegrowanych z centralnie sterowanym systemem transportu, magazynowania i manipulacji narzędziami i przedmiotami obrabianymi, umożliwiającą jednoczesne wytwarzanie kilku rodzajów przedmiotów o wspólnych cechach technologicznych i zróżnicowanych cechach konstrukcyjnych bez udziału operatora w ciągu długiego okresu.

Uzasadnienie stosowania systemów elastycznych



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20 - 618 Lublin

- zmienne wymagania rynkowe;
- procesy ciągłe są w wysokim stopniu zautomatyzowane, a ich udział w dochodzie narodowym stanowi blisko 50% wartości dodanej wytwarzanej przez przemysł;
- w krajach wysoko uprzemysłowionych 80% produkcji wytwarzanej w dyskretnych systemach produkcyjnych stanowi produkcja seryjna, małoseryjna i jednostkowa;
- oceny CIRP (*International Institution for Production Engineering Research - Międzynarodowe Towarzystwo Nukowe Badań Obróbki Mechanicznej*) pokazują, że już aktualnie udział średnio-małoseryjnej produkcji w świecie wynosi ponad 70%.
- walka o konsumenta wymaga wytwarzania dużego asortymentu wyrobów, przy jednoczesnym minimalizowaniu jego kosztów. Jest to możliwe jedynie przez:
 - zwiększenie elastyczności produkcji,
 - podniesienie wydajności produkcji przez optymalizację technologii obróbki oraz dobrze wykonaną kalkulację czasów,
 - właściwy dobór urządzeń technologicznych systemu obróbkowego przedmiotów do obróbki,
 - zmniejszenie kosztów pośrednich wytwarzania.

2.1.2. Porównanie możliwości obróbczych środków wytwarzania

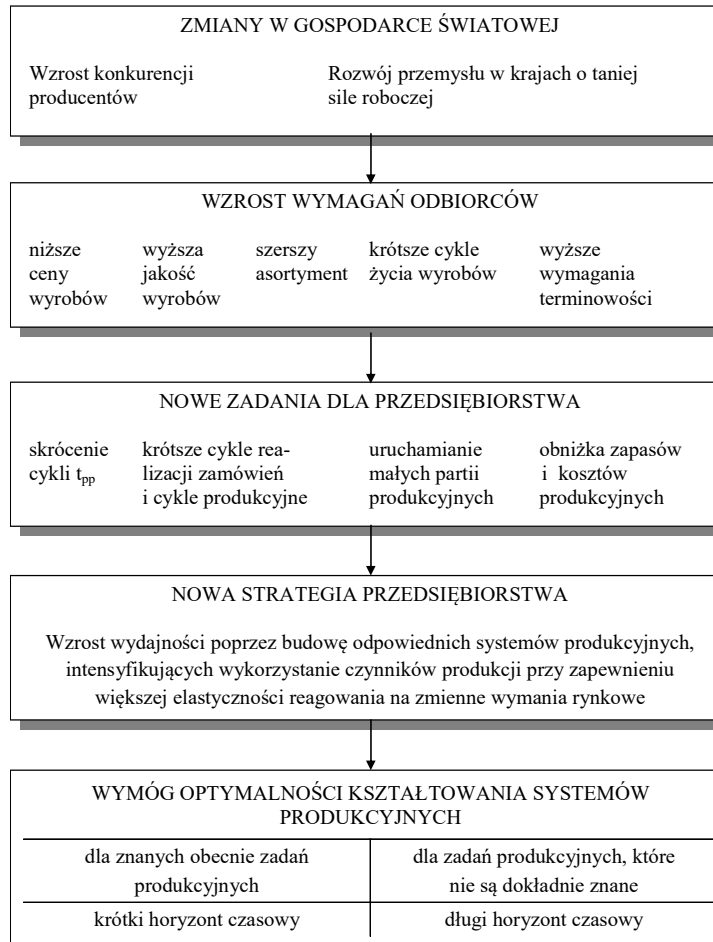
Czas „czystej” obróbki w systemach ESP wynosi 70% całkowitego czasu wykonania operacji technologicznych, tzn., że w 600 godzinach miesięcznej pracy systemu aż 420 godzin jest przeznaczonych na rzeczywistą obróbkę na maszynie. Czasy przygotowania produkcji oraz liczba przebrojeń w przypadku systemów elastycznych są mniejsze w porównaniu z pozostałymi środkami wytwarzania.

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ

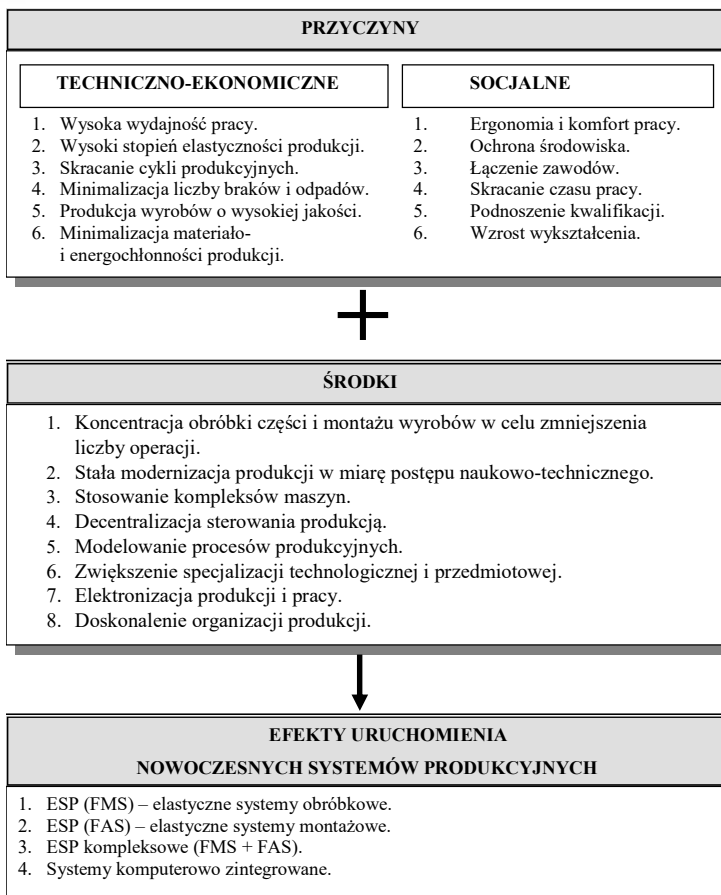


Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



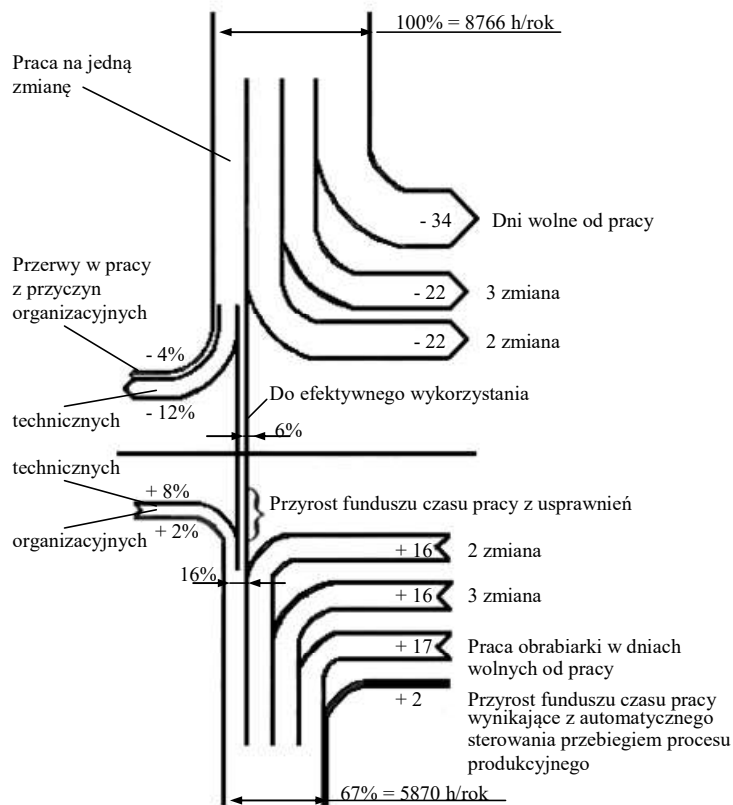


Rys. 6. Czynniki ekonomiczne powstania i rozwoju elastycznej produkcji



Rys. 7. Czynniki sprzyjające wdrożeniom nowoczesnych ESP

Analiza wykorzystania funduszu czasu pracy urządzeń technologicznych pokazuje, że przy wykorzystaniu nominalnego funduszu obrabiarki w około 40% i przy udziale długotrwałości operacji pomocniczych około 70%, efektywny czas obróbki stanowi tylko 10% funduszu nominalnego.



Rys. 8. Wykorzystanie rocznego funduszu czasu pracy obrabiarki
Część górna - obrabiarki konwencjonalne, część dolna - elastyczne systemy produkcyjne

2.1.3. ESP – cechy systemów

ESP charakteryzują się pewnymi wspólnymi cechami, z których najważniejszymi są:

- **Elastyczna automatyzacja.**
- **Integracja.**
- **Elastyczność.**

Elastyczna automatyzacja systemu produkcyjnego oznacza zdolność do bezobsługowej realizacji zadań produkcyjnych w określonym czasie. Inaczej - jest to całokształt środków automatyzujących produkcję szybko zmieniającego się asortymentu wyrobów produkowanych partiami o małej lub średniej wielkości.

Ciągły rozwój automatyzacji powoduje, że ESP stanowią jeden z etapów przechodzenia od obrabiarek konwencjonalnych poprzez obrabiarki bezpośrednio sterowane numerycznie - **DNC** (ang. *Direct Numerical*

Control) do komputerowo zintegrowanego wytwarzania - **CIM** (ang. *Computer Integrated Manufacturing*).



Rys. 9. Ewolucja systemów produkcyjnych

Integracja systemu produkcyjnego oznacza ogólnie zespolenie, złączenie elementów w pewną całość i jest rozpatrywana w dwóch aspektach, jako integracja techniczna i funkcjonalna.

Integracja techniczna ESP oznacza redukcję liczby elementów systemu lub czynności realizowanych przez ten system, bez zmniejszenia jego możliwości funkcjonalnych.

Integracja funkcjonalna ESP polega na zwiększeniu jego autonomii przez zwiększenie zakresu funkcji i procesów realizowanych w systemie w wyniku włączenia do niego niezbędnych procesów tj.: przygotowania produkcji, planowania, sterowania przepływem narzędzi i materiałów, a także procesów kontroli jakości, projektowania i in.

Ogólnie - **elastyczność systemu produkcyjnego** jest własnością wyrażającą zdolność systemu do przystosowania się do zmiennych warunków produkcyjnych i zastępowania funkcji uszkodzonych elementów systemu przez jego pozostałe elementy.

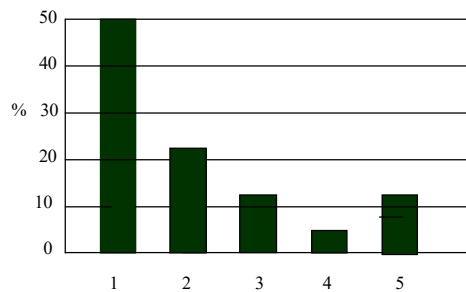
Elastyczność systemu produkcyjnego określają trzy cechy:

- **wielostronność**, czyli liczba różnych wyrobów, które mogą być produkowane w systemie,
- **zdolność adaptacji**, czyli zdolność systemu do przystosowania się do produkcji nowych wyrobów przy dowolnej kolejności ich wytwarzania,
- **szybkość reagowania** na zmiany, czyli czas realizacji zamówienia liczony od momentu jego złożenia do chwili jego wykonania.
- **Elastyczność** systemu produkcyjnego jest zdeterminowana dwoma czynnikami:
- **elastycznością elementów** systemu produkcyjnego, tj. zdolnością realizowania przez nie różnych zadań produkcyjnych,
- **elastycznością struktury** systemu, tj. zdolnością realizacji różnych sprzężeń między elementami systemu produkcyjnego.

2.1.4. Obszar zastosowania ESP

Pierwsze elastyczne systemy produkcyjne realizowały głównie procesy **obróbki skrawaniem**. Obecnie zakres technik wytwarzania stosowanych w ESP znacznie się rozszerzył. Dotyczy to zwłaszcza obróbki blach: spawania, zgrzewania, procesów odlewniczych, montażu, nakładania powłok i in.

Ważnym obecnie obszarem zastosowań elastycznego wytwarzania jest **montaż układów elektronicznych**. Chociaż zakres stosowania ESP stale się rozszerza to jednak ciągle największy udział w wykorzystaniu zautomatyzowanych systemów ma obróbka skrawaniem i obróbka plastyczna, a w mniejszym stopniu technologia montażu.



- 1- obróbka skrawaniem (50%)
- 2 - obróbka plastyczna (21%)
- 3 - montaż (12%)
- 4 - spawanie, zgrzewanie (5%)
- 5 - pozostałe technologie (12%)

Rys.10. Zastosowanie ESP

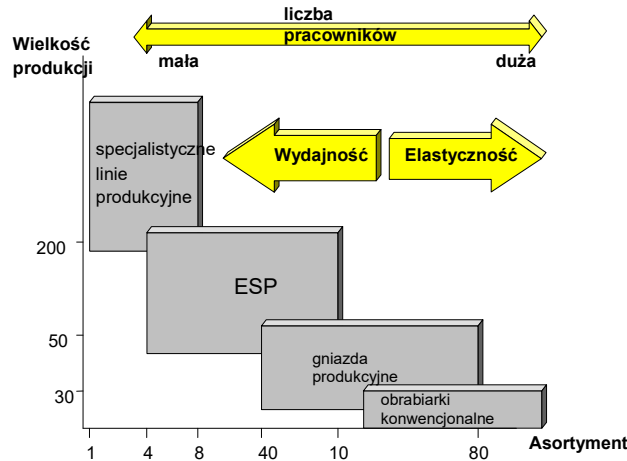
Zastosowanie ESP w obróbce mechanicznej też jest nierównomierne. Najszybszy i najszerszy rozwój osiągnięto w obróbce części korpusowych, następnie części obrotowych i obróbce materiałów w arkuszach. Taka kolejność wynika przede wszystkim z czasu obróbki, który w przypadku części korpusowych jest największy, co nie wymaga gromadzenia dużego zapasu części na wejściu do systemu.

Znacznie trudniej jest zastosować ESP w **technologii montażu**.

Jest to uzależnione przede wszystkim od specyficznych cech procesu montażu jak:

- złożoność i różnorodność montowanych zespołów i konieczność stosowania odpowiedniego wyposażenia montażowego,
- krótkie cykle operacji montażowych (czasy w sekundach),
- konieczność stosowania specjalnych metod montażu.

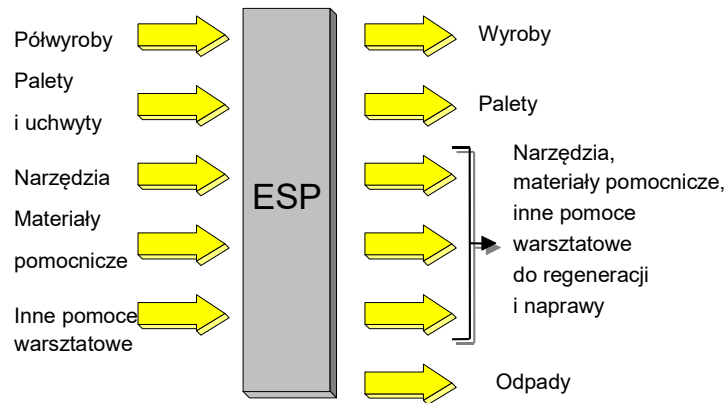
Stosowanie wielostanowiskowych systemów elastycznych jest ekonomicznie uzasadnione w produkcji małej i średnioseryjnej, przy jednoczesnej produkcji od 4 do 100 typów części.



Rys. 11. Przeznaczenie ESP

2.1.5. Współpraca ESP z otoczeniem

Współpraca ESP z otoczeniem - innymi komórkami, służbami i systemami zakładowymi, obejmuje przepływy materiałowe, przepływy informacyjno- decyzyjne oraz obsługę maszyn i urządzeń systemu. Formy tej współpracy decydują o sprawności funkcjonowania samego ESP, jak i całego zakładu. Odnosi się to zwłaszcza do powiązań systemu sterowania z innymi zakładowymi systemami planowania.



Rys.12. Przepływy materiałowe pomiędzy ESP a otoczeniem

3. Elastyczna automatyzacja wytwarzania

Dwie zasadnicze **grupy czynników** warunkujące powstanie i rozwój ESP:

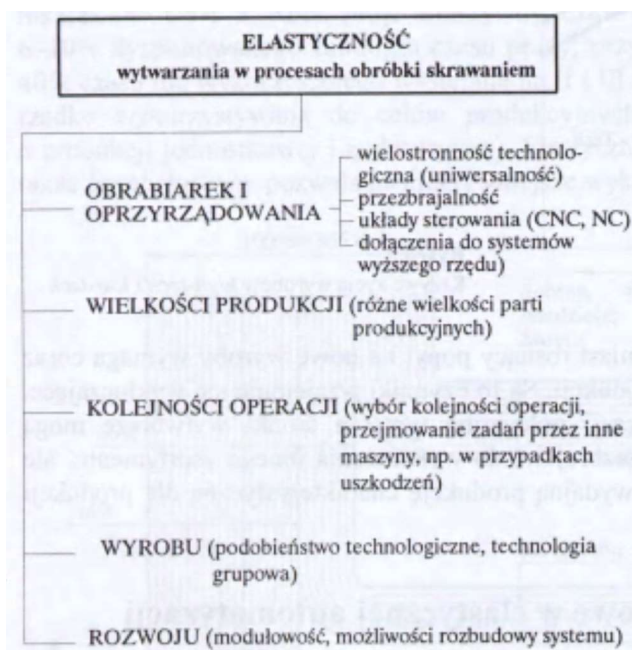
- ciągle zmieniające się wymagania stawiane przedsiębiorstwom przez rynek,

- możliwości wynikające z szybkiego postępu techniczno-organizacyjnego.

Zmiany w otoczeniu przedsiębiorstw przejawiające się w:

- szybko zmieniającym się popycie na wyroby, co zmusza producentów do częstszego przeprofilowaniu produkcji,
- rosnącej konkurencji, zmuszającej wytwórców do większej innowacyjności,
- konieczności skracania terminów realizacji zamówień, a zatem również skracania cyklu produkcyjnego,
- konieczności zmniejszania serii produkcyjnych kosztem zwiększonej oferty asortymentowej,
- konieczności lepszego wykorzystywania możliwości produkcyjnych maszyn i urządzeń technologicznych,
- konieczności zmniejszania zasobów materialnych w celu obniżki kosztów wytwarzania,
- humanizacji pracy załogi.

Elastyczna automatyzacja wytwarzania obejmuje elastyczną automatyzację środków i procesów wytwarzania.



Rys.13. Cechy elastycznej automatyzacji w procesach obróbki skrawaniem

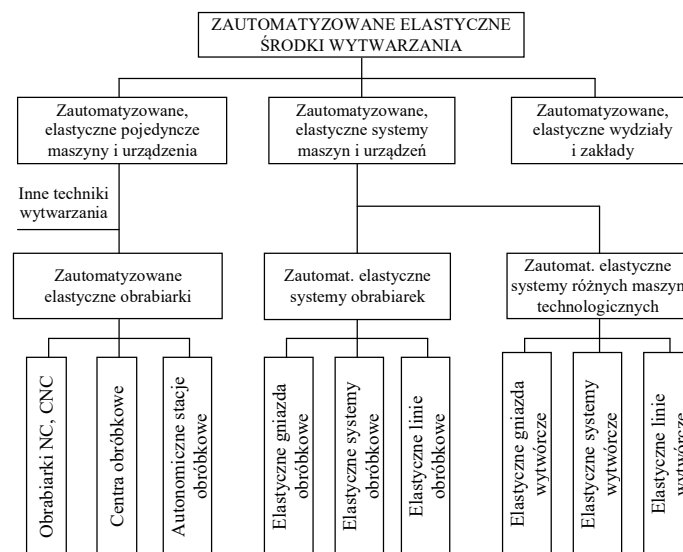
Elastyczność wytwarzania w procesach obróbki skrawaniem obejmuje:

- **elastyczność środków technicznych** – nazywana też **wielostronnością technologiczną**, jest określana zakresem możliwych do wykonania zabiegów obróbkowych. Na pojęcie środka technicznego składa się również system sterowania. Jego elastyczność jest jednym z ważniejszych czynników elastyczności środka wytwórczego.

Elastyczność urządzeń pomocniczych, jak: środki transportowe, manipulacyjne, pomiarowo-kontrolne, dopełnia obrazu technicznego środka wytwórczego;

- **elastyczność procesu technologicznego** – to łatwość szybkiej zmiany narzędzi, uchwytów i przyrządów potrzebnych do wykonania zabiegów i operacji, a także możliwość łatwego wyboru i zmiany kolejności operacji wraz z ich realizacją na różnych maszynach (np. wskutek uszkodzenia danej obrabiarki);
- **elastyczność wielkości produkcji** – możliwość opłacalnej produkcji zarówno jednostkowej, jak i seryjnej. W produkcji jednocześnie może być kilka różnych wyrobów, niekoniecznie należących do tej samej serii;
- **elastyczność wyrobu** – możliwość stosowania technologii grupowej przy wykorzystaniu podobieństwa technologicznego i szybkiej zmiany wytwarzanego wyrobu;
- **elastyczność rozwoju** – możliwość rozbudowy systemu, np. przez dołączanie kolejnych modułów.

3.1. Klasyfikacja zautomatyzowanych elastycznych środków wytwarzania (ZESW)



Rys.14. Klasyfikacja ZESW

3.1.1. Systemy jednomaszynowe:

- pojedyncza obrabiarka CNC i centra obróbkowe stanowiące podstawę elastycznego środka wytwórczego;

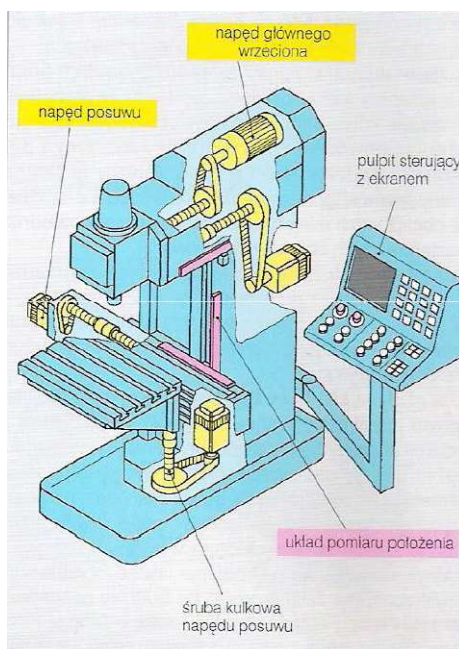
Obrabiarka CNC - zalety w stosunku do OK:

- duża dokładność obróbki,

- stała niezmienna jakość wytwarzania,
- krótki czas obróbki,
- niewielki czas przezbrajania,
- ograniczone oprzyrządowanie.

Centrum obróbkowe - zalety w stosunku do obrabiarki CNC:

- posiadają magazyn narzędziowy,
- wymiana narzędzi następuje w sposób automatyczny.

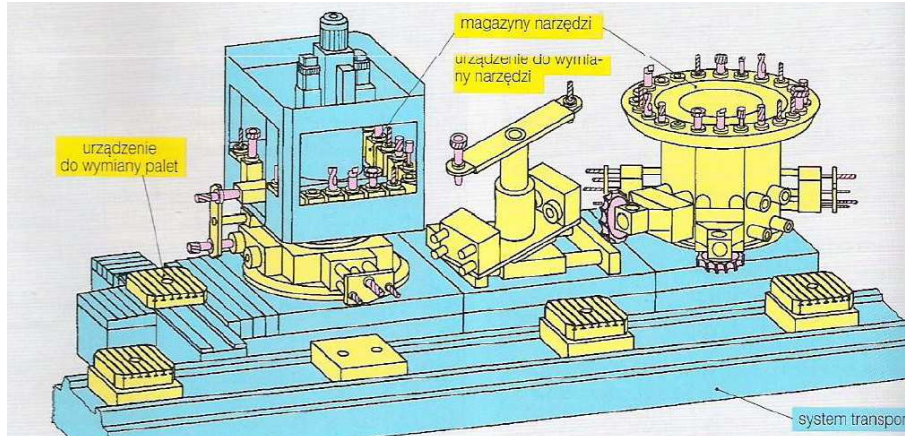


Rys. 15. Centrum obróbkowe

- spaletyzowane centrum obróbkowe

Zalety w stosunku do centrów obróbkowych:

- może posiadać magazyn przedmiotów obrabianych,
- wymiana przedmiotu następuje w sposób automatyczny.



Rys. 16. Spaletyzowane centrum obróbkowe

- **autonomiczna stacja obróbkowa** - elastyczna jednostka wytwórcza, w skład której wchodzi centrum obróbkowe wraz z niezbędnymi urządzeniami transportowymi, magazynowymi, sterującymi oraz kontrolnymi zapewniającymi autonomiczną pracę stacji przy obróbce wyznaczonej partii przedmiotów jednakowych lub technologicznie podobnych, bez wspomaganie z zewnątrz i bez stałej obecności operatora w długich przedziałach czasu (ang. **FMC** – *flexible machining center*).

3.1.2. Systemy wielomaszynowe

- **elastyczne gniazdo obróbkowe (EGO)** – zbiór zautomatyzowanych, elastycznych obrabiarek (zwykle NC lub CNC), dobranych i ustawionych odpowiednio do przydzielonych im zadań, powiązanych urządzeniami transportowymi. W skład EGO mogą także wchodzić obrabiarki obsługiwane ręcznie lub stanowiska uzupełniające, np. mycia i suszenia przedmiotów.

W EGO ma miejsce równoczesna obróbka tych samych przedmiotów na różnych etapach realizacji procesu technologicznego (realizacja różnych operacji), które w sumie się składają na jeden całościowy proces technologiczny jednego wyrobu.

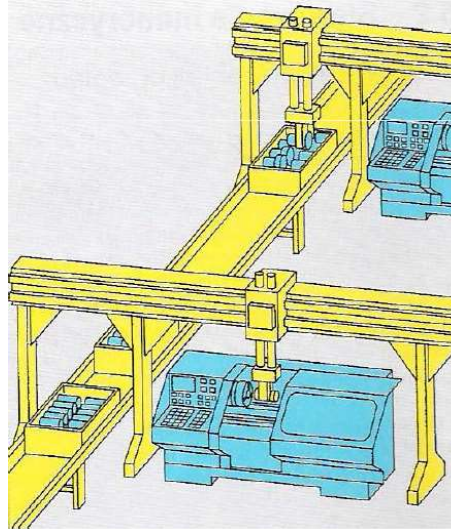


www.pl2022.pollub.pl
e-mail: pl2022@pollub.pl



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20 - 618 Lublin



Rys. 17. Elastyczne gniazdo obróbkowe

- **elastyczny system obróbkowy (ESO)** – zestaw wielu zautomatyzowanych stanowisk obróbkowych (obrabiarek CNC, centrów obróbkowych) uzupełnionych stanowiskami nieobróbkowymi (np. mycia, suszenia, kontroli wymiarowej), połączonych ze sobą zautomatyzowanymi urządzeniami transportu przedmiotów w taki sposób, że na poszczególnych stanowiskach jest możliwa obróbka różnych przedmiotów, przechodzących różnymi drogami przez system (**ang. FMS – Flexible Manufacturing System**).

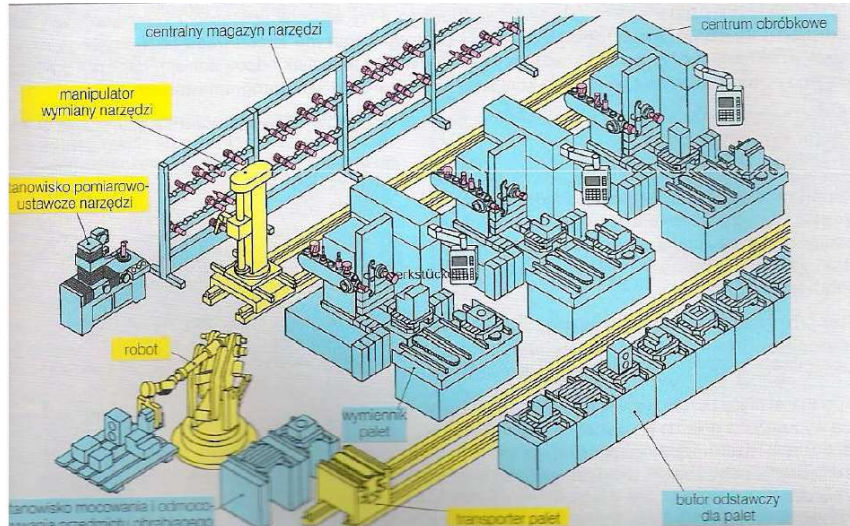
W **ESO** następuje równoczesna obróbka różnych przedmiotów według różnych procesów technologicznych – kolejne wykonywane przedmioty mogą być zupełnie różnego asortymentu. W ESO w przypadku awarii jednego ze stanowisk wytwórczych przedmiot jest przesyłany na inną aktualnie wolną obrabiarkę.

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



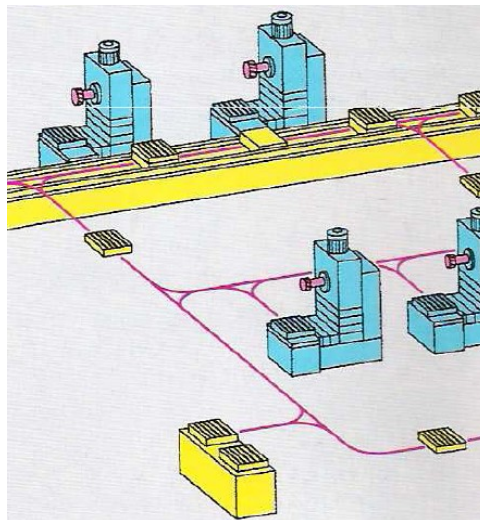
Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Rys. 18. Elastyczny system obróbkowy

- Elastyczna linia obróbkowa (ELO)** - zestaw zautomatyzowanych stanowisk obróbkowych i stanowisk uzupełniających (mycia, suszenia, kontroli wymiarowej), ustawionych liniowo zgodnie z zasadami przebiegu produkcji potokowej (przepływ przedmiotów między stanowiskami bez nawrotów), połączonych zautomatyzowanymi urządzeniami transportowymi. Elastyczność linii polega przede wszystkim na łatwości jej przebrojenia do obróbki różnych serii przedmiotów technologicznie podobnych. ELO zapewnia samoczynną pracę bez stałego udziału operatorów w ciągu długiego czasu jedynie przy obróbce przedmiotów należących do tej samej serii produkcyjnej.

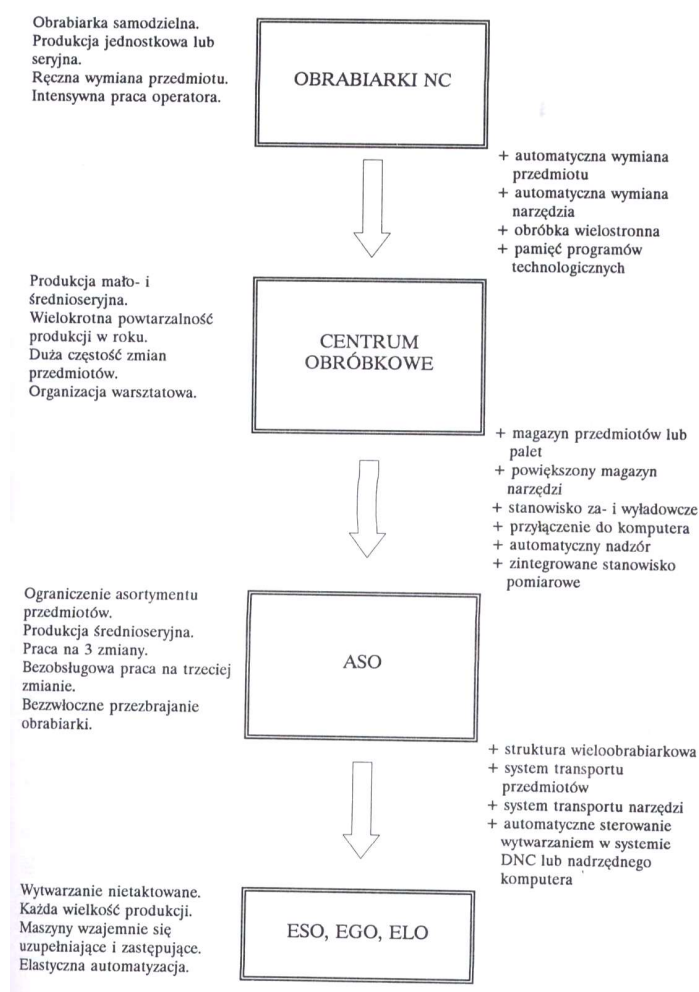


Rys. 19. Elastyczna linia obróbkowa

3.2. Kryteria wyboru zautomatyzowanych elastycznych środków wytwórczych

Istotną cechą tego poziomu elastyczności wytwarzania jest zintegrowanie:

- wielu numerycznie sterowanych obrabiarek,
- systemu transportowego przedmiotów,
- automatycznej wymiany przedmiotów,
- centralnego układu sterującego,



Rys. 20. Poziomy elastyczności wytwarzania

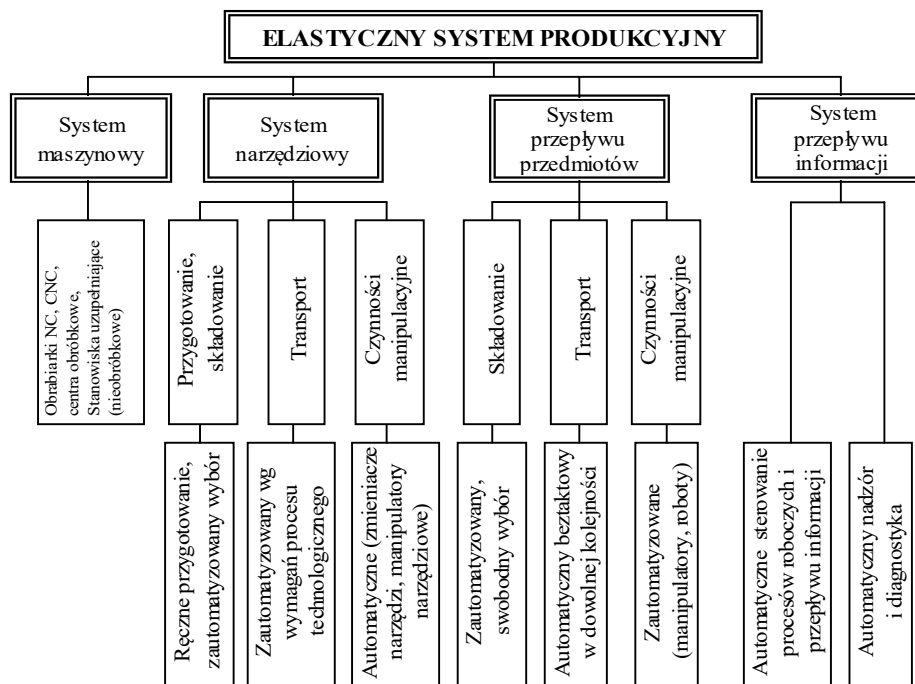
w jeden organizm wytwórczy pozwalający nie tylko na obróbkę, ale i swobodny przepływ przedmiotów i informacji pomiędzy wszystkimi składnikami systemu.

Elastyczne systemy produkcyjne są obiektami technicznymi o wielkim stopniu złożoności. Ich poprawne zaprojektowanie i wdrożenie wymaga odpowiedniej dekompozycji systemu na części składowe.

3.3. Podsystemy funkcjonalne ESP

W literaturze przedstawiane są dwa główne podejścia do dekompozycji elastycznego systemu produkcyjnego wg realizowanych przez niego funkcji. Według pierwszego z nich w systemie elastycznym wyróżnić można cztery podstawowe struktury funkcjonalne (podsystemy):

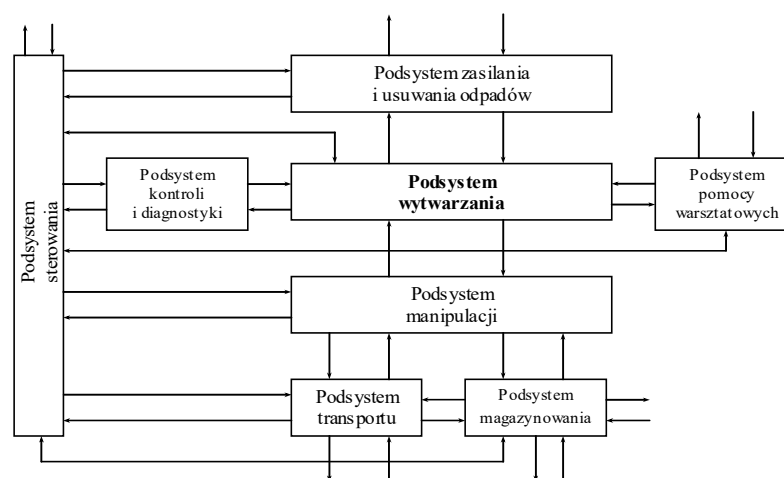
- **podsystem maszynowy**, stanowiący zbiór obrabiarek NC, CNC, centrów obróbkowych stanowisk uzupełniających,
- **podsystem narzędziowy**, stanowiący zestaw narzędzi i ich opravek oraz środków technicznych ich składowania, transportowania i manipulacji,
- **podsystem przepływu przedmiotów**, stanowiący zestaw środków technicznych do składowania i transportowania przedmiotów obrabianych oraz do manipulacji nimi,
- **podsystem przepływu informacji**, stanowiący zestaw środków informatycznych do automatycznego sterowania procesami roboczymi oraz przepływem informacji w systemie wytwórczym, a także zestaw środków pomiarowo-kontrolnych do automatycznego nadzoru i diagnostyki w elastycznym systemie produkcyjnym.



Rys. 21. Struktura funkcjonalna elastycznego systemu produkcyjnego – I podejście

W drugim podejściu autorzy wyodrębniają osiem podsystemów funkcjonalnych elastycznego systemu produkcyjnego:

- **podsystem wytwarzania** – obejmuje stanowiska robocze: obróbkowe, przygotowawcze i kontroli,
- **podsystem transportu** – urządzenia i środki techniczne potrzebne do przemieszczania przedmiotów pracy a także palet, narzędzi i in.,
- **podsystem magazynowania** – urządzenia i środki techniczne do przechowywania półfabrykatów, zapasów produkcji w toku, palet, narzędzi i in.,
- **podsystem manipulacji** – urządzenia i środki techniczne umożliwiające przekazywanie przedmiotów pracy, palet i narzędzi pomiędzy podsystemami: wytwarzania, transportu, magazynowania,
- **podsystem pomocy warsztatowych** – zbiór narzędzi: skrawających, pomiarowych i kontrolnych oraz palet i uchwytów stosowanych w systemie produkcyjnym,
- **podsystemy zasilania i usuwania odpadów** – urządzenia i środki techniczne realizujące zasilenie systemu w materiały pomocnicze, energię oraz usuwające odpady poprodukcyjne,
- **podsystem sterowania** – urządzenia i środki techniczne zapewniające sprawne współdziałanie wszystkich podsystemów funkcjonalnych, a także sterowanie techniczne elementami podsystemów i systemem,
- **podsystem kontroli i diagnostyki** – urządzenia i środki techniczne do pomiarów i zapewnienia jakości produkowanych wyrobów oraz niezawodności środków produkcji.



Rys. 22. Podsystemy funkcjonalne ESP

Podsystem wytwarzania

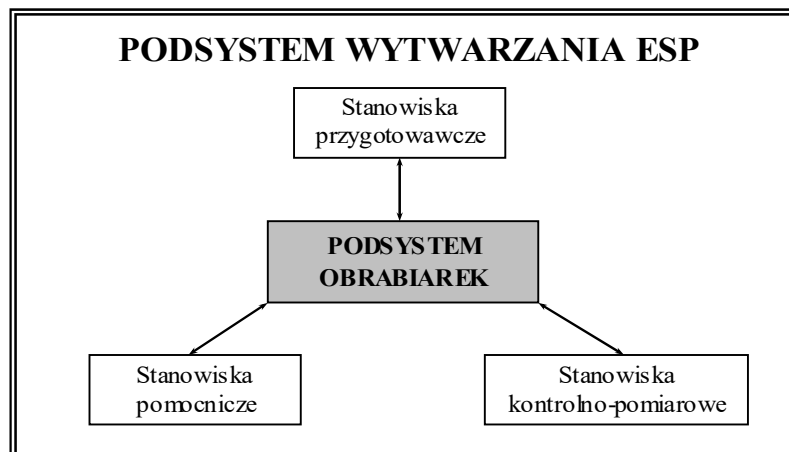
Podsystem wytwarzania obejmuje w ogólnym przypadku urządzenia technologiczne, maszyny, obrabiarki i stanowiska robocze realizujące określone metody wytwarzania: kształtowania, obróbki, łączenia, powlekania itp., a także funkcje pomocnicze: usuwanie wiórów, mycie, zmiana zamocowania przedmiotów, itp.

W szczególności w skład podsystemu wytwarzania wchodzi stanowiska:

- obróbkowe (podsystem obrabiarek),
- przygotowawcze (schładzanie, stabilizacja temperatury, zmiana zamocowania przedmiotów na paletach i in.),
- pomocnicze (mycie, znakowanie, konserwacja, suszenie, usuwanie wiórów),
- kontrolno – pomiarowe.

Trzon podsystemu wytwarzania stanowią stanowiska obróbkowe (podsystem obrabiarek).

Podsystem ten, w zależności od rodzaju zastosowanych w systemie urządzeń jest ściśle powiązany zarówno od strony przepływu strumieni materiałowych, jak energetycznych ze stanowiskami przygotowawczymi, pomocniczymi i kontrolno-pomiarowymi.



Rys. 23. Miejsce podsystemu obrabiarek w strukturze podsystemu wytwarzania ESP

Podsystem maszynowy (obrabiarek)

Wybór i usytuowanie maszyn wchodzących w skład systemu elastycznego w istotny sposób określa jego elastyczność.

Z reguły podsystem maszynowy do systemu elastycznego kompletuje się dwoma sposobami, dobierając:

- **obrabiarki uzupełniające się** - na których można wykonywać tylko określone operacje technologiczne. Taki dobór obrabiarek jest charakterystyczny w przypadku struktury organizacyjnej typu elastyczna linia lub gniazdo obróbkowe;



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20 - 618 Lublin

- **obrabiarki zastępujące się wzajemnie** – możliwość wykonania danej operacji technologicznej na różnych stanowiskach.

Elastyczność takiego systemu jest większa niż poprzedniego.

W elastycznych systemach obróbkowych nie powinno się stosować obrabiarek konwencjonalnych ani obrabiarek NC bez pamięci (chyba, że w systemach DNC).

Struktury organizacyjne doboru obrabiarek i stanowisk uzupełniających do ESO

1. **Struktura szeregową** – obrabiarki są ustawione w zasadzie według kolejności procesu technologicznego. Struktura szeregową jest charakterystyczna w przypadku obrabiarek uzupełniających się. Ma ograniczoną elastyczność asortymentową, tzn. znajduje zastosowanie do pewnej klasy przedmiotów.

Wady struktury szeregowej:

- najdłuższa operacja narzuca takt pracy całego systemu,
 - awaria jednego stanowiska powoduje zatrzymanie pracy całego systemu.
2. **Struktura równoległa** - występują obrabiarki o bardzo dużych możliwościach technologicznych (centra obróbkowe) oraz obrabiarki wzajemnie się zastępujące. Przedmiot obrabiany może przejść przez szereg stanowisk aż do wykonania na gotowo. O poziomie elastyczności takiego systemu decyduje struktura organizacyjna podsystemu transportu przedmiotów obrabianych.

Struktury organizacyjne doboru obrabiarek i stanowisk uzupełniających do ESO

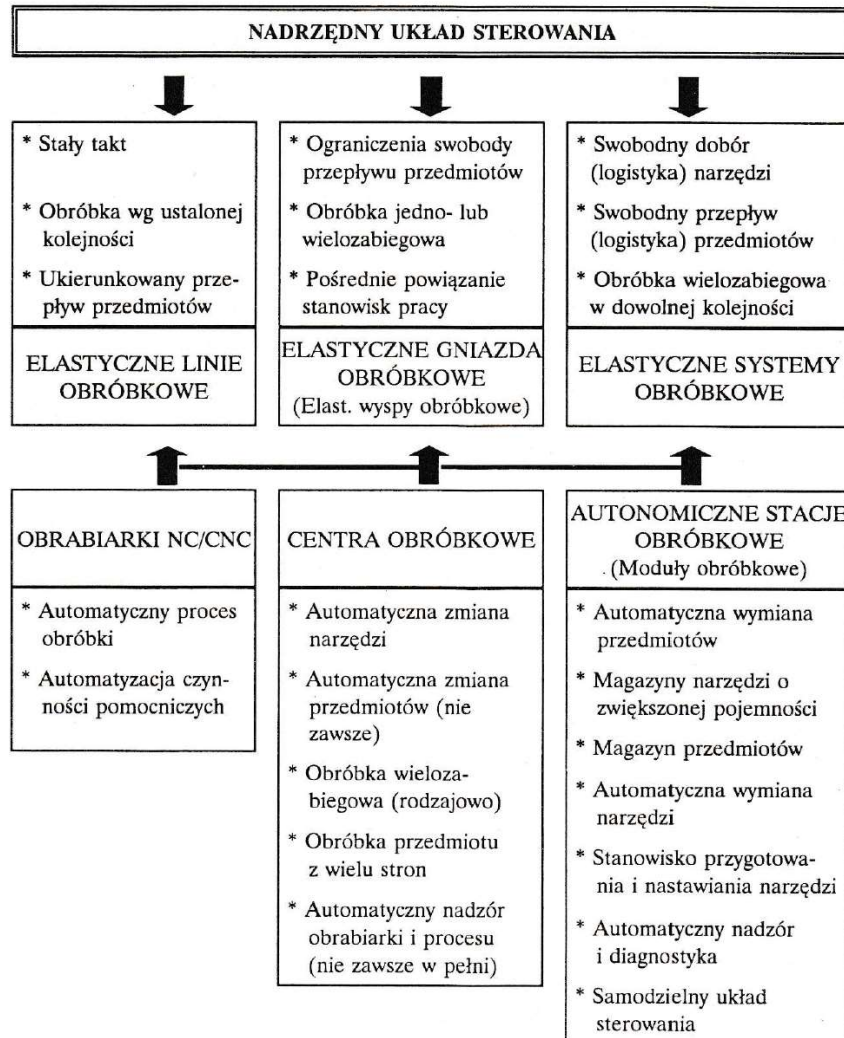
3. **Struktura mieszana (szeregowo-równoległa)** - charakterystyczne cechy podsystemu maszynowego w systemach o strukturze mieszanej przedstawiono na rysunku.

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Rys. 24. Elastyczne systemy wytwarzania, ich składniki maszynowe i charakterystyczne cechy

Podsystem transportu przedmiotów w ESO

Większość najważniejszych cech decydujących o elastyczności systemu wytwarzania wiąże się z podsystemem transportu przedmiotów – ma zapewnić automatyzację transportu począwszy od **stanowiska załadowniczego**, poprzez stanowisko wytwórcze (obrabiarki), uzupełniające, aż do **stanowiska rozładowniczego**.

Organizację podsystemu transportu przedmiotów uważa się za najtrudniejszy i najkosztowniejszy etap realizacji elastycznego systemu produkcyjnego – przeważnie należy go zorganizować od podstaw.

Rozwiązania konstrukcyjne podsystemu transportu przedmiotów można podzielić na podsystemy:

- **do przedmiotów klasy korpusy** – są budowane w systemie paletowym. Każdy przedmiot obrabiany (w magazynie przedmiotów-palet albo na stanowisku załadowniczym) jest mocowany w ściśle określony sposób na palecie. Podsystem transportu zapewnia dostarczenie palety do każdego stanowiska wytwórczego w sposób jednoznaczny i powtarzalny;
- **do przedmiotów obrotowosymetrycznych** – przedmioty umieszczone w pojemnikach są transportowane do poszczególnych stanowisk, gdzie manipulator przedmiotów zapewnia pobranie przedmiotu z pojemnika i załadowanie na obrabiarkę.

Podsystem transportu przedmiotów w ESO powinien zapewniać:

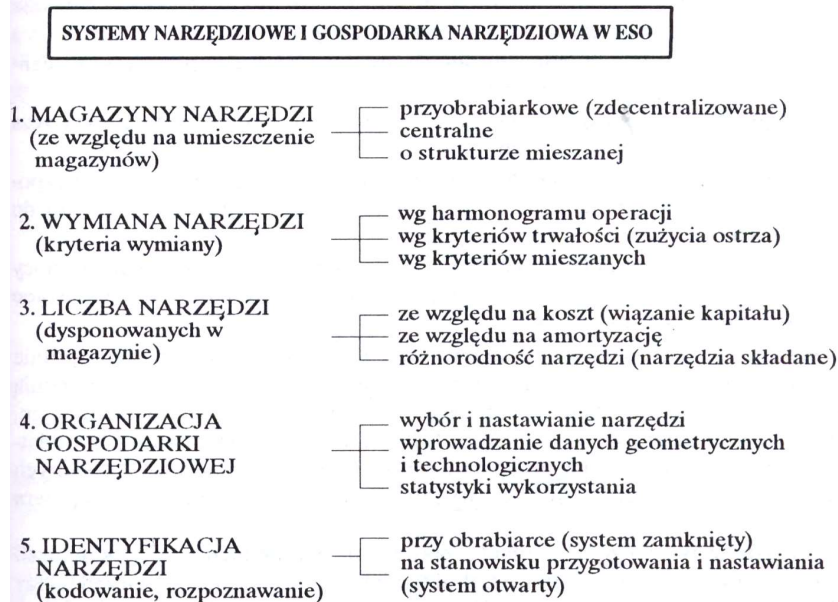
- niezawodny i swobodny transport przedmiotów pomiędzy wszystkimi stanowiskami;
- spełnienie warunków BHP;
- żadaną dokładność pozycjonowania np. palet na poszczególnych stanowiskach (stosowanie urządzeń transportowych nie zużywających się);
- możliwość tworzenia magazynów pośrednich (stacji wyczekiwania) pomiędzy stanowiskami o zasadniczo różnym takcie pracy;
- prostą obsługę zwłaszcza podczas załadowania i wyładowania przedmiotów;
- możliwości rozbudowy stosowanie do potrzeb systemu wytwórczego.

Logistyka podsystemu transportu przedmiotów korpusowych jest oparta na kodowaniu palet przedmiotowych - rozpoznawany jest w sposób automatyczny numer identyfikacyjny palety przedmiotowej, a nie przedmiotu.

Rozróżnia się trzy struktury organizacyjne identyfikacji palet przedmiotowych:

1. **Struktur ze ściśle określonym taktem** – charakterystyczna w przypadku szeregowego ustawienia obrabiarek w elastycznej linii.
2. **Struktur „z poszukiwaniem wolnego stanowiska wytwórczego”** - paleta (wraz ze swoim numerem identyfikacyjnym) porusza się od stanowiska do stanowiska poszukując wolnej (wolnych) obrabiarki, na której można wykonać niezbędne operacje. Taka struktura wymaga systemu elastycznego z obrabiarkami wzajemnie się zastępującymi.
3. Struktura organizacyjna przepływu przedmiotów „ze ściśle określonym stanowiskiem wytwórczym

Podsystem przepływu narzędzi



Rys. 25. Podsystem przepływu narzędzi

Podsystem przepływu informacji w ESO

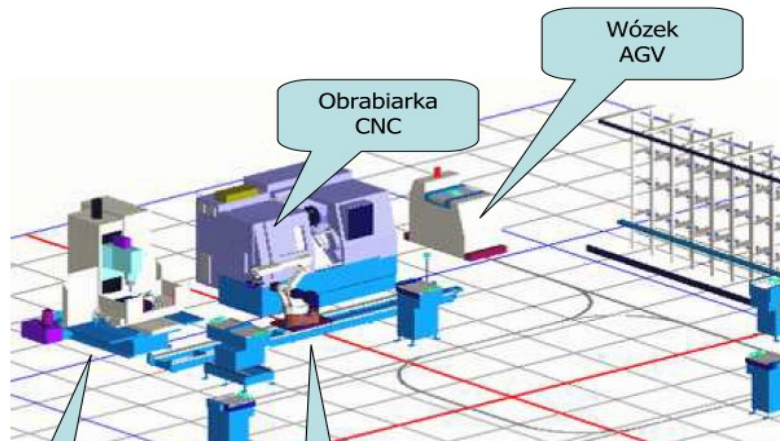
Podsystem przepływu informacji w elastycznym systemie obróbkowym ma za zadanie:

- automatyczne sterowanie procesami wytwórczymi - ma charakter nadrzędny tzn. nadzoruje poszczególne procesy robocze. Szczegółowe sterowanie jest realizowane przez automatyczne układy sterowania poszczególnych podsystemów (obrabiarek, środków technicznych transportu, manipulacji),
- automatyczny nadzór i diagnostykę.

Zadania komputera zarządzającego w ESO

- przyjmowanie zleceń dotyczących liczby przedmiotów i terminu wykonania,
- planowanie wykorzystania (obciążenia) poszczególnych stanowisk wytwórczych,
- czasowy harmonogram przyporządkowujący przedmioty i narzędzia do danej obrabiarki,
- opracowanie informacji niezbędnej do zarządzania narzędziami, umożliwiającej przydział narzędzi do poszczególnych obrabiarek,
- sporządzenie list narzędzi wymagających sprawdzenia w związku z koniecznością wymiany zużytych narzędzi,
- przygotowanie potrzebnych uchwytów,
- opracowanie informacji do podsystemu transportu przedmiotów o miejscu, do którego przedmioty mają być transportowane,
- opracowanie informacji dla komputera DNC, umożliwiającej wyszukiwanie potrzebnych programów technologicznych,

- opracowanie informacji dla operatora o przygotowaniu do pracy, o alternatywnych strategiach w przypadku awarii obrabiarek itp.
- ustalanie priorytetów w przypadku konfliktu (np. w tym samym czasie dwa przedmioty mają być obrabiane na tej samej obrabiarce);
- zarządzanie systemem transportowym palet z magazynu do stanowiska załadowczo-wyładowczego;
- opracowanie raportów np. o zużytych narzędziach, wymagających wymiany na nowe;
- automatyczny nadzór i diagnostyk całego elastycznego systemu obróbkowego, jak np. diagnozowane wykruszenia płytki ostrzowej.

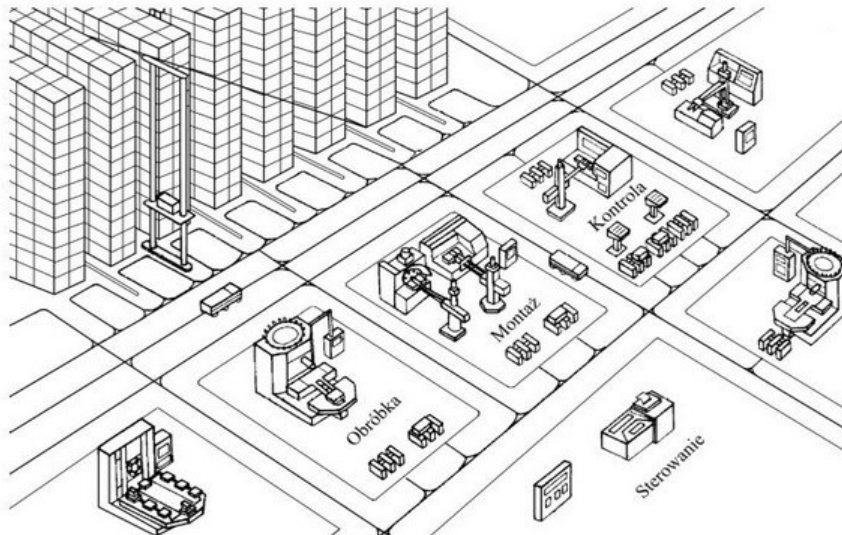


Rys. 26. Elastyczny system produkcyjny - przykład



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20 - 618 Lublin



Rys. 27. Elastyczny system produkcyjny – schemat



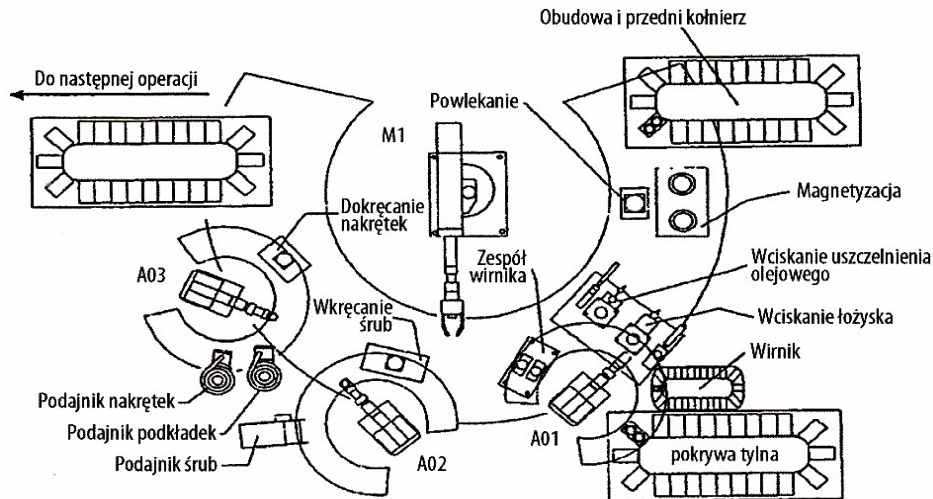
Rys. 28. Elastyczny system produkcyjny

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ



Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny





Rys. 29. Elastyczny system montażowy silnika elektrycznego

4. Nowoczesne systemy produkcyjne

Nowocześnie zorganizowany proces produkcyjny powinien spełniać wymóg elastyczności wytwarzania, po to, aby mógł reagować na:

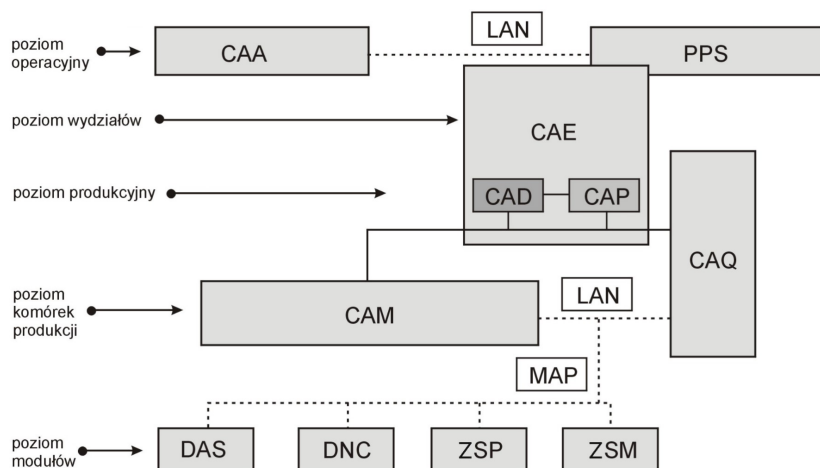
- zmienność żądań rynkowych (krótkie serie i krótkie terminy),
- wdrażanie nowych uruchomień (innowacje produktowe i procesowe),
- zmienności wewnętrzne (stopień wykorzystania stanowisk roboczych i efektywność pracy).

Zmierza w kierunku powstania zintegrowanej komputerowo fabryki wykorzystującej komputerowo zintegrowane wytwarzanie CIM.

4.1. Komputerowo zintegrowany system wytwórczy CIM (Computer Integrated Manufacturing)

System, w którym wszystkie funkcje i elementy uczestniczące w realizacji procesu produkcyjnego są zintegrowane przez jednolity system informacyjno-decyzyjny i sterowany przez komputery.

Powstał on w wyniku połączenia przetwarzania informacji technicznej i ekonomicznej przy wykorzystaniu wysoko zaawansowanych technologii informatycznych. CIM stanowi integrację modułów bazowych CAE z CAD i CAP, CAA, CAQ, PPS, CAM



Rys. 30. Schemat strukturalny komputerowo zintegrowanego systemu wytwarzania CIM

Ma strukturę hierarchiczną, pracuje na wspólnej bazie danych i wiedzy dla całego systemu produkcyjnego.

W skład systemu CIM wchodzi następujące moduły bazowe:

- **CAD** (Computer Aided Design) – komputerowo wspomaganie projektowanie;
- **CAE** (Computer Aided Engineering) – komputerowe wspomaganie prac inżynierskich;
- **CAM** (Computer Aided Manufacturing) – komputerowo wspomaganie wytwarzanie;
- **CAP** (Computer Aided Planning) – komputerowo wspomaganie planowanie procesów;
- **CAQ** (Computer Aided Quality) – komputerowo wspomaganie sterowanie jakością;
- **CAA** (Computer Aided Administration) – komputerowo wspomaganie administracja;
- **PPS** (Production Planning System) – komputerowo wspomaganie planowanie i sterowanie produkcją;
- **DAS** (Data Acquisition System) – system pobierania danych;
- **CNC** (Computer Numerical Control) – komputerowe sterowanie numeryczne;
- **DNC** (Direct Numerical Control) – sterowanie numeryczne bezpośrednie;
- **ZSP** – zautomatyzowany system produkcyjny (ESP, RSP, DESP);
- **ZSM** – zautomatyzowany system montażowy;
- **TOP** (Technical Office Protocol) – protokół techniczny;
- **MAP** (Manufacturing Automation Protocol) – protokół zautomatyzowanego wytwarzania;
- **LAN** (Local Area Network) – lokalna sieć komputerowa.

Przesłanki powstania nowoczesnych systemów produkcyjnych

Przesłanki ekonomiczne, organizacyjne, psychologiczno-społeczne oraz szybki postęp w zakresie technologii wytwarzania i technik komputerowych, doprowadziły do szerokiego zastosowania w przemyśle:

- obrabiarek sterowanych numerycznie,



Zintegrowany
Program
Rozwoju
Politechniki
Lubelskiej

Biuro Projektu:
ul. Nadbystrzycka 38H
20 - 618 Lublin

- robotów przemysłowych
- komputerowych systemów sterowania produkcją.

Jest to fundamentem rozwoju zautomatyzowanych systemów wytwórczych charakteryzujących się wysokim poziomem elastyczności, automatyzacji i integracji.

Przedstawicielami najnowszych rozwiązań w zakresie systemów produkcyjnych są:

- **rekonfigurowalne systemy produkcyjne (RSP);**
- **systemy produkcyjne o sparametryzowanym poziomie elastyczności (DESP);**
- **fraktalne elastyczne systemy produkcyjne (FESP);**
- **holonowe elastyczne systemy produkcyjne (HESP);**
- **bioniczne elastyczne systemy produkcyjne (BESP);**
- **wirtualne elastyczne systemy produkcyjne (WESP);**
- **inteligentne elastyczne systemy produkcyjne (IESP).**

4.2. Rekonfigurowalne systemy produkcyjne (RSP)

Rekonfigurowalny system produkcyjny (RSP) to system produkcyjny zaprojektowany pod kątem możliwości szybkiego dostosowania funkcjonalności i posiadanych zdolności produkcyjnych oraz do zadań wynikających ze zmiennego zapotrzebowania rynku poprzez zmianę struktury systemu zarówno w sferze urządzeń produkcyjnych, jak i oprogramowania.

RSP łączy zalety konwencjonalnych systemów produkcyjnych i elastycznych systemów produkcyjnych z jednoczesnym ukierunkowaniem na:

- maksymalne skrócenie czasu uruchomienia produkcji nowego wyrobu w systemie;
- minimalizację kosztów związanych z projektowaniem systemu produkcyjnego dostosowanego do produkcji nowego wyrobu;
- eliminowanie kosztów związanych z nadmiernym poziomem elastyczności systemu produkcyjnego.

Podstawowe cechy rekonfigurowalnego systemu produkcyjnego:

- **modułowość** – wszystkie główne składniki systemu (zarówno sprzęt, jak oprogramowanie) mają budowę modułową;
- **integralność** – zdolność do szybkiej i precyzyjnej integracji modułów poprzez zbiór mechanicznych, informatycznych i kontrolnych połączeń umożliwiających ich integrację i komunikację. Integralność RSP rozpatrywana jest na dwóch poziomach, tj. poziomie maszyn i poziomie systemu;
- **racjonalność** – projektowanie systemu ze ścisłym ukierunkowaniem na zapewnienie elastyczności rekonfigurowalnego systemu produkcyjnego na poziomie ściśle dostosowanym do aktualnych potrzeb produkcyjnych;
- **zmiennność** – zdolność do szybkiej zmiany funkcjonalności istniejącego systemu, maszyn i sterowników w celu dostosowania się do nowych zadań produkcyjnych;
- **skalowalność** – zdolność do łatwej zmiany poziomu zdolności produkcyjnych RSP poprzez zmianę struktury rekonfigurowalnego systemu produkcyjnego lub zmianę zdolności produkcyjnych określonych elementów wchodzących w skład RSP;

PROGRAM WIEDZA EDUKACJA ROZWÓJ

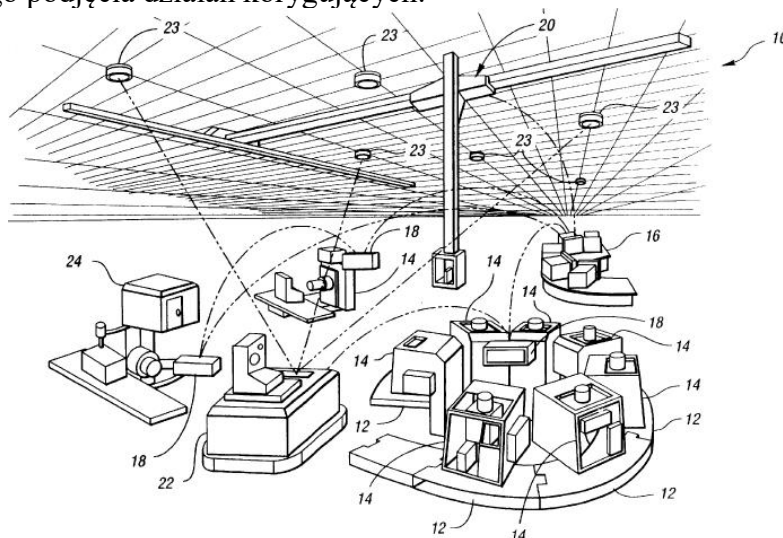


Rzeczpospolita
Polska

Unia Europejska
Europejski Fundusz Społeczny



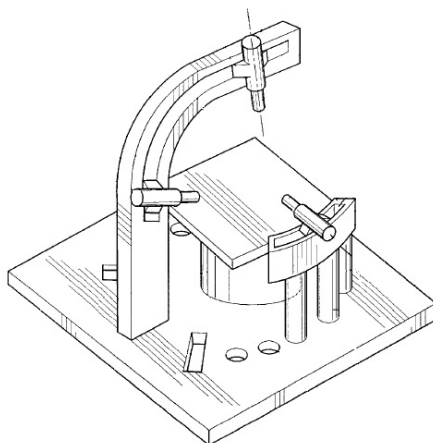
- **diagnozowalność** – oznacza zdolność do automatycznego odczytu aktualnego stanu systemu oraz możliwość wykrywania i diagnozowania przyczyn powstawania braków produkcyjnych oraz natychmiastowego podjęcia działań korygujących.



Rys. 31. Rekonfigurowalny system produkcyjny

Podstawowe elementy struktury rekonfigurowalnych systemów produkcyjnych:

- **modułowe centra obróbkowe** - obrabiarki, których konstrukcja jest tworzona przez kombinację **przygotowanych** wcześniej pojedynczych części lub zespołów (modułów funkcjonalnych);
- **obrabiarki rekonfigurowalne** - obrabiarki, w których istnieje możliwość dokonywania szybkich zmian w strukturze maszyny i szybkiej zmiany funkcjonalności obrabiarki poprzez wymianę modułów bazowych.



Rys. 32. Schemat konstrukcyjny obrabiarki rekonfigurowalnej

4.3. Dedykowane elastyczne systemy produkcyjne (DESP)

Dedykowany elastyczny system produkcyjny (DESP) to zintegrowany kompleks urządzeń technologicznych CNC, zautomatyzowanych środków transportu i manipulacji przedmiotami i narzędziami oraz zautomatyzowanych urządzeń kontrolno-pomiarowych, zaprojektowany pod kątem zapewnienia optymalnego poziomu elastyczności z punktu widzenia bieżących zadań produkcyjnych.

Nadrzędnym celem dedykowanych elastycznych systemów produkcyjnych nie jest maksymalizacja poziomu elastyczności systemu (jak ma to miejsce w przypadku klasycznych ESP), a jej racjonalizacja, dająca możliwość ograniczenia zarówno kosztów inwestycyjnych, jak też kosztów eksploatacji systemu w trakcie cyklu jego życia.

Dwa podstawowe kryteria stanowiące o istotnej różnicy DESP i RSP:

- **struktura systemu** – stała w przypadku DESP; zmienna w przypadku RSP,
- **długość cyklu życia systemu** – określona w przypadku DESP; nieokreślona w przypadku RSP.

Tab. 1. Porównanie cech zautomatyzowanych systemów produkcyjnych

	ESP	RSP	DESP
Struktura systemu	stała	zmienna	stała
Poziom elastyczności systemu	maksymalny	optymalny z punktu widzenia bieżących zadań produkcyjnych	optymalny z punktu widzenia bieżących i planowanych zadań produkcyjnych
Długość cyklu życia systemu	nieokreślona	nieokreślona	określona
Koszt inwestycji	wysoki	wysoki	średni
Asortyment wytwarzanych wyrobów	bardzo duży	niski (przy określonej konfiguracji)	średni

4.4. Fraktalne elastyczne systemy produkcyjne (FESP)

Fraktalny system produkcyjny (Fractal Organization) jest nową koncepcją struktury współpracy wydzielonych jednostek, umożliwiającą zastąpienie pionowych zhierarchizowanych struktur organizacyjnych w przedsiębiorstwie.

Pojęcie **fraktal** (łac. **fractus** – złamany, pęknięty) pochodzi od matematyczno-geometrycznego określenia struktur naturalnych organizmów żywych i materii.

Fraktale są elementami pewnej całości odwzorowującymi jej strukturę.

Obiekty fraktalne mają następujące właściwości:

- są samopodobne na każdym poziomie obserwacji, w tym sensie, że po wyjęciu z nich dowolnej małej części i jej powiększeniu powstanie obiekt wiernie naśladujący całość;
- nie posiadają unikalnej, charakterystycznej w ich przypadku skali długości, gdyż powiększone lub pomniejszone nie zmieniają swych kształtów;
- część jest równoważna całości, układ mikro odzwierciedla układ makro oraz inne układy mikro;
- obiekty fraktalne można powiększać w nieskończoność.

Na płaszczyźnie organizacyjnej fraktal – to samodzielna jednostka, której cele mogą być jednoznacznie opisane.

Fraktalem może być przedsiębiorstwo (makrofraktal), jak i jego część (mikrofraktal). Zastosowanie tego pojęcia do kształtowania przedsiębiorstw podkreśla samopodobieństwo organizacji i jej poszczególnych fraktali.

4.5. Holonowe systemy produkcyjne (HSP)

Holoniczny system produkcyjny (Holonistic Manufacturing System – HMS) zakłada odejście od dużych hierarchicznych organizacji na rzecz małych, zdecentralizowanych jednostek, skupiających jedynie kompetencje kluczowe.

Jednostki te, podobnie jak w organizacjach fraktalnych, określane jako **holony** (z greckiego: **holos** – całość i **on** – część), odzwierciedlają strukturę całości, nie tracąc przy tym samodzielności niezależności operacyjnej.

Holony to autonomiczne i kooperujące bloki systemów produkcyjnych służące do przekształcania, transportowania, gromadzenia informacji lub obiektów fizycznych.

W kontekście produkcyjnym można zdefiniować **HSP** jako holarchiczny system wytwórczy złożony z holonów.

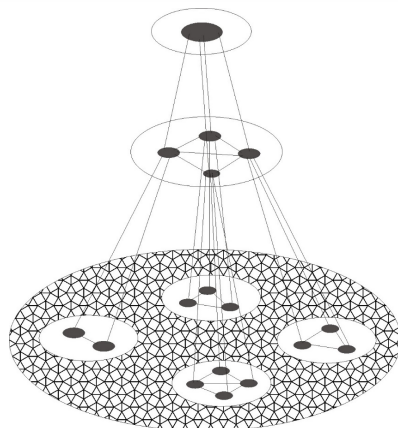
Holony funkcjonują, jako:

- niezależne całości, którym są podporządkowane części składowe,
- zależne części, podporządkowane wyższemu poziomom i celom,
- części skoordynowane z ich lokalnym środowiskiem.

Holon to autonomiczny i kooperatywny moduł odpowiedzialny za przetwarzanie obiektów fizycznych oraz skojarzonych z nimi informacji w ramach określonych operacji produkcyjnych.

Każdy holon może działać niezależnie lub być częścią innego holonu bądź większej całości, określanej jako holarchy. Holarchy są grupę holonów, kooperujących ze sobą aby osiągnąć wspólne cele. Holarchy tworzą wyższy poziom organizacyjny, monitorując i wspierając działania poszczególnych holonów.

Organizacja holoniczna utworzona na bazie holonów i holarchów jest elastycznym układem powiązań między wyodrębnionymi jednostkami.



Rys. 33. Organizacja holoniczna

4.6. Bioniczne systemy produkcyjne (BSP)

Bioniczne systemy produkcyjne (BSP) – systemy poszukujące związków między żywymi organizmami a systemami produkcyjnymi.

Poszukiwanie wzrostu efektywności ESP na bazie mechanizmów biologicznych, które gwarantują, że organizm żywy potrafi być elastyczny, zarówno w bieżącym wymiarze operatywnym, jak i strategicznie (ewolucja gatunków).

Podstawowe cechy bionicznych systemów produkcyjnych

- **samorozpoznawanie** (wzajemna identyfikacja elementów i procesów systemu, zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych);
- **samodopasowywanie** (elastyczność reakcji, w szczególności podczas zakłóceń),
- **samoodtwarzanie** (naprawy i wymiana zużytych elementów);
- **samoorganizacja** (marketing, planowanie, przetwarzanie zleceń, organizacja produkcji, logistyka zaopatrzeniowa i dostawcza, sprzedaż i obsługa klientów, finanse, analizy gospodarcze);
- **samowzrost** (realizacja założeń budżetowych i ciągła poprawa wskaźników ekonomicznych);
- **samoewolucja** (nowe produkty i formy ich produkcji, ekspansja rynkowa).

Tab. 2. Hierarchia biologiczna i bioniczna

Organizm żywy	Bioniczny system produkcyjny
komórka (najmniejsza, zorganizowana jednostka żywej materii)	podstawowa jednostka produkcyjna, np. elastyczny moduł produkcyjny (robot, obrabiarka, magazyn części lub narzędzi, sterowanie lokalne)
różne rodzaje komórek (różnice w aktywacji tej samej informacji genetycznej w ramach organizmu)	różne rodzaje komórek produkcyjnych, korzystające z różnych fragmentów tego samego systemu informacyjnego przedsiębiorstwa
czynności życiowe komórki, strumienie chemiczno-elektryczne (enzymy, hormony)	operacje produkcyjne, przepływy materiałowo-energetyczno-informacyjne (koordynacja, sterowanie)
tkanka (zespoły komórek o podobnej budowie i pochodzeniu, wspólnie spełniających określoną funkcję)	zespół podstawowych jednostek produkcyjnych, np. elastyczne gniazdo produkcyjne dla rodziny technologicznej części wyrobów (roboty, centra obróbcze)
organ/narząd (wyodrębnione morfologicznie zespoły tkanek spełniające złożone funkcje organizmu)	wyodrębnione organizacyjnie zespoły gniazd i modułów np. elastyczna linia wytwórcza wytwarzająca podzespoły czy wyroby gotowe
układ (zespół współpracujących narządów wykonujących najbardziej istotne funkcje organizmu, np. oddychanie, trawienie)	elastyczne wydziały czy zakłady spełniające fundamentalne funkcje produkcyjne, np. gospodarka transportowa czy magazynowa, podsystem wytwórczy czy inne podsystemy
organizm	przedsiębiorstwo jako bioniczny system produkcyjny
społeczeństwo	partnersko konkurujące przedsiębiorstwa

4.7. Wirtualne systemy produkcyjne (WSP)

Rosnące wymagania rynku klienta wymuszają rezygnację ze strategii maksymalizujących stopień wykorzystania środków produkcji na rzecz strategii maksymalnego zaspokojenia oczekiwań klienta (oczekiwań związanych przede wszystkim z terminowością i zróżnicowaniem wielkości dostaw wyrobów). W czasach, gdy każdy producent może korzystać z tych samych zasobów, konkurencyjność przedsiębiorstwa może się przejawiać jedynie efektywniejszym sposobie ich wykorzystania, tzn. w lepszym sposobie zarządzania przepływem produkcji (np. sprawniejszym obiegu dokumentów, skróceniu przestojów, wyeliminowaniu zbędnych czynności, itp.).

Przy takich samych możliwościach wzajemnie konkurujących ze sobą przedsiębiorstw konkurować można tylko w obszarze wypracowywania lepszych lub gorszych decyzji.

Obserwowana potrzeba podejmowania szybkich, trafnych decyzji implikuje zatem konieczność korzystania z dostępnych **technologii informacyjnych** oraz implementowanych w nich **modeli wspomaganie decyzji**.

4.8. Inteligentne systemy produkcyjne (ISP)

Inteligentny system produkcyjny (ISP) - system produkcyjny, który efektywnie integruje inteligencję ludzką z jej materialnym otoczeniem wytwórczym.

Inteligentny system produkcyjny jest takim ESP, w którym dominującym rodzajem elastyczności jest **elastyczność informacyjna**.

Ten rodzaj elastyczności pełni bowiem rolę meta cechy w odniesieniu do innych rodzajów elastyczności (np. automatyzacji, strukturalnej, asortymentowej, marszrut, przebrojeń).

Czynnikiem integrującym transformacje, prowadzące od klasycznie rozumianych systemów produkcyjnych do ISP jest **informacja**.

Tab. 3. Zmiana paradygmatu zarządzania systemami wytwórczymi

Tradycyjne systemy produkcyjne	Inteligentne systemy produkcyjne
zarządzanie materialne	zarządzanie informatyczne
klasyczny determinizm	zdeterminowany chaos
hierarchiczność	relacyjność (obiektość)
szttywność decyzyjna, logika klasyczna	wielowariantowość, logika rozmyta
statyczna równowaga	dynamiczne dysproporcje
centralizacja	struktury rozproszone
funkcyjność	procesowość
ekspansywna konkurencyjność	partnerska współpraca
monolityczność, zamkniętość	otwartość, heterogeniczność, wirtualność
sekwencyjność, redukcjonizm	równoległość, systemowość
ograniczona samodzielność	autonomiczność
zależności lokalne	zależności globalne
wolne reakcje	reakcje on-line (real-time)
część jako fragment całości	całoczęść (holon), fraktalność

4.9. Przemysł 4.0 (Industry 4.0)

Przemysł 4.0 (IV rewolucja przemysłowa) to wzajemne wykorzystanie automatyzacji, przetwarzania i wymiany danych na potrzeby technik i zasad działania procesów wytwórczych.

Używa się przy tym internetu rzeczy (sieci połączonych ze sobą przedmiotów), chmury obliczeniowej i systemu sterującego procesami fizycznymi odtwarzającymi elementy świata realnego (czyli przetwarzającego obiekty analogowe na cyfrowe).

Pojęcie oznaczające **integrację** inteligentnych maszyn, systemów oraz wprowadzanie zmian w procesach produkcyjnych mających na celu zwiększanie wydajności wytwarzania oraz wprowadzenie możliwości elastycznych zmian asortymentu.

Przemysł 4.0 dotyczy nie tylko technologii, ale też nowych sposobów pracy i roli ludzi w przemyśle.

Przemysł 4.0 w dużym skrócie można zdefiniować, jako **dogłębną cyfryzację**, a następnie dalszą automatyzację procesów zachodzących w przedsiębiorstwach poprzez implementację zaawansowanych systemów IT, przemysłowego **internetu rzeczy**, analityki danych i sztucznej inteligencji.

Dążenie do zespolenia świata fizycznego z wirtualnym w sposób, który znacząco usprawnia działanie tego pierwszego (świata fizycznego). Taki poziom cyfryzacji wymaga nie tylko dużych nakładów, lecz także wprowadzenia fundamentalnych zmian w zarządzaniu przedsiębiorstwem.

Wyzwanie polega na wyciąganiu z danych wartościowych wniosków, a to wymaga zmiany myślenia i utartych sposobów działania.

W efekcie uzyskuje się skok produktywności, wyższy poziom bezpieczeństwa, lepszą jakość i mniejsze marnotrawstwo.

Wymiana informacji pomiędzy ludźmi, maszynami i systemami komputerowymi stanowi siłę czwartej rewolucji przemysłowej.

Czwarta Rewolucja Przemysłowa oznacza integrację inteligentnych maszyn i systemów z Internetem i technologiami informacyjnymi. Przepływ informacji jest realizowany zarówno w pionie (pomiędzy urządzeniami i działem IT przedsiębiorstwa) oraz w poziomie: pomiędzy urządzeniami i maszynami w procesach produkcji.

Od urządzeń wymaga się elastycznej konfiguracji, możliwości szybkiej rekonfiguracji oraz otwartych i uniwersalnych standardów komunikacji. Podobne wymagania stawiane są całym liniom produkcyjnym. Elastyczność i możliwość dopasowania produkcji do zindywidualizowanych wyrobów i krótkich serii jest kluczem do stworzenia fabryk przyszłości.

Cechy Fabryki Przyszłości

- Cyfrowy strumień wartości – zaawansowane oprogramowanie, z wykorzystaniem otwartych standardów komunikacji (Multi-Ethernet, IO – Link, OPC UA), umożliwiające gromadzenie, przetwarzanie, analizę i przesyłanie danych logistycznych i produkcyjnych w celu zwiększenia przejrzystości, wydajności i efektywności.
- Widoczność informacji – zebrane dane powinny być w prosty sposób prezentowane pracownikom, aby możliwa była szybka reakcja na jakiegokolwiek odchylenia i rozpoczęcie działań optymalizacyjnych.

- Integracja wszystkich systemów – istniejące maszyny muszą być zintegrowane z nowymi systemami. Tylko wtedy możliwe będzie pełne wykorzystanie możliwości Fabryki Przyszłości.
- Cyfryzacja procesu projektowania – przyszłość to reprezentowanie każdego komponentu i funkcji przez model w świecie cyfrowym. Programy symulacyjne pozwolą na kompleksowe sprawdzenie poprawności projektu oraz wirtualne uruchomienie systemów sterujących.
- Maksymalna elastyczność – wyposażenie złożone z modułów produkcyjnych, które można łatwo konfigurować i dostosowywać do szybko zmieniających się wymagań pozwoli na zwiększenie wydajności produkcji seryjnej jak i wytwarzania nawet bardzo małych ilości produktów w sposób opłacalny.

Przemysł 4.0 – integracja systemów i tworzenie sieci. Przemysł 4.0 integruje ludzi oraz sterowane cyfrowo maszyny z Internetem i technologiami informacyjnymi. Materiały produkowane lub wykorzystywane do produkcji można zawsze zidentyfikować, mają one także możliwość niezależnego komunikowania się między sobą. Przepływ informacji jest realizowany w **pionie**: z poszczególnych komponentów do działu IT przedsiębiorstwa oraz z działu IT do komponentów. Drugi kierunek przepływu informacji jest realizowany w **poziomie**: pomiędzy maszynami zaangażowanymi w proces produkcji a systemem produkcyjnym przedsiębiorstwa.

5. Ogólna metodyka projektowania elastycznych systemów produkcyjnych (ESP)¹⁾

Projekt elastycznych gniazd i linii wytwórczych (z ang. FMS) powinien zawierać kolejno następujące elementy:

5.1. Wstęp

Ogólne omówienie przedmiotu i założeń.

5.2. Charakterystyka przedmiotów produkcji

Informacje zawarte w tej części stanowią podstawę opracowania projektu systemu. Powinny one obejmować: opis przedmiotu produkcji, konstrukcji i technologii, asortymentu produkcji, rozrzut wymiarów gabarytowych, ciężar, rysunki wykonawcze, złożeniowe itp. Informacje te należy zebrać w formę tabelaryczną.

ZESTAWIENIE WYROBÓW							tabela nr 1		
Lp	Nazwa wyrobu	typ	nr rysunku	wymiary			liczba części szt.	masa kg	wielkość produkcji szt./rok
				L	B	H			

¹⁾ Przykład zaczerpnięto z pozycji: Durlik I., Inżynieria zarządzania cz. II, Strategia i projektowanie systemów produkcyjnych, Wyd. Placet, Warszawa 2005

Każdemu wyrobowi wyspecyfikowanemu w tabeli nr 1 przyporządkowane jest zestawienie części tego wyrobu i założenia wielkości produkcji

ZESTAWIENIE CZĘŚCI WYROBU: liczba porządkowa w tabeli 1											tabela nr 2	
Lp.	Nazwa części	nr rys.	wymiary			masa	liczba części na wyrob	liczba części na serię	planowana liczba części			
									w wyr- o- bach	zapa- - sow- ych	wybra- ko- wany- ch	do pro- duk- cji

5.3. Opracowanie technologii grupowej

– klasyfikacja części

Elastyczne systemy wytwórcze zakładają wykorzystanie technologii obróbki grupowej. Wynika stąd konieczność podziału części na grupy zgodnie z przyjętymi zasadami klasyfikacji. Stanowi to podstawę do grupowania części w klasy i powinno zawierać szczegółowe omówienie przyjętego klasyfikatora.

– grupowanie części

Na podstawie przyjętego klasyfikatora należy zgrupować części w klasy a wyniki przedstawić w formie tabel.

ZESTAWIENIE CZĘŚCI KLASY:											tabela nr 3	
Lp.	Nazwa części	nr rys.	lp. z tab. nr2	wielkość produkcji	wymiary			masa kg	numer klasyfikacyjny	półwyrób		
					L	B	H			nazwa	materiał	

– opracowanie technologii grupowej

Opracowanie to wymaga wybrania lub zaprojektowania wyrobu zawierającego w sobie wszystkie operacje wykonywane na wszystkich częściach tej klasy. Taki wyrób nazywany jest wyrobem-reprezentantem. Dla tego wyrobu opracowuje się technologię wytwarzania. Wynikiem tego opracowania winien być opis i rysunek wyrobu reprezentanta oraz proces grupowej obróbki części danej klasy ujęty w formie tabeli.

PROCES GRUPOWEJ OBRÓBKI CZĘŚCI KLASY:					tabela nr 4
nr rysunku części					
materiał					
nazwa półwyrobu					
operacja					
Lp	nazwa operacji				

Występowanie poszczególnych operacji przy obróbce danej części oznacza się znakiem „X” – niewystępowanie „-”. Niezbędne jest również obok nazwy operacji określenie obrabianej powierzchni na przykład „wiercić otwór $\varnothing a$ ”, gdzie „a” jest wymiarem naniesionym na rysunku wyrobu-reprezentanta.

– *dobór wyposażenia podstawowego*

Każdej wykonanej operacji należy przyporządkować wyposażenie podstawowe (maszynę, urządzenie), za pomocą której będzie wykonana. Podstawą wyboru wyposażenia są dotychczas zgromadzone informacje. Informacje mające wpływ na wybór wyposażenia podstawowego oraz jego charakterystykę dla każdej klasy części należy zebrać w odpowiednią tabelę.

WYPOSAŻENIE PODSTAWOWE DLA CZĘŚCI KLASY:								tabela nr 5	
numer operacji	Charakterystyka części			Charakterystyka wyposażenia					
	geomet-ryczna	technolog-giczna	planowo-organizacyjna	geomet-ryczna	technolog-giczna	planowo-organizacyjna	nazwa	typ	symbol

Każdy wiersz tabeli 5 odnosi się do operacji opisanych w tabeli 4. Tabele te powiązane są kolumnami „numer operacji” i „lp”.

– *plan obciążenia wyposażenia podstawowego*

Przeprowadzamy tu podstawowe obliczenia liczby i pracochłonności wykonania części, a na tej podstawie liczby zmian pracy i liczby jednostek (maszyn, urządzeń) wyposażenia podstawowego.

PLAN OBCIĄŻENIA PODSTAWOWEGO DLA CZĘŚCI KLASY						tabela nr 6	
numer operacji	typ wyposażenia	obciążenie			liczba jednostek wyposażenia podstawowego	planowana liczba zmian roboczych	uwagi
		tj. [min/szt]	liczba części [szt./rok]	pracochłonność [godz./rok]			

5.4. Synteza struktury produkcyjnej

Synteza ma na celu zebranie i przeanalizowanie wszystkich dotychczasowych informacji dla wypracowania podstaw wykonania projektu struktury przestrzennej systemu.

- zestawienie marszrut technologicznych (tabele)

ZESTAWIENIE MARSZRUT TECHNOLOGICZNYCH						tabela nr 7	
numer klasy części	numery rysunków	wyposażenie podstawowe planowane do wykonania operacji numer:				numer marszruty	
		1	2	3	4		
(kolejne numery operacji zgodne z kolumną „lp” tabeli 4)							

- graf struktury produkcyjnej na bazie stanowisk

Punkty wierzchołkowe grafu odpowiadają jednostkom wyposażenia podstawowego, gałęzie – marszrutom, a zwroty gałęzi powinny być zgodne z kierunkiem przepływów obrabianych przedmiotów.

- graf struktury produkcyjnej na bazie modułów

Graf ten przedstawia grupy stanowisk w wierzchołkach, a grupy marszrut w formie gałęzi. Wyodrębnienie grupy jednostek wyposażenia podstawowego uzasadnione winno być względami technologiczno-organizacyjnymi (wielkością przepływów materiałowych, liczbą marszrut przechodzących przez poszczególne jednostki, podobieństwem wykonanych operacji itp.). Na jego podstawie można dokonać uproszczeń dróg transportowych oraz przygotować projekt struktury przestrzennej systemu.

- plan obciążenia systemu produkcyjnego

Zebrane w formę tabelaryczną informacje wynikające z grafu stanowią są podstawę do zaplanowania obciążenia poszczególnych modułów i całego systemu.

PLAN OBCIĄŻENIA SYSTEMU PRODUKCYJNEGO						tabela nr 8	
Moduł		Stanowisko:				Razem	Liczba zmian roboczych
Nazwa Modułu	1						
	2						

1 - pracochność(godz.)

2 - liczba stanowisk w module

razem-suma liczb w wierszu

5.5. Projekt struktury przestrzennej systemu

- identyfikacja wstępna systemu

Należy określić strukturę systemu na podstawie posiadanych informacji oraz przedstawić założenia dalszych prac projektowych.

- analiza przepływu materiałów

Określenie założeń dla systemu transportowo-magazynowego. Analizie należy poddać przepływ narzędzi obróbkowych, materiałów, półwyrobów, obrabianych przedmiotów, braków i odpadów. Wynikiem winna być tabela oraz graf obrazujący strukturę przepływów w systemie.

STRUKTURA PRZEPLÝWÓW MATERIAŁÓW W SYSTEMIE					tabela nr 9
moduł	magazyny systemowe	(M_j)			-----
mod _i			$(A_{k,w})$		

$(a_{k,w})$ - wierzchołek grafu przepływu gdzie:

k - numer porządkowy kolumny tabeli, w której znajduje się m_i

w-numer porządkowy wiersza tabeli, w której znajduje się mod_i

W przypadku kreślenia grafu wierzchołki należy połączyć różnokolorowymi strzałkami, których zwrot będzie zgodny z kierunkiem przyływu, a kolor określi rodzaj materiału (narzędzia, przedmioty obrabiane itp.)

- dobór wyposażenia pomocniczego (transportowo- magazynowego)

W tabelach pokazano przykładowe wypełnienie. Kolumna „przepływ” zawiera oznaczenie z grafu i tabeli 9 (wierzchołek wyjścia – wierzchołek wejścia)

ZESTAWIENIE PRZEPLÝWÓW MATERIAŁOWYCH W SYSTEMIE						tabela nr 10	
przepływ	Przedmiot Przemieszczalny	Rodzaj ładunku	Charakterystyka			prędkość [m/s]	uwagi
			masa Kg	wymiar mm	czas przemieszczenia		
a ₂₁ -a ₂₂	pojemnik	braki nienaprawialne	150	40x60x10	120s	0,5	

ZESTAWIENIE MAGAZYNÓW			tabela nr 11
rodzaj przepływu	funkcja magazynu	proponowany rodzaj magazynu	uwagi
przepływ narzędzi	składowanie materiałów do obróbki	regały, stacjonarny, z manipulatorem	składowanie wg. rodzajów i wymiarów

ZESTAWIENIE ŚRODKÓW TRANSPORTU			tabela nr 12
rodzaj przepływu	funkcja środka transportu	proponowany środek transportu	uwagi
przepływ odpadów	przemieszczanie	wózek indukcyjny	

	odpadów ze stanowisk do magazynu		
--	----------------------------------	--	--

- plan rozmieszczenia wyposażenia podstawowego i pomocniczego

5.6. Analiza techniczno ekonomiczna i ocena rozwiązania projektowego.

Każdy projekt powinien być zakończony analizą techniczno-ekonomiczną przyjętych rozwiązań. Analizy tej dokonuje się w skali mikro- i makroorganizacyjnej.

Analiza w skali mikro polega na ocenie parametrów technicznych i ekonomicznych konkretnego rozwiązania projektowego. Analiza ta zazwyczaj charakteryzuje skalę przedsięwzięcia i poziom techniczny rozwiązań oraz wielkość ponoszonych nakładów inwestycyjnych. Często można też określić koszt jednostkowy wytwarzanych wyrobów. Trudno jest natomiast określić w ten sposób planowane zyski, te bowiem określa się w skali całego procesu produkcyjnego (badania i rozwój, wytwarzanie, dystrybucja i obsługa serwisowa konsumenta). Zachodzi więc potrzeba dokonania szerszej analizy i oceny z punktu widzenia przychodów firmy, jej zysków i realizacji strategii. Tylko taka analiza może być miarodajna dla podejmowania decyzji.

5.7. Projekt decyzji

5.8. Bibliografia i wykorzystane materiały

6. Podsumowanie zajęć

Przedsiębiorstwo przemysłowe musi w sposób elastyczny reagować na szybko zmienną sytuację, w związku z tym musi stosować nowe elastyczne systemy wytwarzania oraz nowe systemy zarządzania. Do takich właśnie rozwiązań zalicza się elastyczne systemy produkcyjne.

Współczesne osiągnięcia w zakresie elektroniki, informatyki, systemów sterujących przebiegiem procesów, systemów baz danych umożliwiają budowę takich systemów oraz umożliwiają ich włączenie jako elementu zintegrowanych systemów produkcyjnych.

Uczestnictwo w zajęciach z przedmiotu „Elastyczne systemy produkcyjne” umożliwia osiągnięcie następujących efektów kształcenia:

1. w zakresie wiedzy:

- zdobycie podstawową wiedzę z zakresu metod szeregowania zadań,
- poznanie zastosowań, zasad użytkowania zrobotyzowanych gniazd przemysłowych w różnych gałęziach przemysłu oraz trendów rozwojowych w tej dziedzinie,

2. w zakresie umiejętności:

- nabycie umiejętności w zakresie dobru robota produkcyjnego lub grupy robotów wraz z ich oprzyrządowaniem i sterowaniem spełniających wymagania produkcyjne,

3. w zakresie kompetencji społecznych:

- nabycie lub pogłębienie umiejętności w zakresie przestrzegania zasad etyki zawodowej i odpowiedzialnego pełnienia ról zawodowych.