

# INSTEPRO: Zintegrowany System Sterowania Produkcją<sup>1</sup>, cz.1

---

Maciej Klemiato, Jacek Augustyn, Jan T. Duda

**Abstrakt.** Artykuł przedstawia koncepcję Zintegrowanego Systemu Sterowania Produkcją, będącego częścią informatycznej infrastruktury przedsiębiorstwa, przetwarzającego dane z produkcji i wspierającego zarządzanie zarówno na poziomie przedsiębiorstwa, jak i procesu produkcyjnego. System taki służyłby do monitorowania, kontroli, nadzoru i sterowania procesami wytwórczymi w środowiskach produkcyjnych przedsiębiorstw posiadających zarówno Systemy Planowania Zasobów (ERP) jak i Systemy Akwizycji Danych (SCADA). W artykule zaproponowana została architektura omawianego systemu z wykorzystaniem zaawansowanych narzędzi oferowanych obecnie przez teorię sterowania i informatykę.

## 1 Wstęp

Idea projektu „Zintegrowany System Sterowania Produkcją” (INSTEPRO) powstała w Katedrze Automatyki AGH w odpowiedzi na zapotrzebowanie sygnalizowane z gospodarki, wynikające z luki informatycznej pomiędzy systemami zarządzania firmą, a rzeczywistą sytuacją w środowisku produkcyjnym przedsiębiorstw. Celem tego projektu jest stworzenie narzędzia informatycznego do monitorowania, kontroli, nadzoru i sterowania procesami wytwórczymi w środowiskach produkcyjnych przedsiębiorstw wykorzystujących Systemy Planowania Zasobów ERP (ang. *Enterprise Resource Planning*) jak i Systemy Akwizycji Danych SCADA (ang. *Supervisory Control and Data Acquisition*) w procesie produkcyjnym.

W założeniu INSTEPRO ma stanowić warstwę pośredniczącą między systemem ERP a rzeczywistą sytuacją w hali produkcyjnej, zarówno ewidencjonując aktualne i dokładne dane o produkcji, jak i wspierając zarządzanie procesami wytwórczymi poprzez dostarczanie zaawansowanych algorytmów sterowania, optymalizacji i diagnostyki.

Niniejszy artykuł przedstawia koncepcję takiego systemu od strony formalnej, pomijając aspekty natury wdrożeniowej. Z powodu obszerności tematu, artykuł został podzielony na dwie części. W pierwszej części omówiona zostanie ogólnie wielopoziomowa struktura nowoczesnych systemów sterowania oraz zostaną krótko scharakteryzowane istniejące rozwiązania programowe do wspomagania zarządzania poszczególnymi poziomami. Ponadto, zostanie zaprezentowana koncepcja architektury systemu INSTEPRO. W drugiej części artykułu, została rozwinięta koncepcja modularności omawianego systemu. Zostały również opisane najważniejsze moduły, z których składa się system oraz zadania merytoryczne przez nie realizowane.

---

<sup>1</sup> Artykuł został napisany w ramach grantu finansowanego z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (w ramach Priorytetu 1, Działanie 1.3. PO IG, Poddziałanie 1.3.1). Nr grantu: UDA-POIG.01.03.01-12-171/08/00

## 2 Struktura zaawansowanych systemów sterowania

Nowoczesne, kompleksowe systemy sterowania i zarządzania przedsiębiorstwami produkcyjnymi posiadają strukturę wielopoziomową i wielowarstwową. Podejmowane decyzje zmieniają swój charakter w zależności od poziomu:

- na poziomie najwyższym mają one charakter globalnych decyzji ekonomicznych, strategicznych, inwestycyjnych i asortymentowych opartych o prognozy rynku, cen i surowców.
- na poziomie niższym decyzje dotyczą rzeczowego planowania, harmonogramowania i sterowania produkcją.
- na jeszcze niższym poziomie dochodzi się do sterowania procesami, urządzeniami i aparatami technicznymi.

Taka wielopoziomowość jest wprowadzana dla podniesienia sprawności zarządzania przedsiębiorstwem. Jej struktura może przyjmować różne postacie. Z reguły jest to struktura hierarchiczna z jedną jednostką na szczycie obejmującą swym zasięgiem cały system. Każdy element poziomu niższego otrzymuje decyzje od tylko jednego elementu usytuowanego na poziomie wyższym i za wykonanie zadania odpowiada bezpośrednio przed tym elementem (sprzężenie zwrotne jednopoziomowe). Hierarchiczna postać struktury zarządzania ma uzasadnienie w fizycznej strukturze przedsiębiorstwa, które składa się zazwyczaj z jednej centrali i z wielu fabryk. Każda fabryka składa się z wielu zakładów, każdy zakład składa się z wielu instalacji technologicznych, a każda instalacja składa się z wielu aparatów technicznych. Taka struktura fizyczna zbudowana z coraz mniejszych jednostek kolejno zagnieżdżających się w jednostkach wyższego poziomu, ma odbicie w hierarchicznej strukturze poziomów decyzyjnych. Każdy element decyzyjny danego poziomu dostrzega tylko wybrane elementy poziomu bezpośrednio niższego i do tych elementów kierowane są od niego decyzje sterujące. Na każdym poziomie pojawia się więc problem sprawnego zarządzania tylko przynależnymi elementami poziomu niższego, zgodnie z opracowaną wcześniej strategią. Decyzje sterujące idące do poziomu niższego będą zależą od założonego horyzontu planowania na poziomie decyzyjnym, zapotrzebowania na produkcję w tym horyzoncie, zdolności przerobowych elementów poziomu niższego, możliwości pozyskania energii użytkowej, surowców, wiedzy i obsady inżynierskiej. Dla wszystkich poziomów powinien obowiązywać podobny wskaźnik oceny jakości funkcjonowania danego poziomu. Powinna nim być maksymalizacja zysku z produkcji uzyskiwana na danym poziomie i na rozważanym horyzoncie czasowym, z uwzględnieniem określonych dla danego poziomu odniesień (np. zasoby, normy, technologie). Kolejne niższe poziomy charakteryzują się coraz bardziej skracającym się horyzontem planowania (sterowania), dokładniejszymi modelami na których opiera się wybór strategii, zwiększoną częstotliwością zakłóceń, a stąd zwiększoną częstotliwością interwencji (sterowania).

Im niższy poziom, tym łatwiej poddaje się automatyzacji, a więc procesowi eliminowania człowieka (operatora) na rzecz inteligentnych urządzeń komputerowych i sterowników logicznych. Na poziomach wyższych narzędzia komputerowe są zaangażowane głównie dla wspomagania podejmowanych decyzji.

W powyższym schemacie utrzymany jest ograniczony do jednego poziomu przepływ decyzji w kierunku „góra-dół” i jednopoziomowy kierunek przekazywania informacji zwrotnej o realizacji zadań „z dołu do góry”. Ta zwrotna informacja będzie miała więc postać najpierw sygnałów pomiarowych, na wyższym poziomie raportów okresowych, a potem sprawozdań podsumowujących.

Na poziomach inwestycji, planowania i harmonogramowania produkcji decydującą rolę odgrywa ciągle czynnik ludzki, a komputery spełniają rolę doradczą i wspomagającą dla eksper-

tów podejmujących ostateczną decyzję. Ale już na poziomie niższym, bezpośredniego sterowania cyklami produkcyjnymi, sterowania instalacjami i urządzeniami produkcyjnymi podstawową rolę odgrywają komputerowe systemy sterowania i automatyki. Dla najlepszego wywiązania się z zadań narzuconych dla tego najniższego poziomu powstała koncepcja jego dodatkowego podziału na warstwy sterowania. Charakterystyczną cechą tego podziału jest możliwość przypisania dla każdej warstwy innego wskaźnika oceniającego jakość jej pracy. Automatycy wprowadzają więc w tym poziomie lokalne warstwowe wskaźniki, z których niektóre trudno byłoby przeliczyć bezpośrednio na uzyskany globalnie dla tego poziomu zysk produkcyjny. Do tych wskaźników jakości oceniających pracę poszczególnych warstw czy poszczególnych pętli regulacji może należeć całka z kwadratu błędu sterowania, całka z modułu błędu regulacji, całka z modułu sterowania (wydatek), całka z kwadratu sterowania (zużyta energia), czas regulacji  $T_{95}$ , minimalny czas regulacji, mieszany wskaźnik kwadratowy uwzględniający normę błędu regulacji i normę odchyłki sterowania, zapas stabilności, stopień odporności na zakłócenia najbardziej niebezpieczne, wskaźniki minimalnowariancyjne, czy też połączenia wymienionych wskaźników w postaci wielokryterialnej. Wszystkie te lokalne wskaźniki mogą koegzystować w układzie sterowania pracującej instalacji, przyczyniając się do jej najbardziej wydajnej i bezpiecznej pracy (niektóre z nich przekładają się bezpośrednio na wskaźniki ekonomiczne), co w efekcie powinno zagwarantować najwyższy zysk poziomu.

Do najpowszechniej przyjmowanych czterech warstw sterowania na najniższym poziomie systemu sterowania instalacją należą:

- **Warstwa cyfrowego lub analogowego sterowania bezpośredniego** zawierająca lokalne, izolowane pętle regulacji PID i proste układy typu SISO, jak również logiczne regulatory „włącz-wyłącz” dla obsługi zdarzeń. Do warstwy tej zalicza się również podstawowe elementy rozproszonego systemu zbierania danych (czujniki i przetworniki).
- **Warstwa monitorowania i realizacji zaawansowanych algorytmów** zawierająca:
  - procedury zbierania, magazynowania i przetwarzania danych pomiarowych sygnałów dynamicznych (w bazie danych pomiarowych),
  - procedury wizualizacji, monitoringu i udostępniania danych o procesie,
  - regulatory główne PID sterujące w kaskadzie pracą regulatorów warstwy pierwszej i wyznaczające dla nich punkt pracy,
  - zaawansowane cyfrowe algorytmy **sterowania**, do których należą:
    - regulatory LQR stabilizujące obiekty MIMO, obejmujące wielowymiarowe procesy,
    - predykcyjne regulatory sterowania nadeżnego,
    - regulatory tranzycji, przeprowadzające w zaplanowany sposób proces do nowego punktu pracy,
  - cyfrowe algorytmy identyfikacji parametrycznej on-line dla modeli dynamicznych podprocesów o zmiennych parametrach, objętych sterowaniem, dla których zachodzi konieczność okresowego przestrajania regulatorów,
  - zaawansowane cyfrowe algorytmy obserwacji stanu tych procesów, dla sterowania których używane są wielowymiarowe regulatory od stanu np. LQR,
  - procedury sterowań inteligentnych, adaptacyjnych, regułowych i eksperckich,
  - podsystem diagnostyki sprawności systemu sterowania i jego poszczególnych elementów takich jak czujniki, człony wykonawcze czy magistrale komunikacyjne (ang. *Fault Detection Systems*)
- **Warstwa sterowania nadrzędnego** zawierająca:
  - procedury zbierania, magazynowania i przetwarzania danych pomiarowych sygnałów statycznych reprezentujących stany ustalone podprocesów dla których będą budowane modele statyczne (baza stanów ustalonych),

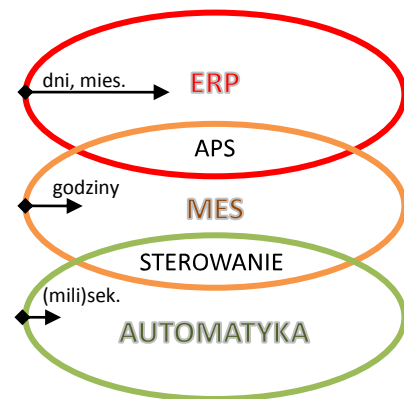
- procedury modelowania charakterystyk statycznych podsystemów z których składa się cały proces lub instalacja,
  - procedury automatycznej konfiguracji i modelowania pracy instalacji w wybranym i dopuszczalnym punkcie pracy wraz z wyliczeniem wskaźników produkcji takich jak zużycie materiałów, wielkość produkcji, uzyskany zysk dla całego poziomu w wybranym horyzoncie sterowania,
  - procedurę optymalizacji poszukującą w zbiorze dopuszczalnym najlepszego wektora zmiennych decyzyjnych, który zastosowany do globalnego modelu statycznego instalacji pozwoli określić najlepszy punkt pracy ustalonej dla całej instalacji. W tym punkcie przy spełnieniu wszystkich ograniczeń instalacja osiągnie największy zysk.
  - procedurę przesyłu najlepszych wartości zmiennych decyzyjnych jako wartości zadanych do regulatorów warstwy niższej. Ta procedura przestrajania punktów pracy musi być rozciągnięta w czasie i dostosowana do dynamiki całego procesu.
- **Warstwa koordynacji i nadzoru**, która pełni funkcję serwera dla wszystkich powyżej wymienionych zadań systemu kompleksowego sterowania i obsługuje te zadania według zasady klient–serwer, dostarczając do zadań żądane dane pomiarowe i wyliczone parametry oraz rejestrując przesłane wyniki z poszczególnych zadań. Cała komunikacja międzyzadaniowa odbywa się poprzez tę warstwę i żadne zadania z innych warstw (algorytmy) nie komunikują się bezpośrednio między sobą.

### 3 Istniejące rozwiązania

Dla komputerowej obsługi, przedstawionej w Roz. 2, koncepcji wielopoziomowego systemu sterowania na poszczególnych poziomach powstały standardy oprogramowania i rozwiązania programowe je wspierające.

Specyfikacja ISA SP–95<sup>2</sup> wyróżnia cztery poziomy przetwarzania danych o stanie produkcji i określa przyporządkowanie działań do poszczególnych poziomów. Najwyższy poziom jest obsługiwany przez duże systemy wspomaganie zarządzania w najwyższym poziomie decyzyjnym. Systemy te zwane najpierw MRP (ang. *Manufacturing Resource Planning*), obecnie występują jako ERP (ang. *Enterprise Resource Planning*) i zawierają procedury zarządzania całą firmą w działach inwestycji, kadr, finansów, marketingu, zbierania zamówień na produkcję, wystawiania zamówień na surowce, monitorowania stanów magazynowych, sprzedaży, transportu i innych.

Na poziomie niższym zarządzania wykorzystywane są systemy komputerowe zwane MES (ang. *Manufacturing Execution Systems*). MES pełnią rolę pośredniczącą między systemami biznesowymi (takimi jak ERP) a warstwą sterowania bezpośredniego, urządzeniami i aparatami technicznymi



Rys. 1. Struktura wielopoziomowego systemu sterowania. Strzałki reprezentują horyzont czasowy, na którym działają poszczególne poziomy (od czasu rzeczywistego na poziomie automatyki do procesów długoterminowych na poziomie zarządzania).

<sup>2</sup> ISA (ang. *International Society of Automation*, [www.isa.org](http://www.isa.org)) jest organizacją typu non–profit założoną w roku 1945 w celu opracowania standardów dla systemów automatyki. Komitet ISA–SP95 określa standardy interfejsów pomiędzy działaniami przedsiębiorstwa a zadaniami sterowania.

(patrz Rys. 1). Oprócz planowania i harmonogramowania produkcji (ang. *Advanced Planning and Scheduling*, APS) zadaniem MES jest także, m.in.: zarządzanie recepturami, raportowanie z produkcji, dostarczanie wskaźników wydajności KPI (ang. *Key Performance Indicators*), zarządzanie sytuacjami wyjątkowymi, śledzenie stanów magazynowych materiałów i produktów, zarządzanie zasobami (zarówno materiałowymi jak i ludzkimi). O ile ERP ma raczej zastosowanie w biurze (kadra zarządzająca), to odbiorcą usług MES jest głównie hala produkcyjna (kadra wykonawcza) (1), (2).

Dwa najniższe poziomy są zdefiniowane jako poziomy sterowania cyfrowego i monitorowania instalacji przemysłowych. Powszechnym oprogramowaniem wspierającym obsługę tych poziomów są systemy SCADA (3), (4). Jednakże, systemy SCADA zawierają przede wszystkim procedury obsługi pierwszej, najniższej warstwy zbierania danych pomiarowych i sterowania bezpośredniego PID oraz bazę danych pomiarowych. Z warstwy zaawansowanych algorytmów sterowania, z reguły zawierają tylko trzy pierwsze punkty opisane w Roz. 2, akcentując wizualizację procesu technologicznego (ang. *Graphic User Interface*, GUI) i komunikację operator–proces (ang. *Human-Machine Interface*, HMI).

Systemy typu MES i SCADA nie zawierają pozostałych pięciu zadań warstwy zaawansowanego sterowania. Nie zawierają również zasadniczych elementów warstwy sterowania nadrzędnego, w której optymalny punkt pracy instalacji wyliczany byłby samodzielnie w oparciu o zidentyfikowane modele stanów ustalonych.

Istotną sprawą jest zawsze integracja poszczególnych warstw i sposobu wymiany danych pomiędzy warstwami. Pod koniec lat 90 proponowano różne rozwiązania tego problemu (DCOM, CORBA, etc.), ostatecznie, najpowszechniejsze stało się rozwiązanie wykorzystujące komunikację według standardu OPC (5) na poziomach niższych i XML (6) na poziomach wyższych.

Model ISA–95 specyfikuje także warstwę połączeń pomiędzy systemami MES i ERP (DIS – *Data Integration Service*, wykorzystujący standard XML w formie standardu B2MML – *Business to Manufacturing Markup Language*) oraz wskazuje standard interfejsu OPC, jako zalecaną metodę połączenia pomiędzy warstwą ISA–95 MES i SCADA.

## 4 Architektura systemu

Architekturę systemu przyjętą do realizacji projektu przedstawiono na Rys. 2. Koncepcja ta zakłada, że system INSTEPRO będzie składał się z wielu niezależnych, ale współpracujących ze sobą modułów, zgrupowanych logicznie w trzy obszary funkcjonalne:

- I. modułu zarządzająco-koordynującego (MZK),
- II. grupy modułów realizujących zadania merytoryczne (modelowanie, optymalizacja, sterowanie),
- III. grupy modułów przeznaczonych do integracji działania z systemami ERP/SCADA.

Na Rys. 2, zaznaczono jedynie wybrane moduły, które będą szerzej omówione w drugiej części artykułu.

Każdy z modułów jest niezależnym procesem, wykonującym się pod kontrolą systemu operacyjnego, we własnym, chronionym obszarze pamięci. Podnosi to niezawodność działania systemu, gdyż awaria jednego z procesów nie powoduje destabilizacji pracy całości. Zapewnia także łatwą skalowalność systemu oraz ułatwia i przyspiesza prace projektowo-wdrożeniowe, gdyż moduły mogą być projektowane i implementowane niezależnie.

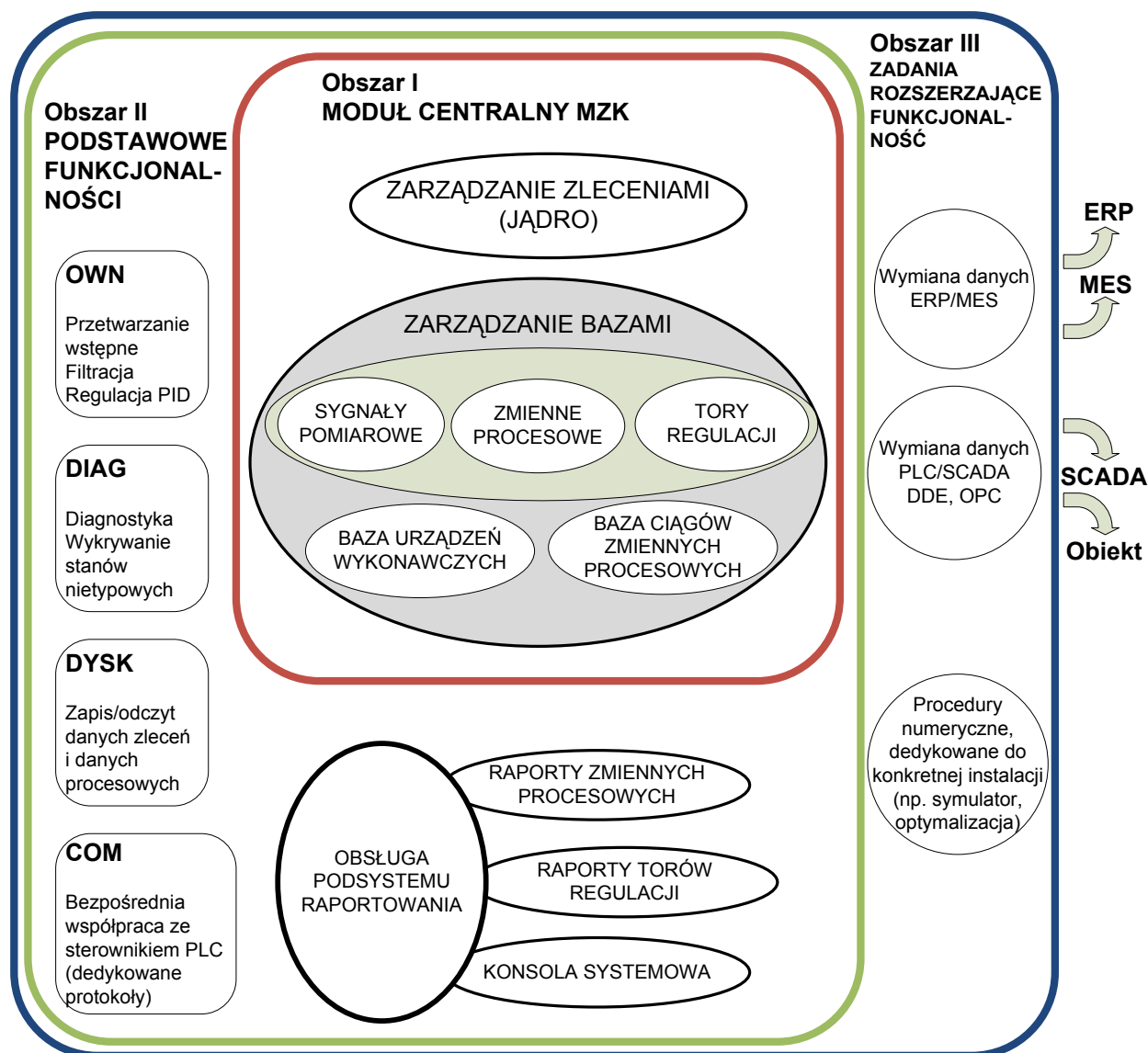
Działanie modułów jest koordynowane i nadzorowane przez moduł centralny (MZK) pełniący

funkcję analogiczne do funkcji jądra systemu operacyjnego. Zawiera on trzy główne bloki funkcjonalne: blok zarządzający wszystkimi pozostałymi modułami, administrację bazami zmiennych procesowych, administrację wartościami zmiennych historycznych.

Blok zarządzający jest odpowiedzialny za uruchamianie zleceń i koordynację ich pracy. Z logicznego punktu widzenia, na podstawie danych konfiguracyjnych takich jak np. typ akcji, czas wykonania, wariant itp. zleca wykonanie merytorycznych zadań dedykowanym modułom. W razie potrzeby łąduje je z dysku do pamięci operacyjnej, a także okresowo kontroluje czy nie uległy zawieszaniu. W przypadku awarii wykonuje jego restart.

W części zarządzającej danymi wyróżnione zostały bazy sygnałów pomiarowych, zmiennych procesowych, baza torów regulacji i baza urządzeń wykonawczych.

Moduł centralny jest najbardziej krytycznym elementem systemu. Nie wykonuje on żadnych operacji wejścia-wyjścia, co zwiększa jego odporność. Operacje te są realizowane poprzez inne moduły, aby w razie ich nieprawidłowej pracy moduł MZK mógł je ponownie uruchomić. Moduły zawierające operacje wejścia-wyjścia mogą być interpretowane jako serwery usług interfejsowych, zarówno w sensie interfejsów operatorskich, jak również interfejsów komunikacyjnych.



Rys. 2. Ogólna architektura systemu INSTEPRO (przedstawione zostały wybrane moduły).

Moduły wykonujące obliczenia merytoryczne (np. optymalizacji, regulacji predykcijnej) mogą być interpretowane jako serwery usług numerycznych. Mogą pracować na różnych węzłach sieci, co pozwala to na rozpraszanie obliczeń, jak np. przenoszenie czasochłonnych iteracyjnych procedur optymalizacji na inny komputer. Wewnętrznie, moduły podzielone są na logiczne zlecenia, a dalej na warianty zlecenia posiadające specyfikujące je parametry.

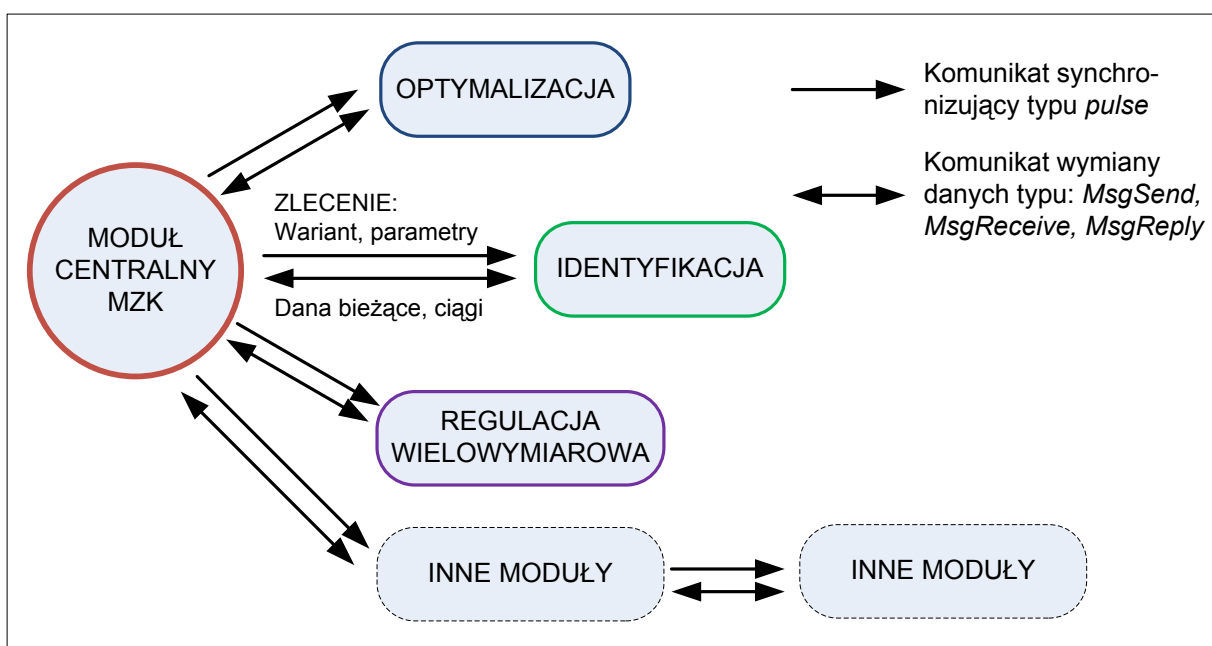
W drugim obszarze funkcjonalnym kluczową rolę odgrywają moduły OWN i DIAG realizujące obliczenia obejmujące przetwarzanie wstępne sygnałów pomiarowych, filtrację, obliczanie średnich a także realizujące diagnostykę zmiennych procesowych m.in. przy użyciu transformaty falkowej. Moduł OWN wyposażono dodatkowo w regulatory PID mogące pełnić nadrzędną rolę w kaskadowych strukturach sterowania, realizowanych łącznie z regulatorami bezpośrednimi w sterowniku PLC.

Trzeci obszar funkcjonalny obejmuje grupę modułów dedykowanych i specyficznych dla danej instalacji przemysłowej oraz do wymiany danych i integracji z innymi systemami, w tym systemem sterowania bezpośredniego oraz systemami klasy ERP.

Moduł centralny gromadzi dane pobrane z innych systemów. Wszystkie moduły mogą korzystać z danych przechowywanych w jego bazach oraz odsyłać do nich wyniki obliczeń.

W projekcie przyjęto, że system INSTEPRO będzie realizowany z użyciem nowoczesnego wielozadaniowego systemu czasu rzeczywistego QNX. Do jego zalet można zaliczyć bezwarunkowe wyłaszczanie zadań, zachowywanie reżimów czasowych, skalowalność i możliwość implementacji na różnych platformach sprzętowych, np. x86, ARM (6). System zawiera także bibliotekę okien graficznych zoptymalizowaną do pracy w systemach czasu rzeczywistego. Moduły użytkowe mogą być implementowane we własnych przestrzeniach adresowych z własnym obszarem ochrony pamięci. Modułowa budowa pozwala na konstrukcję własnego, dedykowanego jądra i implementację wbudowanych systemów sterowania, przykładowo wielowymiarowego regulatora predykcijnego do zastosowań w specjalizowanych rozwiązaniach sprzętowych (7) (8).

Wewnętrzna organizacja systemu QNX oraz przyjęty w nim model rozwojowy procesów pozwala na stosowanie wielu technik optymalizacji aplikacji przeznaczonych dla systemów wbudowanych (9). Możliwa jest także relatywnie łatwa implementacja niskopoziomowych



Rys. 3. Logiczny model współpracy pomiędzy modulem centralnym a pozostałymi modułami w systemie INSTEPRO.

technik organizacji danych, przyspieszających czasochłonne obliczenia iteracyjne, np. związane z filtracją (stosowane typowo dla procesorów DSP) (10).

Opracowanie jednolitych reguł wymiany komunikatów jest kluczowe do zapewnienia łatwego rozwoju i skalowalności systemu INSTEPRO. Przykładowy schemat projektu wymiany komunikatów między modułami pokazano na Rys. 3. Do przenoszenia sygnałów synchronizujących zostały wykorzystane mechanizmy komunikatów nieblokujących typu *pulse* (11). Wymiana danych procesowych oraz dodatkowych komunikatów specyfikujących rodzaj zlecenia, jego dane, a także informujących o stanie systemu jest zorganizowana z użyciem mechanizmu komunikatów blokujących: *MsgSend*, *MsgReceive*, *MsgReply* (11). W celu zapewnienia wysokiej niezawodności modułu centralnego MZK i zmniejszenia ryzyka powstania zakleszczeń, jako jedyny nie będzie wykorzystywał blokującej funkcji *MsgSend*. Projekt zakłada, że większość komunikatów będzie przesyłana bezpośrednio między MZK a modułami obliczeniowymi. W specyficznych sytuacjach wykorzystywana będzie także organizacja klient-serwer przeznaczona do wymiany dużej ilości danych bezpośrednio między modułami. Pozwoli to częściowo odciążyć moduł MZK.

Podsumowując, omawiany system zapewnia:

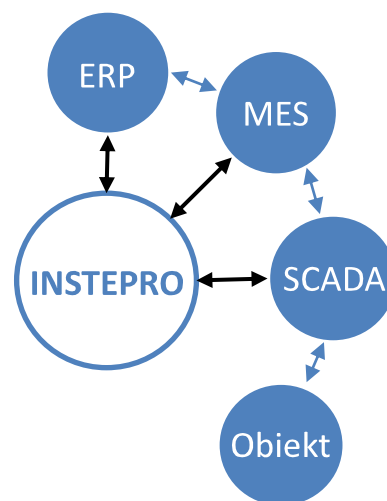
- Koordynację przepływu i transformacji komunikatów pomiędzy wieloma aplikacjami (ERP, MES, SCADA, itp.)
- Wspólną przestrzeń nazw dla wszystkich systemów produkcyjnych i systemów sterowania
- Skalowalność, począwszy od małej startowej aplikacji, skończywszy na zaawansowanych aplikacjach rozproszonych.
- Możliwość budowania standardów i powtarzalnych reguł, które mogą zostać wykorzystane w innych aplikacjach.
- Możliwość integracji z aplikacjami komercyjnymi (stosowanymi w przemyśle), pochodzącymi od różnych producentów.

## 5 Podsumowanie

W artykule przedstawiono koncepcję Zintegrowanego Systemu Sterowania Produkcją wykorzystującego zaawansowane osiągnięcia teorii sterowania. Opisano architekturę takiego systemu, bazującą na niezależnych, komunikujących się ze sobą modułach, realizujących określone zadania.

Omawiany system miałby z jednej strony wypełnić lukę informatyczną pomiędzy systemami zarządzania firmą, a rzeczywistą sytuacją w środowisku produkcyjnym przedsiębiorstw. Z drugiej strony, miałby przekonać inwestorów do opłacalności stosowania zaawansowanych narzędzi oferowanych obecnie przez teorię sterowania i informatykę, ponieważ w przemyśle wciąż pokutuje przekonanie o braku potrzeby wyjścia ponad standardowe regulatory typu PID.

INSTEPRO nie tylko ma stanowić warstwę pośredniczącą między systemem ERP, a istniejącymi systemami automatyki w hali produkcyjnej, ale także pełnić rolę integratora wszystkich warstw w strukturze systemów sterowania (Rys. 4). Ma być również dostawcą informacji z poszczególnych warstw oraz usług, takich jak np. zaawansowane algorytmy sterowania, identyfikacja i optymalizacja.



Rys. 4. Umiejscowienie INSTEPRO w strukturze systemów sterowania.



Obecnie, INSTEPRO jest na etapie zaawansowanych testów na stanowiskach laboratoryjnych w Katedrze Automatyki AGH. Po pozytywnym przejściu testów planowane jest pierwsze wdrożenie systemu w przemyśle szklarskim.

## 6 Bibliografia

1. **Meyer, Heiko, Fuchs, Franz and Thiel, Klaus.** *Manufacturing execution systems: optimal design, planning, and deployment.* s.l. : McGraw Hill Professional, 2009.
2. **Kletti Jurgen.** *Manufacturing Execution Systems - MES.* Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2007.
3. **Bailey David i Wright Edwin.** *Practical SCADA for industry.* Burlington : Newnes, 2003.
4. **Boyer Stuart A.** *SCADA: supervisory control and data acquisition.* Wirginia : ISA-The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2004.
5. OPC Foundation. [Online] <http://www.opcfoundation.org/>.
6. Extensible Markup Language. [Online] <http://www.w3.org/XML/>.
7. *QNX Neutrino RTOS. System Architectures.* Ontario : QNX Software Systems GmbH & Co, 2009.
8. *MS-9643 Mainboard. User Manual, rev. 1.3.* brak miejsca : Micro-Star International, 2007.
9. *PCM-3362 User Manual. PC104-plus SBC with Intel Atom N450, VGA, LCD, LAN, USB2.0, SATA and on-board flash.* brak miejsca : Advantech Co, Ltd, 2009.
10. **Augustyn Jacek.** *Asembly uC51, ADSP-21065L SHARC.* Kraków : Wydawnictwo IGSMiE PAN, 2006.
11. —. *Projektowanie systemów wbudowanych na przykładzie rodziny SAM7S z rdzeniem ARM7TDMI.* Kraków : Wydawnictwo IGSMiE PAN, 2007.
12. *QNX Neutrino Realtime Operating System. Programmer's Guide.* Ontario : QNX Software Systems GmbH & Co, 2009.