

Automatyka przemysłowa

Wykład 1

2023-03-03

Piotr Felisiak



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wroclawska

- E-mail: piotr.felisiak@pwr.edu.pl
- Pokój służbowy: **113a**, budynek **D-1**

Materiały

- Slajdy z wykładu
- Jerzy Kostro, Elementy, urządzenia i układy automatyki, WSiP, 1999
- C. Dey, S. K. Sen, *Industrial Automation Technologies*, Taylor & Francis Group, 2020
- B. R. Mehta, Y. J. Reddy, *Industrial Process Automation Systems*, Elsevier, 2015
- S. Manesis, G. Nikolakopoulos, *Introduction to Industrial Automation*, Taylor & Francis Group, 2018



HR EXCELLENCE IN RESEARCH



Politechnika Wroclawska

Program wykładu

- 1) Wprowadzenie do zasadniczych zagadnień automatyki przemysłowej. Podstawowe architektury i paradygmaty.
- 2) Sterowniki i komputery przemysłowe.
- 3) Przemysłowe standardy i protokoły transmisji danych. Przemysłowe sieci teleinformatyczne.
- 4) Czujniki i przetworniki.
- 5) Elementy wykonawcze.
- 6) Sztuczna inteligencja w automatyce przemysłowej.
- 7) Robotyka przemysłowa.
- 8) Egzamin pisemny.

Zasady zaliczenia

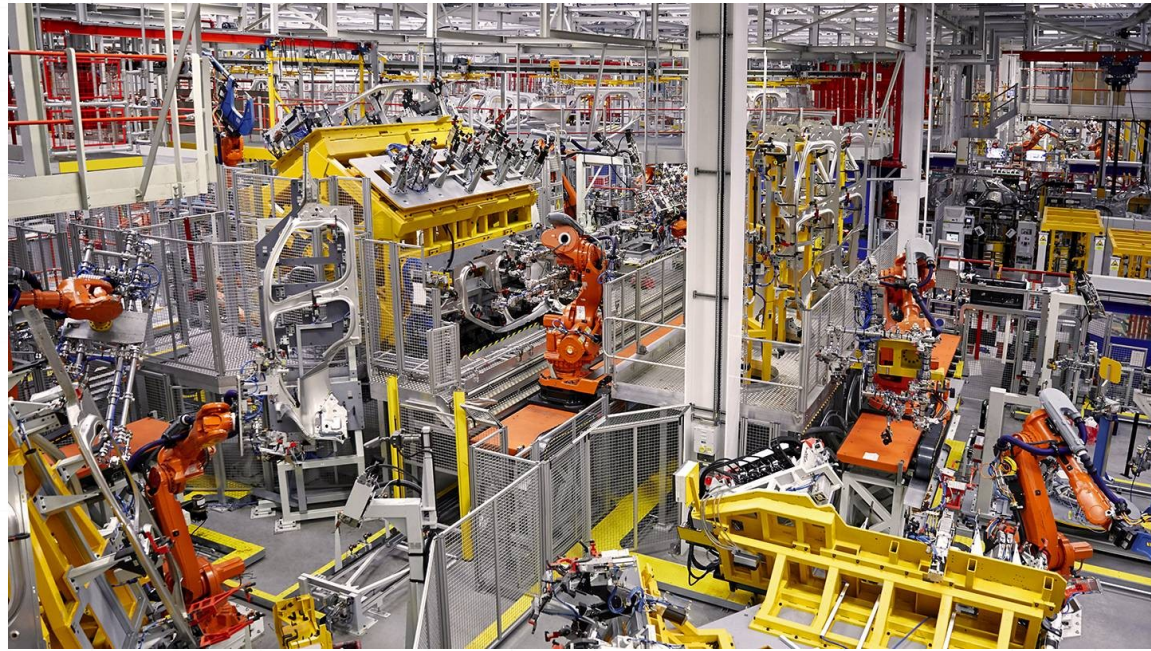
- Egzamin pisemny: 5 pytań otwartych, możliwość zadań obliczeniowych
- +0,5 oceny za losowo, jednorazowo lub dwukrotnie sprawdzoną obecność



Definicja

Automatyka – szeroki zakres technologii opracowanych w celu ograniczenia ludzkiego wkładu w procesy i pozwalających na osiągnięcie rezultatów przekraczających ludzkie możliwości.

Automatyka przemysłowa – zbiór technologii automatyzujących procesy wytwarzania, montażu, kontroli jakości i transportu.

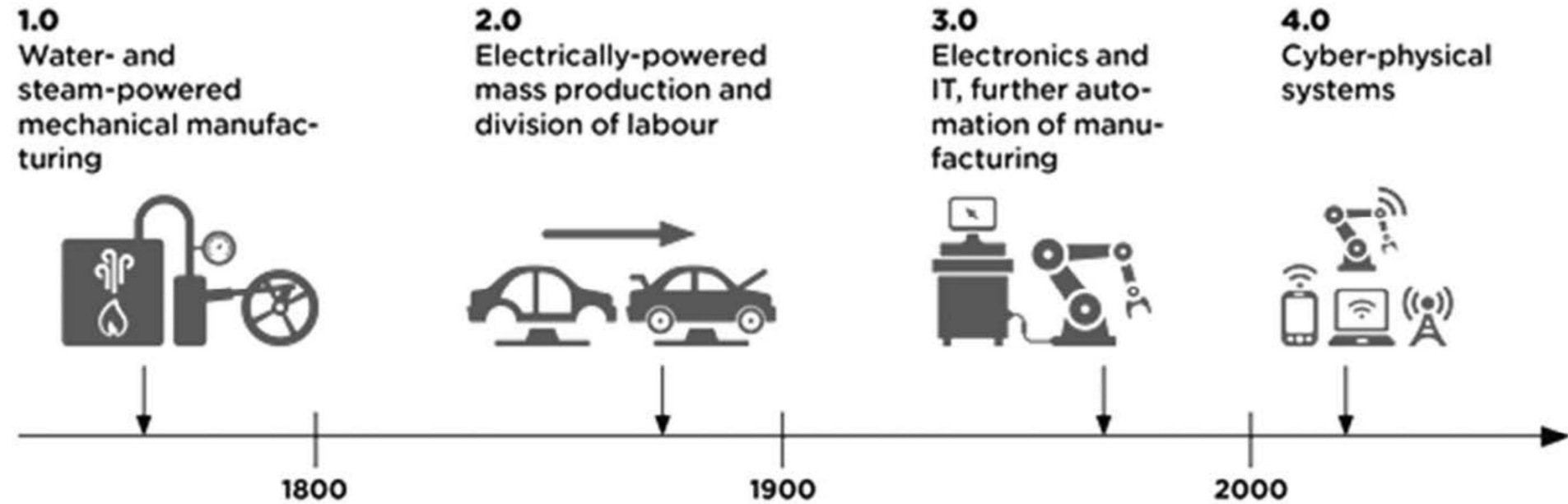


Rys. Zautomatyzowany zakład produkcyjny [1]

Od przemysłu 1.0 do 4.0

- 1) Przemysł 1.0:** 18-ty wiek, silnik parowy, mechanizacja produkcji – ośmiokrotne zwielokrotnienie produkcji
- 2) Przemysł 2.0:** 19-ty wiek, elektryfikacja i linia produkcyjna
- 3) Przemysł 3.0:** 20-ty wiek, elektronika, IT, dyspersja geograficzna
- 4) Przemysł 4.0:** 21-wszy wiek, rozmycie granicy świata fizycznego i wirtualnego, komunikacja pomiędzy maszynami, intensywne zbieranie i wykorzystywanie danych, sztuczna inteligencja, inteligentne urządzenia polowe, utrzymanie predykcyjne (*predictive maintenance*)

Od przemysłu 1.0 do 4.0



Rys. Rozwój przemysłu od 1.0 do 4.0 [4]

Obecne wyzwania przemysłu

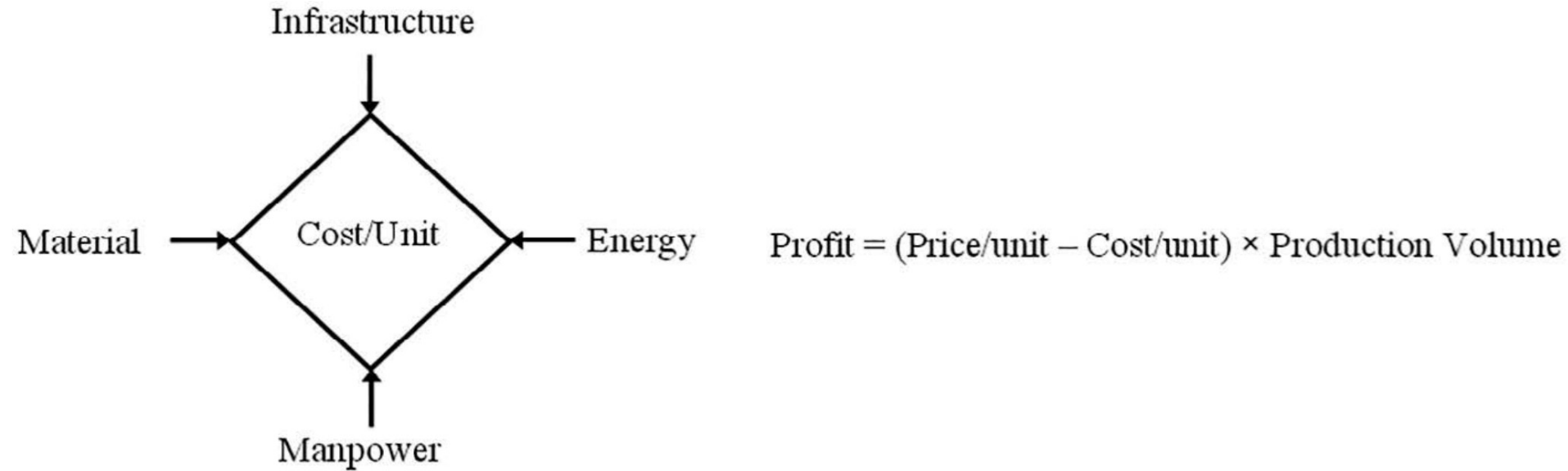
- Potrzeba redukcji wpływu na klimat i ekosystemy
- Minimalizacja zużycia energii
- Mniejsza liczebność kadrowa
- Zwiększone zapotrzebowanie na produkcję
- Potrzeba minimalizacji zanieczyszczeń i strat produkcyjnych
- Zapotrzebowanie na wyższą jakość
- Potrzeba sprostania narastającym regulacjom i aspektom zgodności
- Elastyczność, kontrola jakości, kontrola zapasów (ograniczanie powierzchni magazynowych), szybkość dostaw

- Obniżenie kosztów produkcji
- Dłuższa i szybsza praca
- Poprawiona jakość i niezawodność
- Zmniejszenie zajmowanej powierzchni hali produkcyjnej
- Zmniejszenie ilości odpadów

Obecne wyzwania automatyki przemysłowej

- Redukcja kosztów rozwoju, inżynierii i uruchomienia instalacji – na wielomilionowe inwestycje mogą sobie pozwolić tylko wielkie zakłady
- Zależność od wysoko wykwalifikowanej kadry
- Problem pozbawiania pracy nisko wykwalifikowanej kadry
- Redukcja zwiększonych zanieczyszczeń
- Redukcja czasu przestoju
- Przemysł 4.0
- Komunikacja pomiędzy halą produkcyjną a organami zarządzającymi
- Zdalny monitoring, diagnostyka i dostęp poprzez sieć internetową; zapewnienie prywatności

Wpływ automatyzacji przemysłowej na zysk



Rys. Koszt jednostkowy i zysk [4]

Obecne trendy technologiczne

- Transformacja ze systemów własnościowych (prawnie zastrzeżonych) i okablowanych na stałe do systemów opartych o sieci cyfrowe i otwarte standardy
- Komunikacja przekształca się z własnościowej na otwartą
- Ogólna architektura przekształca się z monolitycznej na modułarną, skalowalną i rozproszoną
- Znaczące zwiększenie zakresu i ilości gromadzonych i analizowanych danych
- Zwiększający się udział komunikacji bezprzewodowej

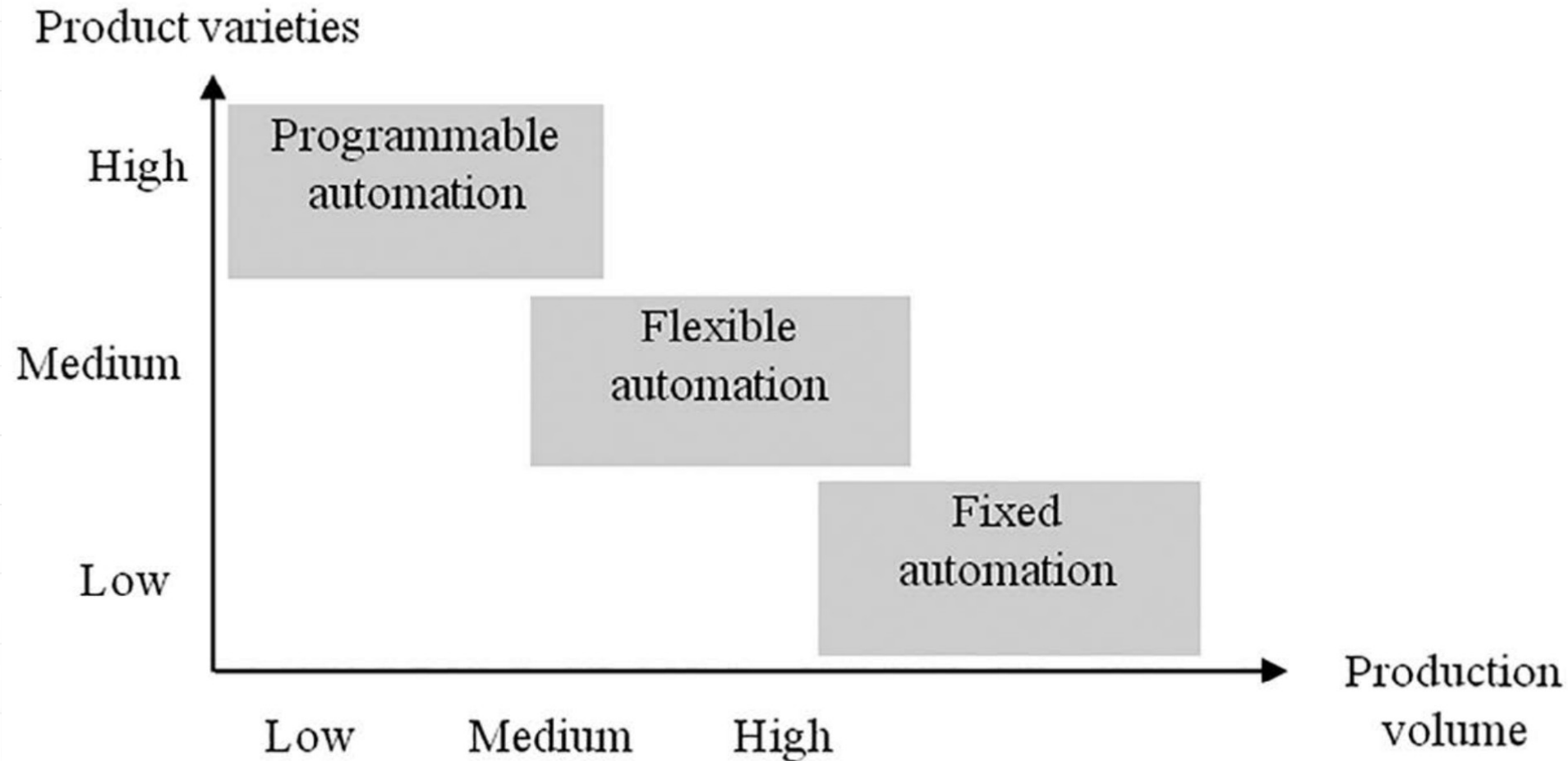


Rys. Stoisko z robotami przemysłowymi [2]

Typy systemów automatyki

- **System sztywny:** sekwencja operacji jest wymuszona konfiguracją urządzeń sprzętowych, co powoduje brak elastyczności. Systemy takie używa się, kiedy jest stosunkowo duże zapotrzebowanie na produkty przez dłuższy czas
- **System programowalny:** sekwencja operacji może być zmieniona na drodze przeprogramowania systemu, aby umożliwić produkcję innego rodzaju. Przeprogramowanie zajmuje pewien czas. System dostosowany do produkcji seryjnej, mała- i średnio-skalowej. Przykładem są obrabiarki sterowane numerycznie i roboty przemysłowe
- **Systemy elastyczne:** Rozszerzenie systemów programowalnych. Pozwala na produkowanie różnorodności produktów praktycznie bez straty czasu na przeprogramowanie urządzeń czy zmiany sprzętowe.

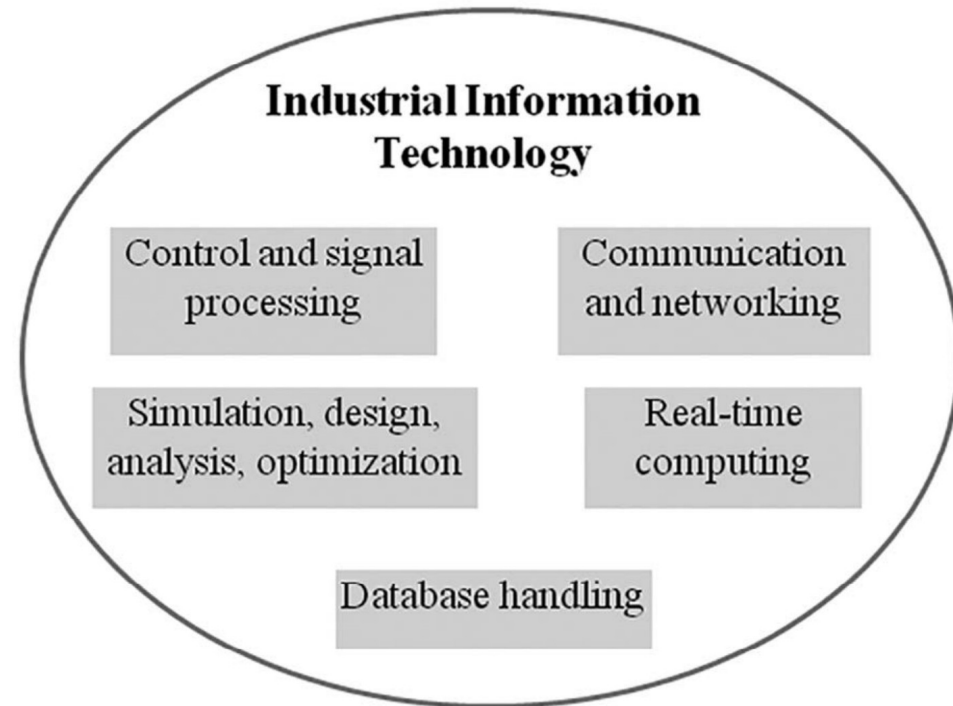
Typy systemów automatyki



Rys. Wzajemne położenie trzech typów automatyki dla różnych skal produkcji i różnorodności produktów [4]

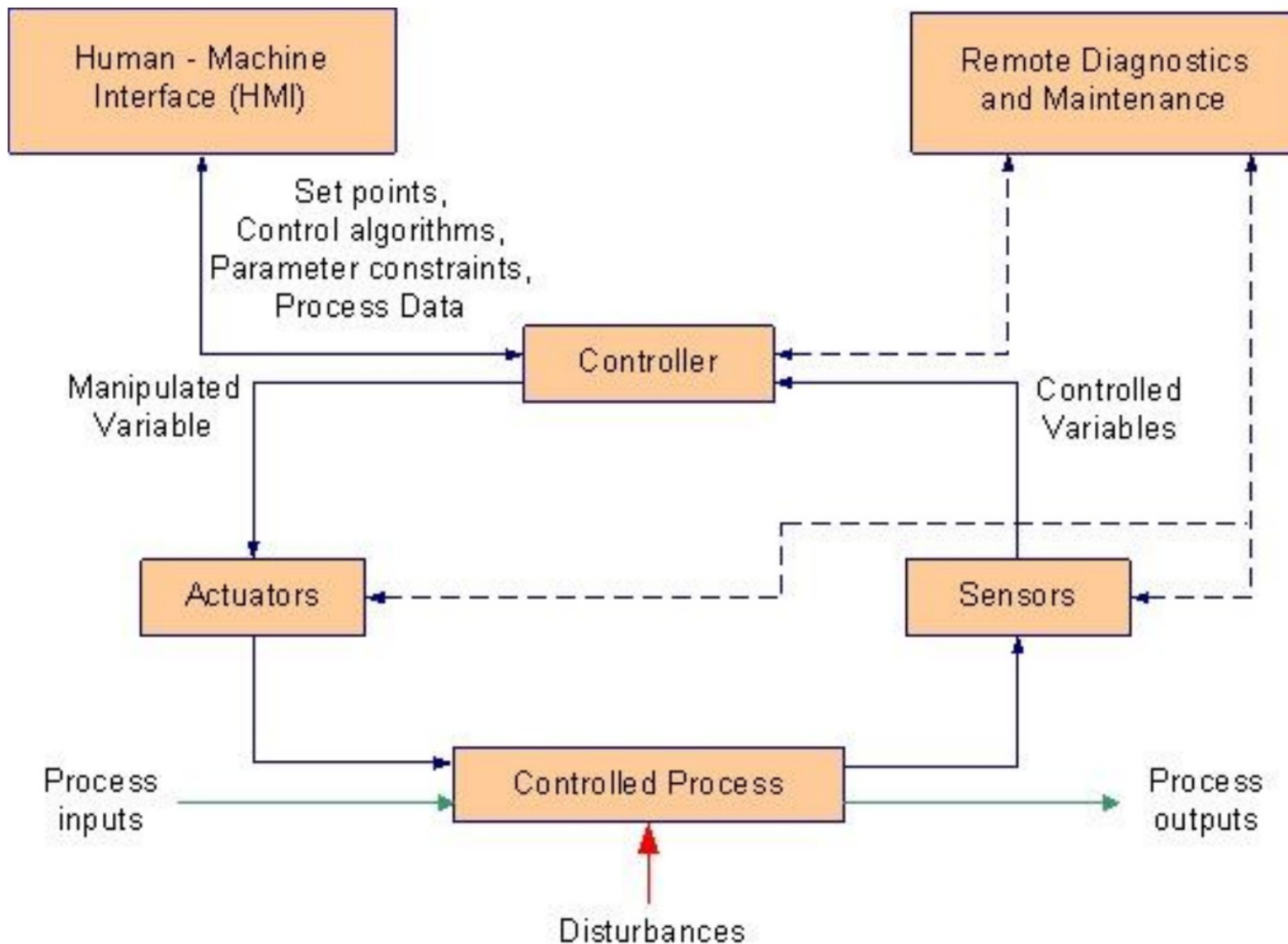
Użycie IT w automatyce przemysłowej

- Informatyka jest obszernie stosowana w automatyce przemysłowej
- Automatyka przemysłowa różni się od *informatyki przemysłowej* poprzez to, że automatyka zawiera szeroki zakres zagadnień związanych ze sprzętem takim jak czujniki, elementy wykonawcze, elektronika, komunikacja, wyświetlacze, itp.
- Zastosowanie IT w automatyce cały czas się zwiększa, automatyka „zbiega się” z IT; wcześniejszy trend to zbieganie się z inżynierią sterowania



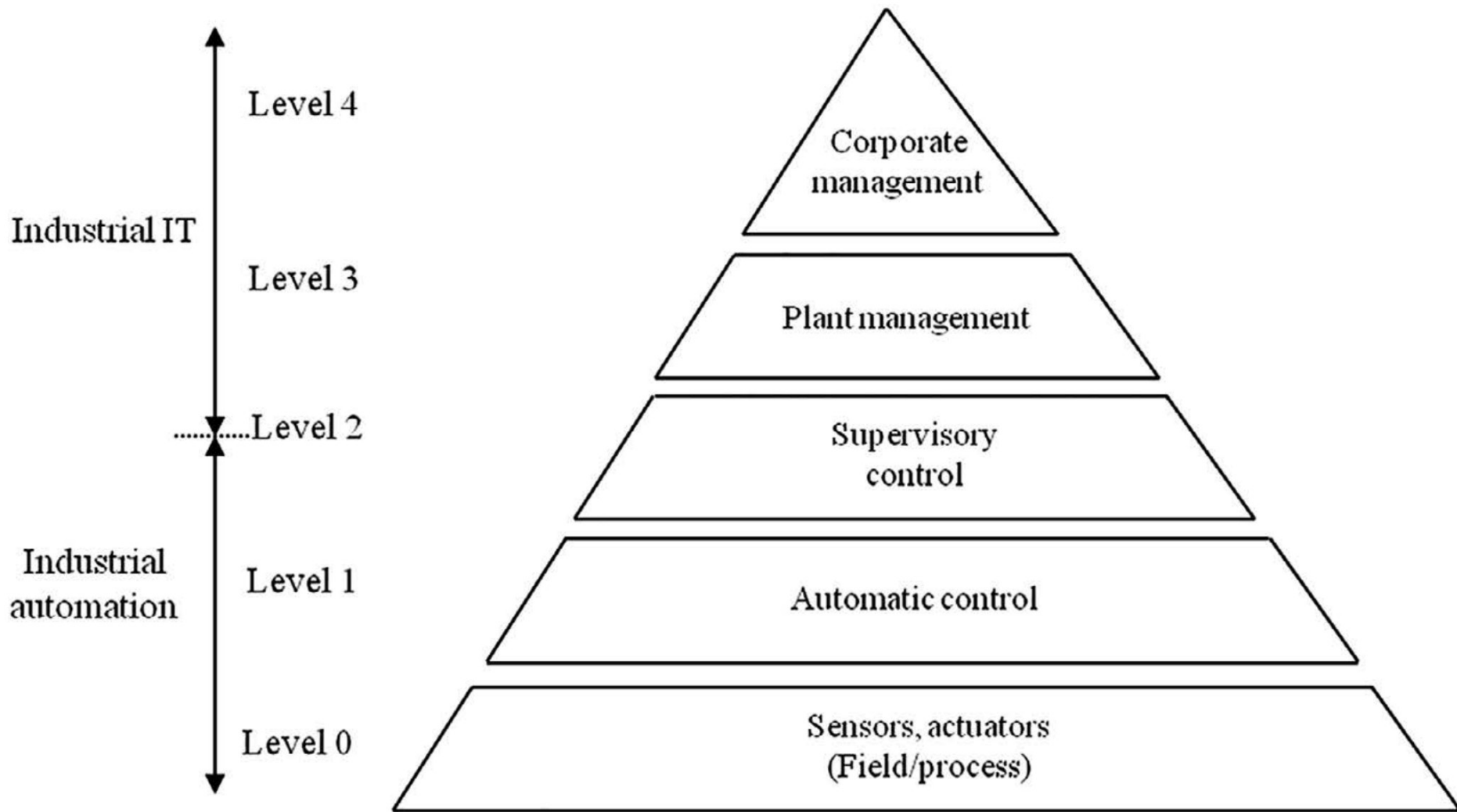
Rys. Składniki przemysłowego systemu IT [4]

Działanie przemysłowego systemu sterowania



Rys. Działanie przemysłowego systemu sterowania [6]

Architektura systemu automatyki



Rys. Architektura przemysłowego systemu automatyki [4]

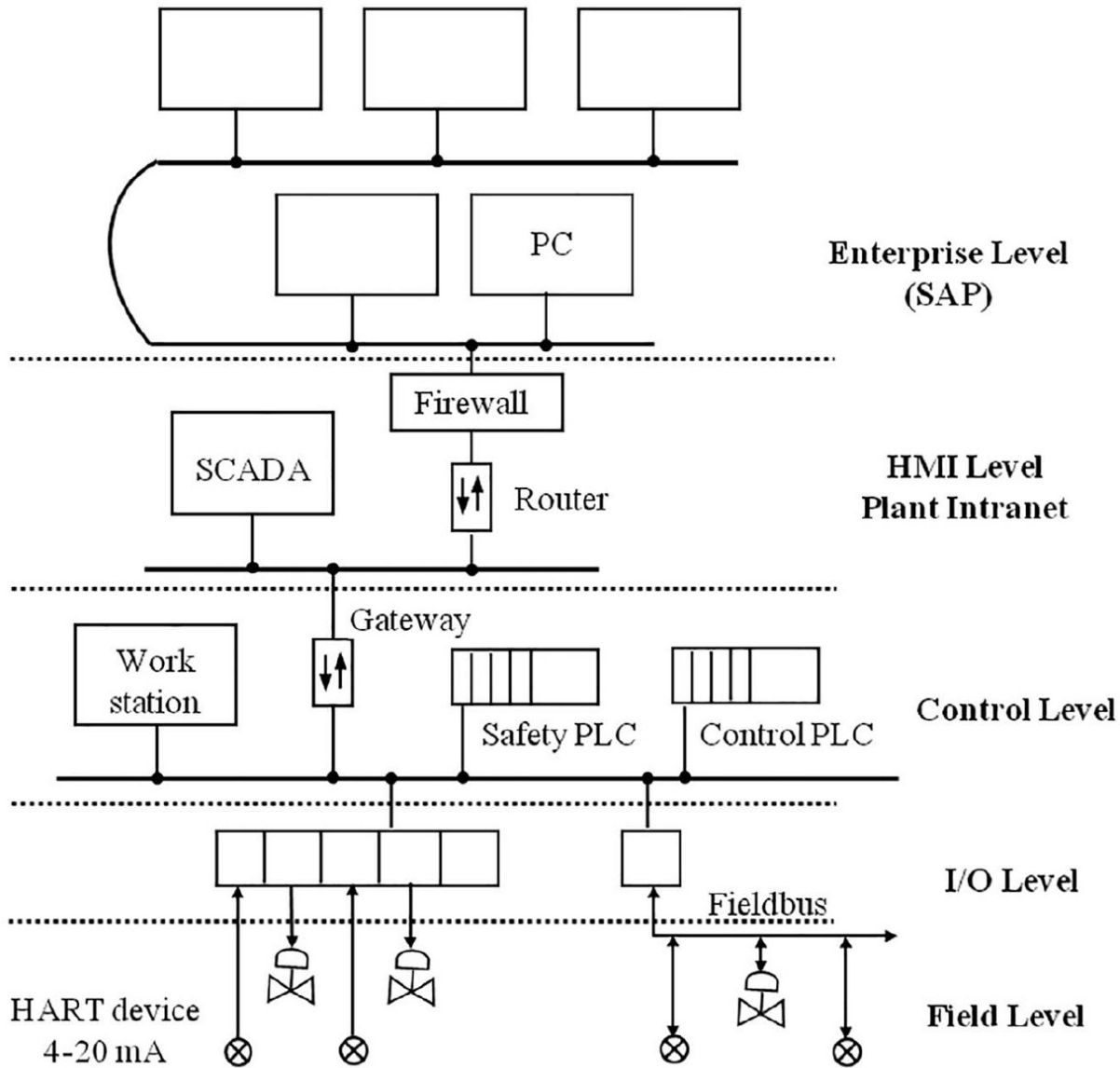
Open Platform Communications

- Otwarty standard komunikacyjny stosowany w automatyce przemysłowej i informatycznych systemach wyższych warstw, a mianowicie biznesowej i zarządzania
- Łączy aplikacje bazujące na systemach operacyjnych ogólnego stosowania (np. Windows, Linux) ze sprzętem i oprogramowaniem aplikacyjnym automatyki przemysłowej (np. PLC, DCS)
- OpenOPC - Open Source OPC client development in Python: <https://openopc.sourceforge.net/>

Standardy dotyczące oprogramowania

- Oprogramowanie odgrywa zasadniczą rolę w automatyce przemysłowej i ta rola nieustannie wzrasta
- Aby zapewnić przenośność i możliwość powtórnego wykorzystania oprogramowania i projektów urządzeń, opracowano szereg standardów, jak przykłady poniżej
- **IEC 61131-3**: standard języków programowania PLC
- **IEC 61499**: standard dotyczący rozproszonych systemów automatyki
- **IEC 61850**: standard dotyczący komunikacji oraz zagadnień interfejsów
- IEC = International Electrotechnical Commission

Architektura komunikacji systemu automatyki



Rys. Architektura sieci systemu automatyki [4]

Architektura komunikacji systemu automatyki

W nowoczesnych instalacjach automatyki, zazwyczaj stosuje się 5-warstwowy model hierarchii komunikacji. Warstwy te to:

1) Poziom polowy (*field level*): w jego skład wchodzi czujniki (*sensors*), urządzenia wykonawcze (*actuators*), przełączniki, itd.

2) Poziom wejść/wyjść (*I/O level*): poziom odpowiadający za powiązanie sygnałów wejściowych i wyjściowych. W jego skład mogą wchodzić np. skrzynki łączeniowe, multiplexery, itp.

3) Poziom sterowania (*control level*): na tym poziomie, sygnały z czujników są przetwarzane w celu wygenerowania poleceń dla urządzeń wykonawczych. Na tym poziomie zazwyczaj znajdują się PLC, DCS i SCADA

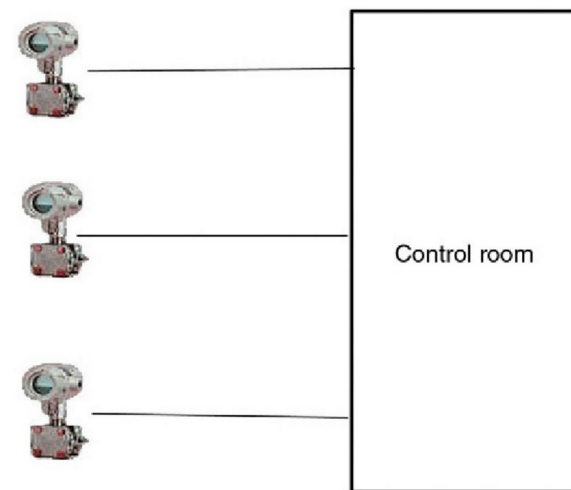
4) Poziom HMI (*HMI level*): poziom interfejsu człowiek-maszyna (*HMI, Human Machine Interface*). Wyświetlanie informacji na temat procesu, udostępnianie narzędzi do zarządzania procesem, zbieranie danych

5) Poziom przedsiębiorstwa (*enterprise level*): na tym poziomie podejmowane są za pomocą różnego rodzaju oprogramowania decyzje kierownicze, takie jak zamówienia, planowanie produkcji, fakturowanie, wysyłka, itp.

Komunikacja pomiędzy urządzeniami

Komunikacja przewodowa bezpośrednia

- Urządzenia polowe są bezpośrednio połączone przewodami do szafy sterowniczej w sterowni
- Sygnały są transmitowane zazwyczaj w standardzie pętli prądowej 4-20 mA
- Jedno z najbardziej tradycyjnych rozwiązań
- Rozwiązanie kosztowne ze względu na koszty przewodów i instalacji
- Stosunkowo wysoka wierność sygnału
- Uszkodzenie jednego przewodu nie wpływa na działanie pozostałych

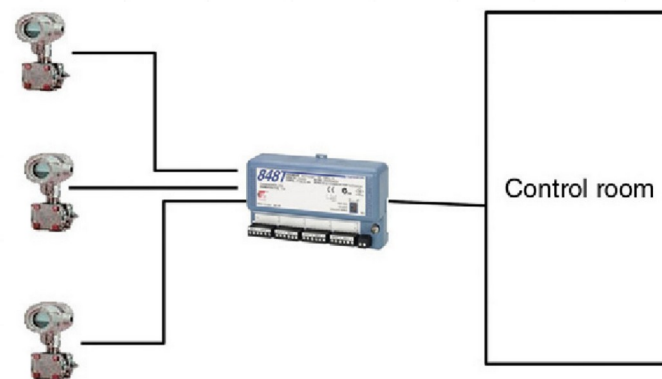


Rys. Architektura przewodowa bezpośrednia [3]

Komunikacja pomiędzy urządzeniami

Komunikacja z multipleksowaniem

- Wiele urządzeń polowych jest podłączonych do multipleksera, który przekazuje sygnały z urządzeń do sterowni za pomocą pojedynczego przewodu
- Zmniejszają się koszty okablowania, jednak dochodzą dodatkowe, związane z multiplekserem i demultiplekserem
- Wolniejsza transmisja sygnałów (sygnał każdego urządzenia ma ustalony czas na transmisję)



Rys. Architektura z multipleksowaniem [3]

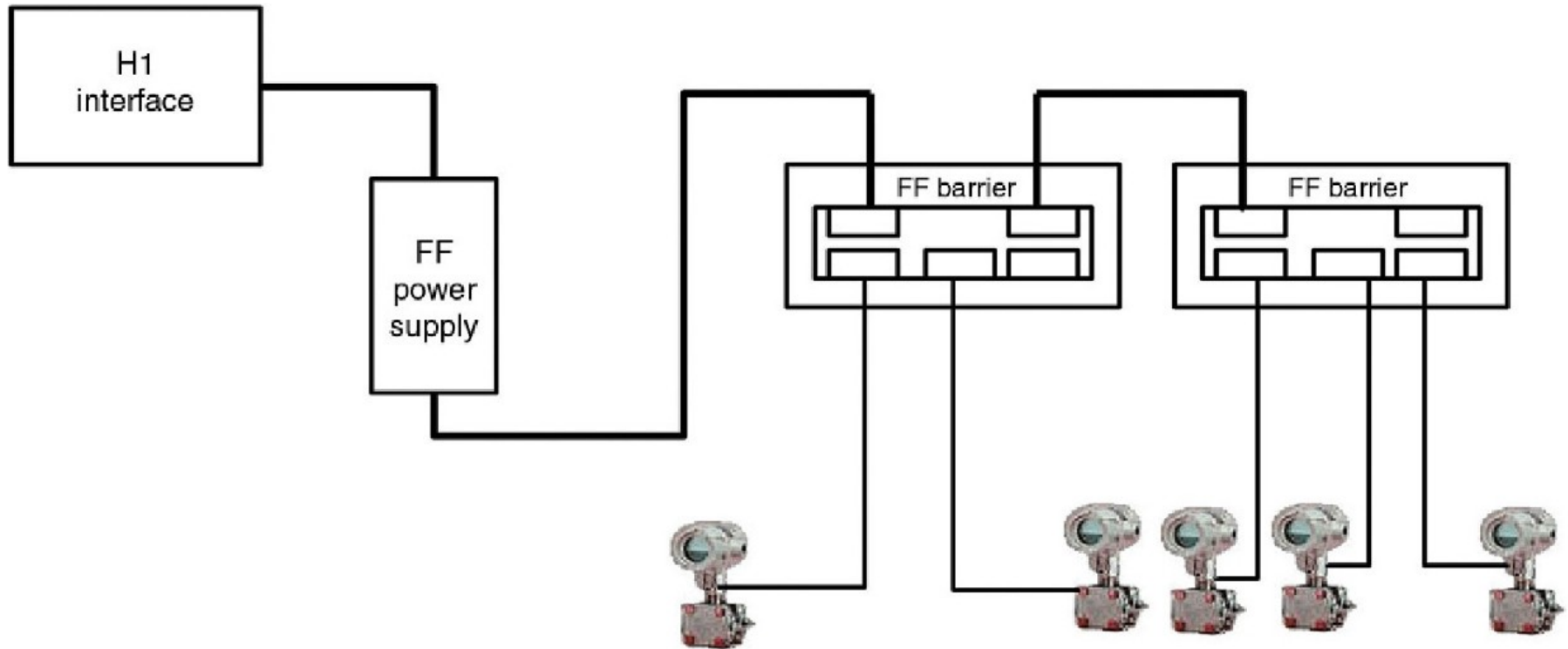
Komunikacja pomiędzy urządzeniami

Magistrala cyfrowa

- Architektura wykorzystywana przez najbardziej zaawansowane protokoły komunikacji polowej, takie jak Foundation Fieldbus, Profibus czy DeviceNet
- Urządzenia podłączone są do wspólnej magistrali za pomocą odgałęzień
- Magistrala jednocześnie przesyła informacje oraz zasila urządzenia
- Każde urządzenie posiada unikalny adres i pewien przydzielony czas transmisji
- Sterownik lub któreś z urządzeń pełni rolę arbitrażową w transmisji
- Oszczędność okablowania i kosztów instalacji
- Przewiduje się, że to rozwiązanie będzie coraz popularniejsze w przyszłości

Komunikacja pomiędzy urządzeniami

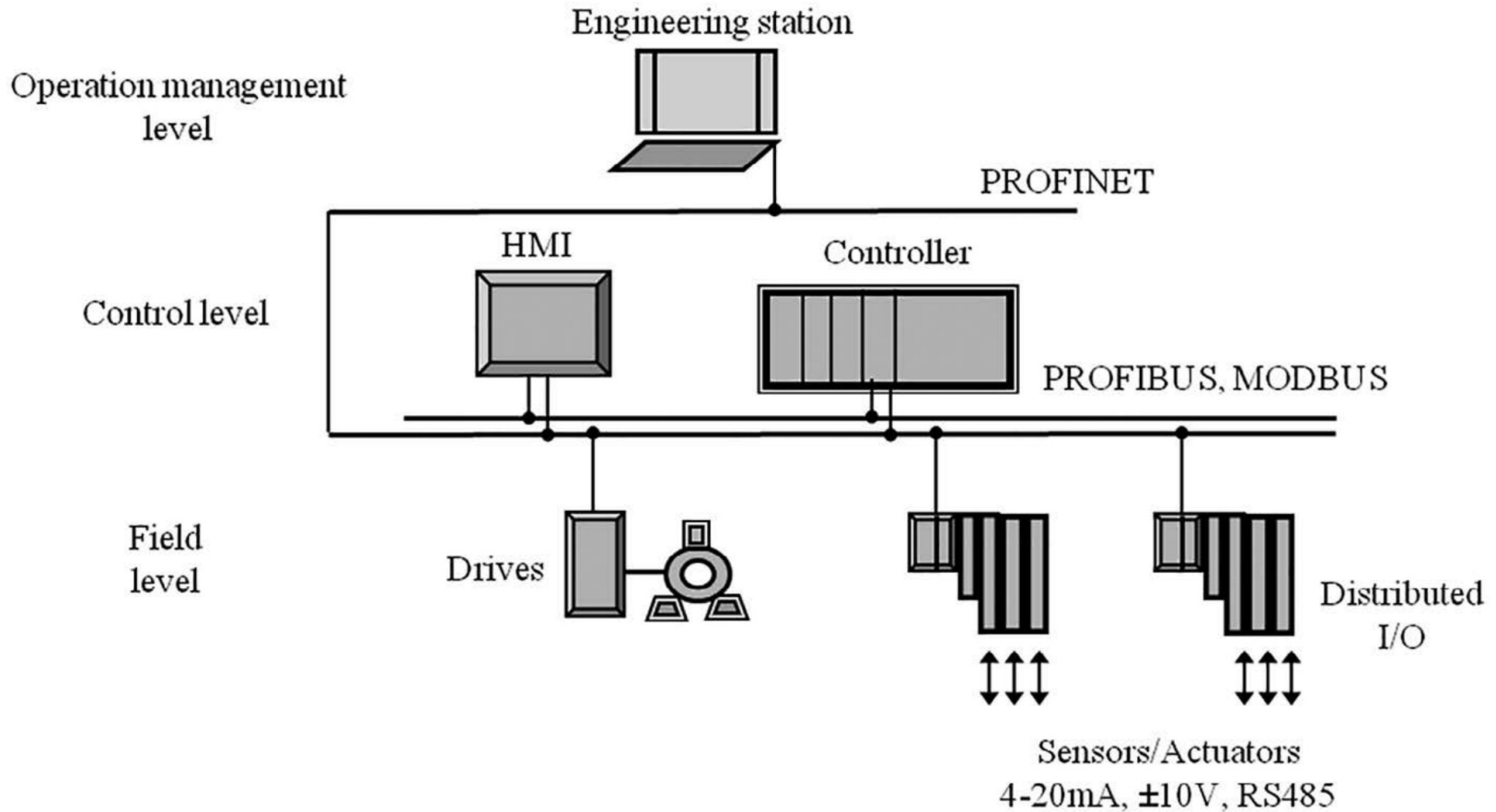
Magistrala cyfrowa



Rys. Przykład magistrali cyfrowej [3]
FF = Foundation Fieldbus

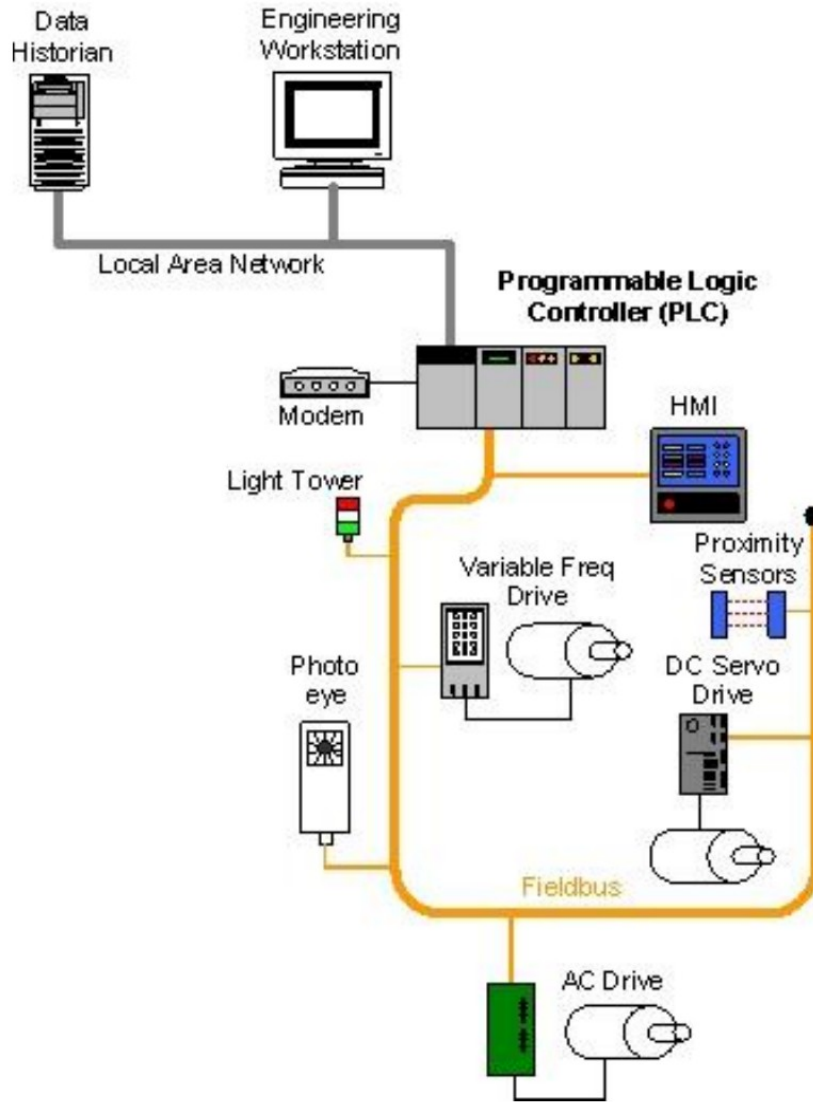
Komunikacja pomiędzy urządzeniami

Przykład przemysłowej sieci automatyki



Rys. Przykładowa implementacja sieci systemu automatyki [4]

Przykład systemu sterowania opartego o PLC



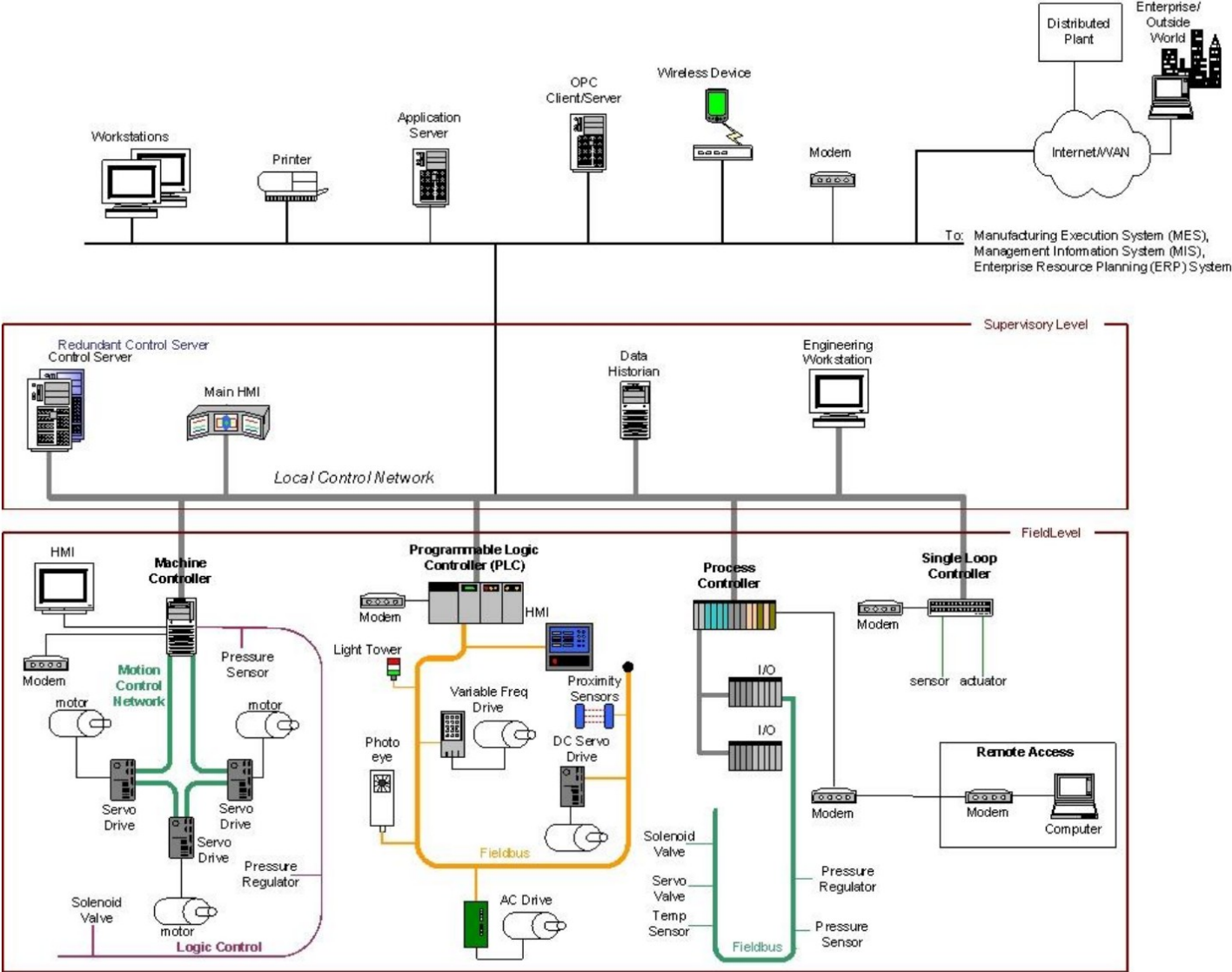
Rys. Przykład systemu sterowania opartego o PLC [6]

Komunikacja pomiędzy urządzeniami

Zalety przemysłowej sieci automatyki

- Pozwala na integrację systemu automatyki z siecią przedsiębiorstwa, co pozwala na szybką implementację strategii biznesowych przedsiębiorstwa i wykorzystanie globalnych zasobów (np. danych) w procesie produkcyjnym
- Zmniejszenie kosztów systemu poprzez otwarte standardy sieciowe, wykorzystanie narzędzi do utrzymania predykcyjnego, lepsze wykorzystanie zasobów, optymalizacja łańcucha dostaw, skrócenie czasu produkcji, wykorzystanie analizy rynku, planowanie, itp.

Rozproszone systemy sterowania (DCS)



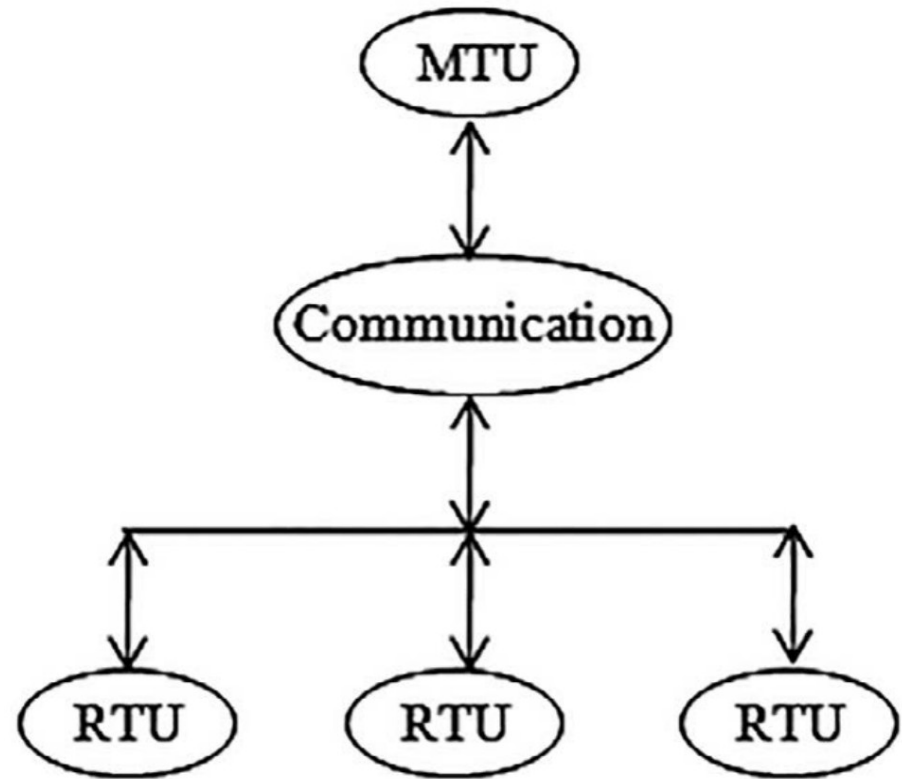
Rys. Przykład rozproszonego systemu sterowania [6]

Inteligentne urządzenia polowe

- Możliwość komunikacji, np. z poziomym HMI lub terminala ręcznego
- Możliwość samo-diagnostyki
- Możliwość samo-kalibracji
- Komunikacja bezprzewodowa, bez konieczności okablowania w trudno dostępnych miejscach
- Możliwość pomiaru wielu parametrów; np. przepływomierz Coriolisa pozwala na pomiar przepływu masowego, lepkości, gęstości i temperatury
- Spełnianie standardu IEC 61508

Systemy SCADA

- *Supervisory Control and Data Acquisition*
- Zajmuje się sterowaniem nadzorczym, tzn. wyższego poziomu niż klasyczna regulacja w pętli zamkniętej (czym zajmują się PLC)
- Używane, kiedy istotne jest scentralizowane wykorzystanie danych
- Kombinacja sprzętu i oprogramowania
- Rozwiązania ciągle ewoluują, np. ze względu na wdrożenia IoT lub infrastruktury chmurowej
- Poziom złożoności bardzo zróżnicowany; od monitorowania danych środowiskowych w budynku do sterowania elektrownią jądrową



Rys. Komunikacja pomiędzy MTU a RTU [4]
MTU = *Master Terminal Unit*, serwer sterujący
RTU = *Remote Terminal Unit*, zdalny moduł telemetrii/telesterowania

Akwizycja danych



Komunikacja



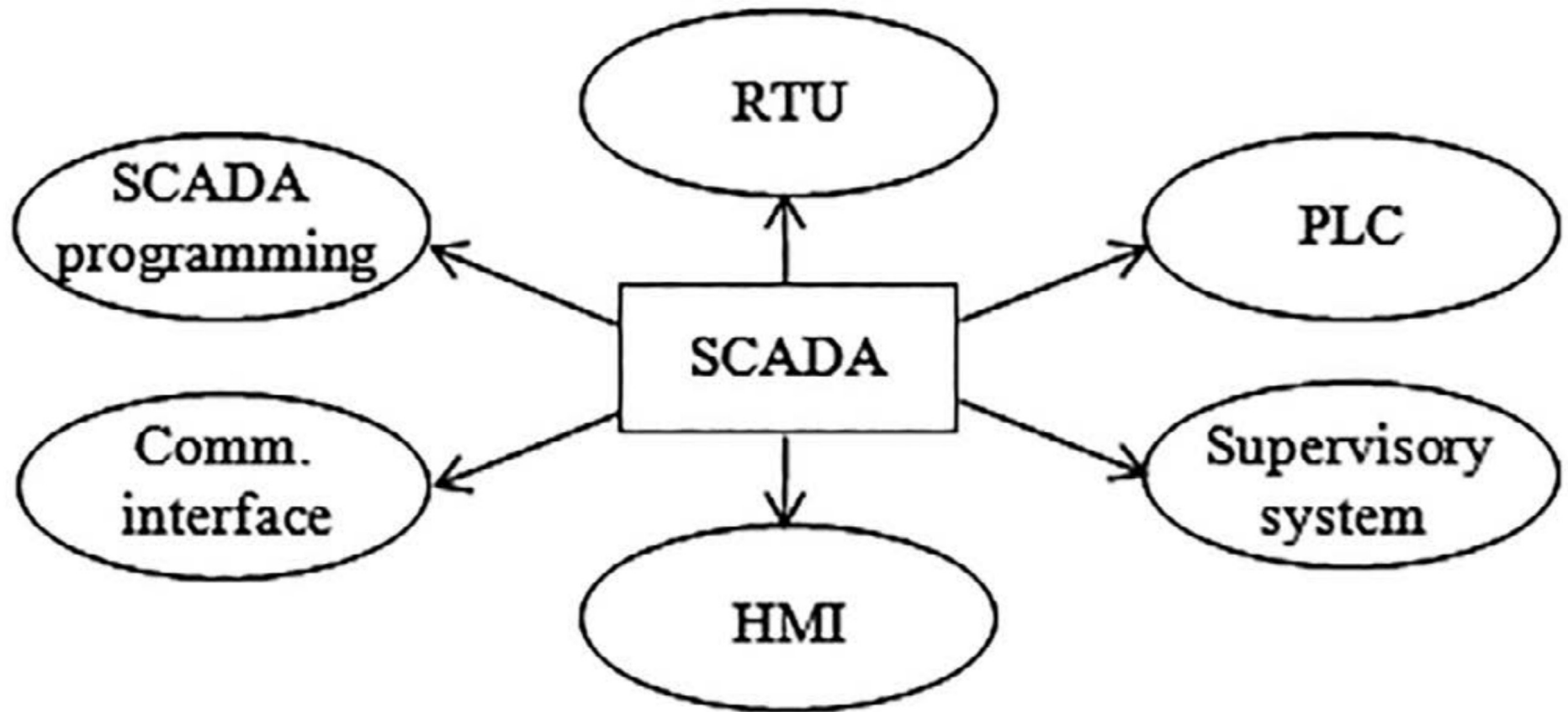
Prezentacja danych



Sterowanie



Składniki systemów SCADA



Rys. Składniki systemów SCADA [4]

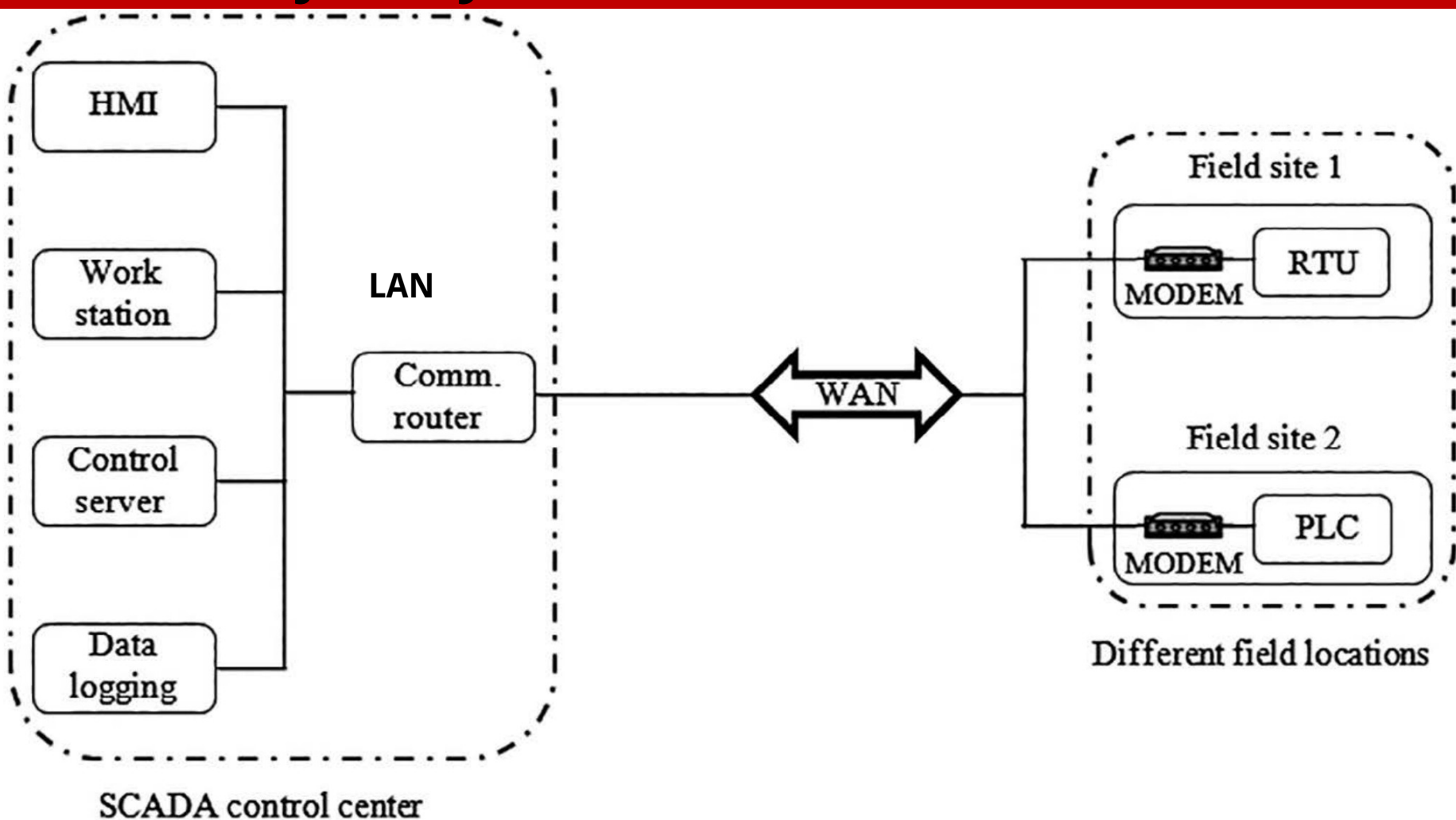
Remote terminal unit

- Urządzenie elektroniczne sterowane mikroprocesorem, które stanowi interfejs pomiędzy urządzeniami polowymi a głównymi serwerami systemu SCADA



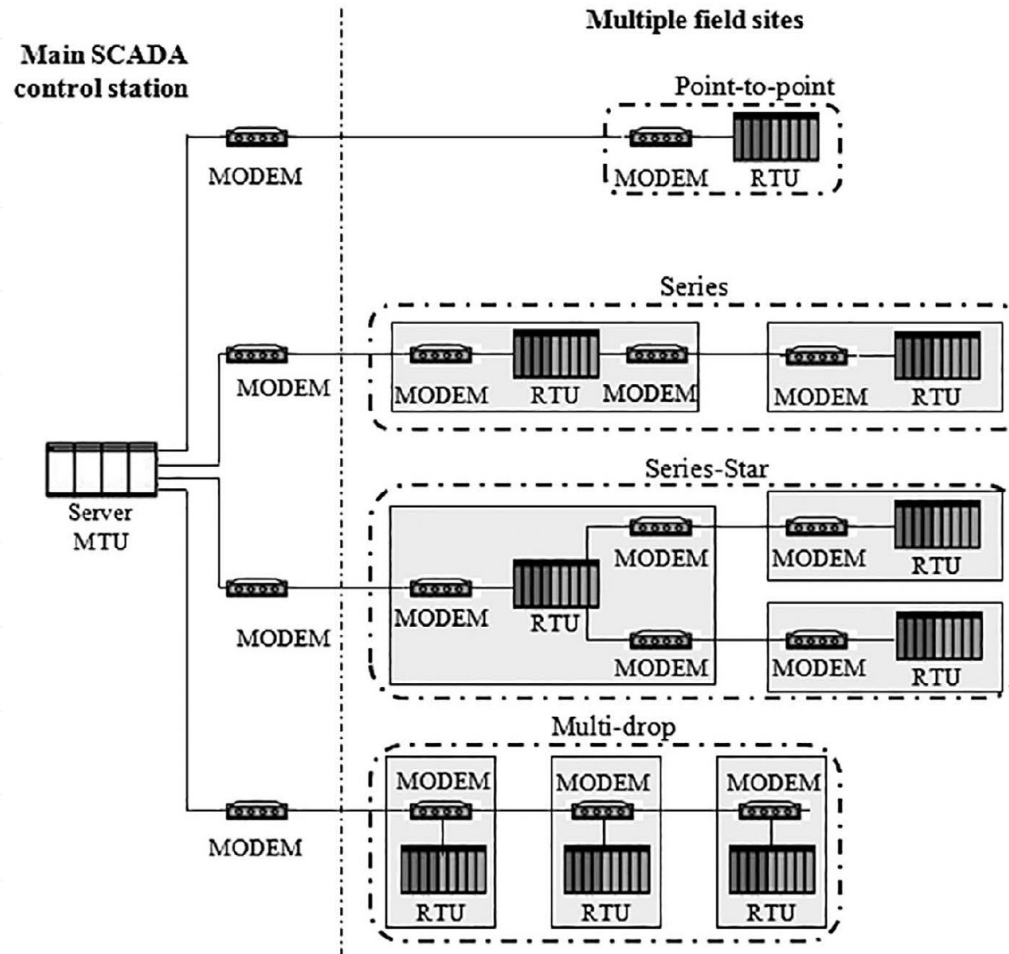
Rys. TBox MS firmy Servelec Technologies [5]

Komunikacja w systemach SCADA



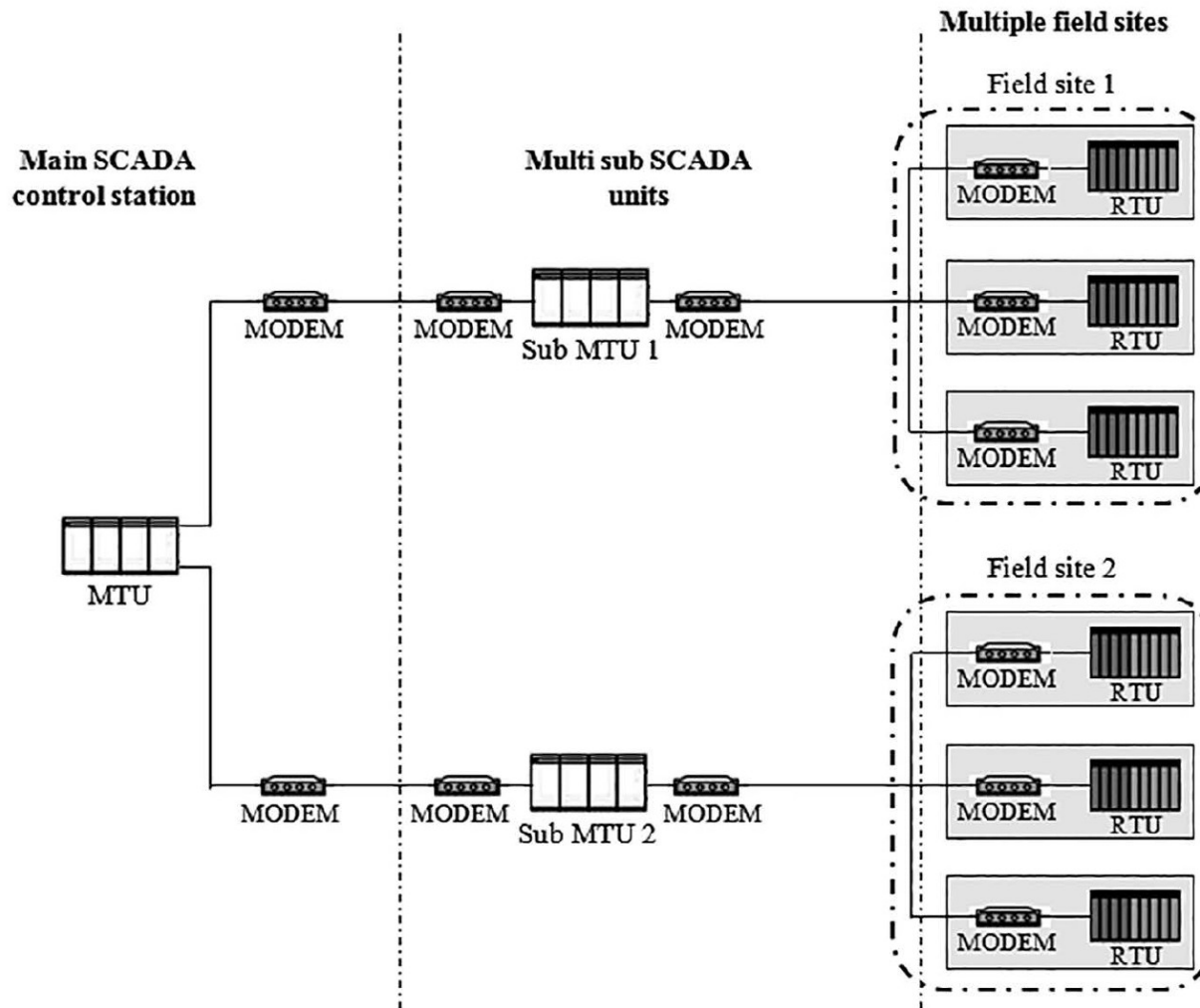
Rys. Komunikacja pomiędzy centrum systemu SCADA i urządzeniami polowymi [4]
WAN = Wide Area Network, LAN = Local Area Network

Topologie systemów SCADA



Rys. Różne topologie systemów SCADA [4], (Courtesy: NIST: Guide to Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) and Industrial Control Systems Security, Special Publication 800-82, K. Stouffer, J. Falco, and K. Kent.)

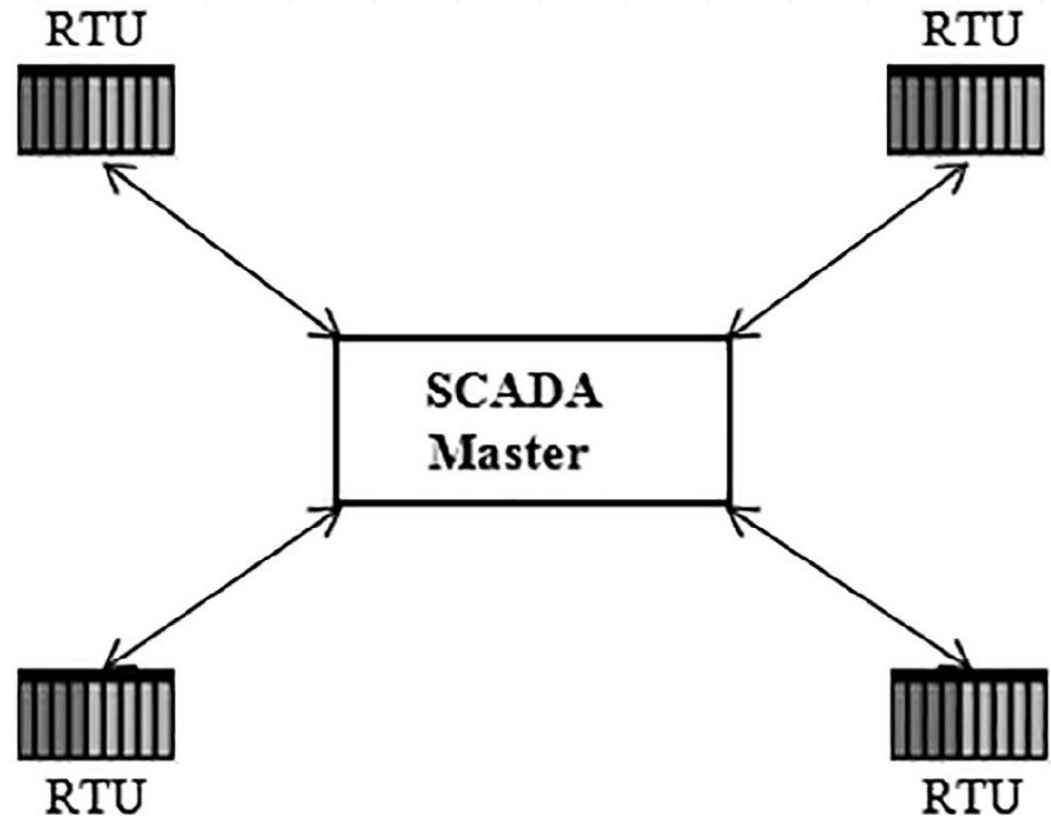
Duże systemy SCADA



Rys. Duży system SCADA [4], (Courtesy: NIST: Guide to Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) and Industrial Control Systems Security, Special Publication 800-82, K. Stouffer, J. Falco, and K. Kent.)

Pierwsza generacja systemów SCADA

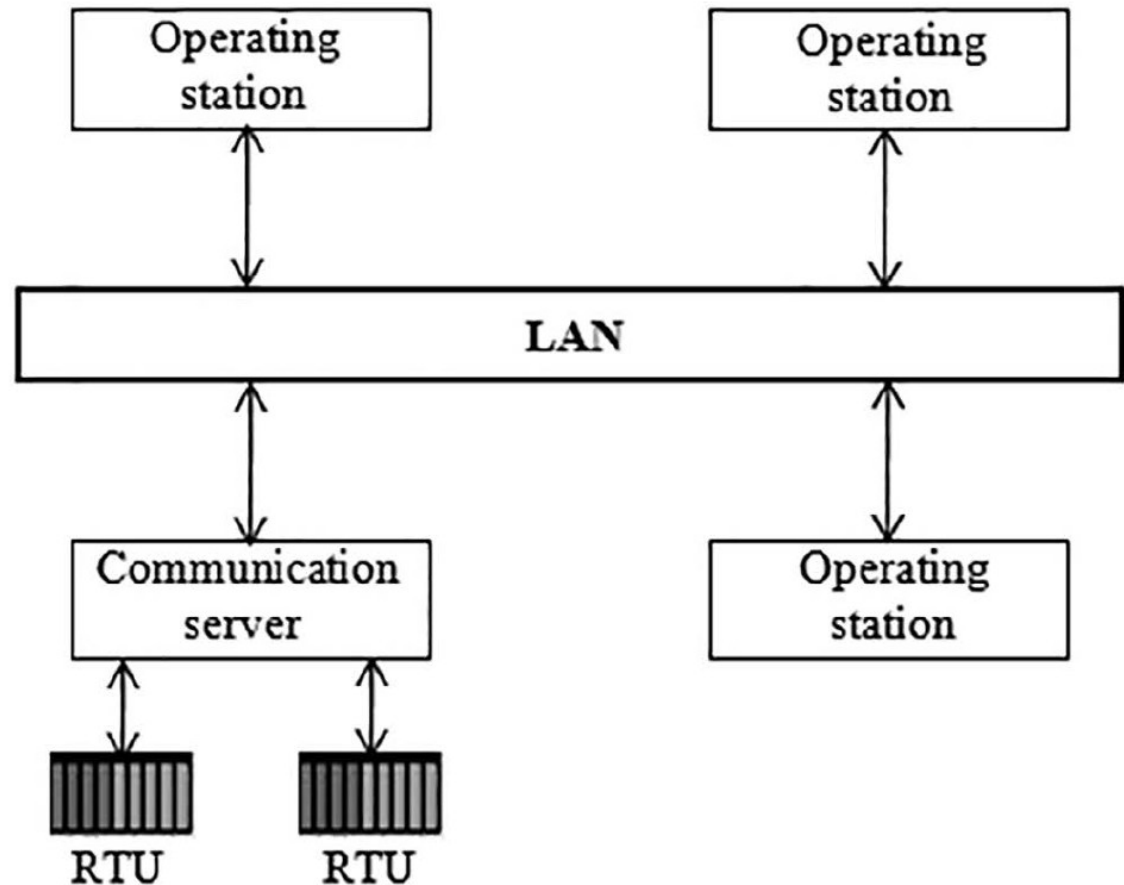
- Monolityczna architektura
- Mainframe
- Bez sieci komputerowej
- Własnościowe protokoły komunikacji
- Redundancja systemu



Rys. Pierwsza generacja systemów SCADA [4]

Druga generacja systemów SCADA

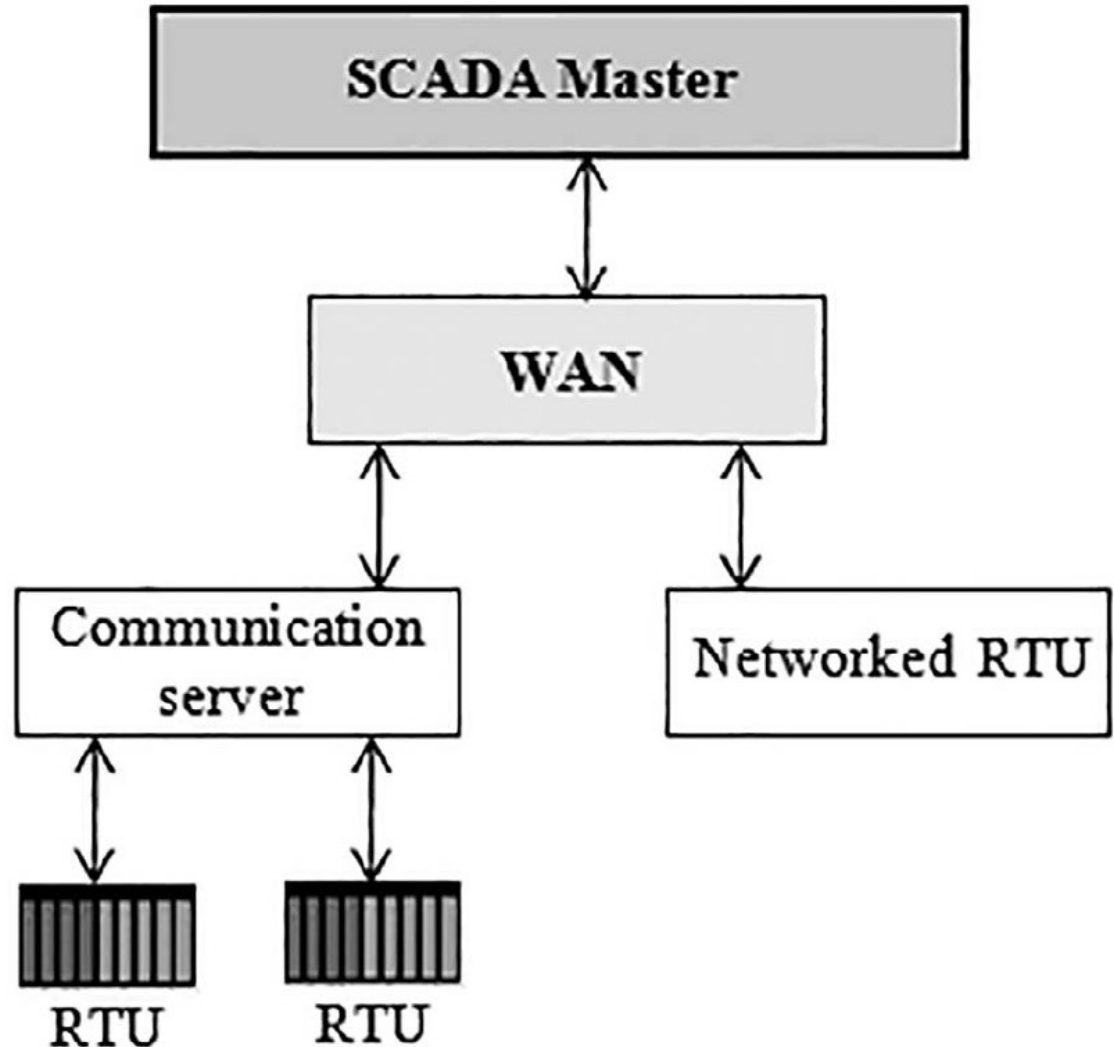
- Rozproszona architektura
- Stacje w formie minikomputerów
- Każda stacja spełnia konkretną funkcję, jak komunikacja, HMI, obliczenia, baza danych
- Sieć LAN
- Własnościowe protokoły komunikacji



Rys. Druga generacja systemów SCADA [4]

Trzecia generacja systemów SCADA

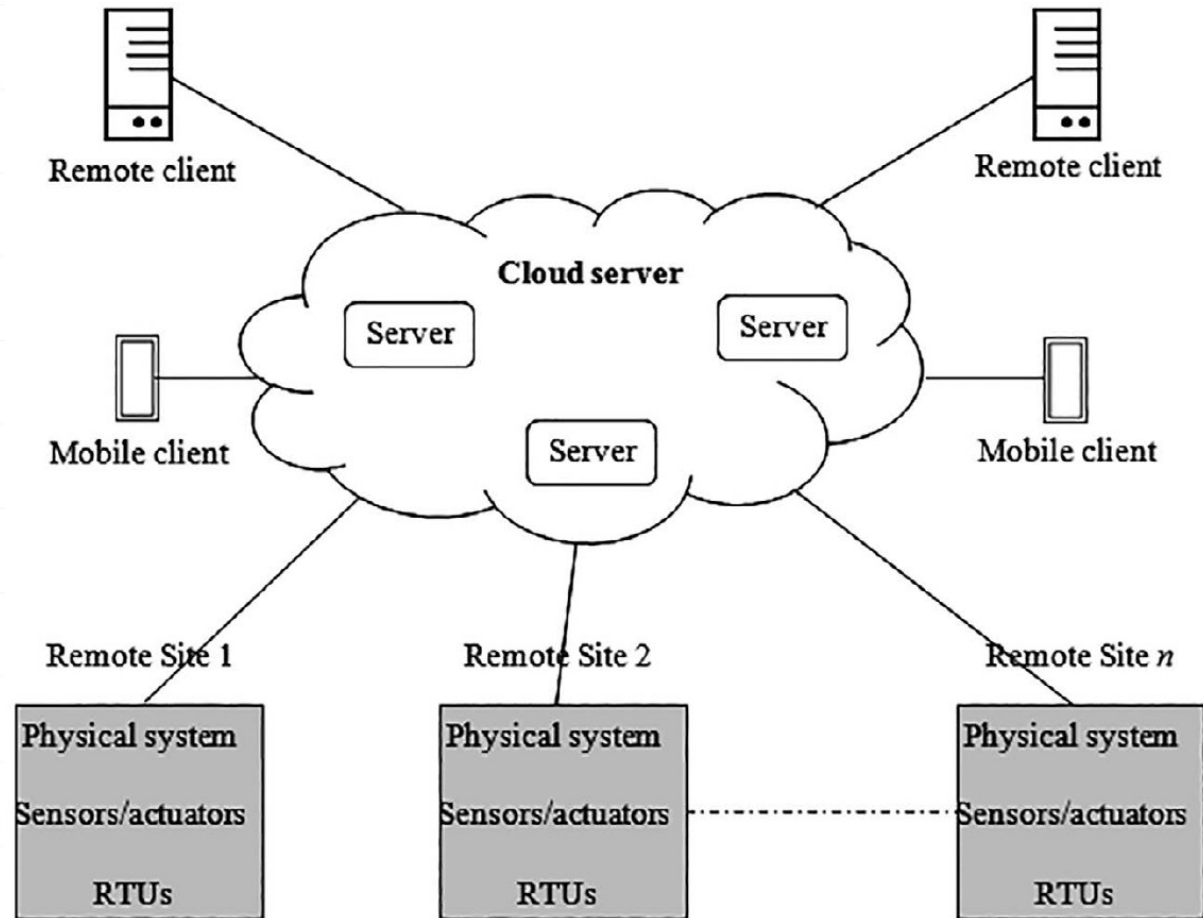
- Usieciowiona architektura
- Otwarte standardy w miejscu standardów własnościowych, co pozwala na łatwą wymianę urządzenia jednego producenta na urządzenie pochodzące od innego producenta



Rys. Trzecia generacja systemów SCADA [4]

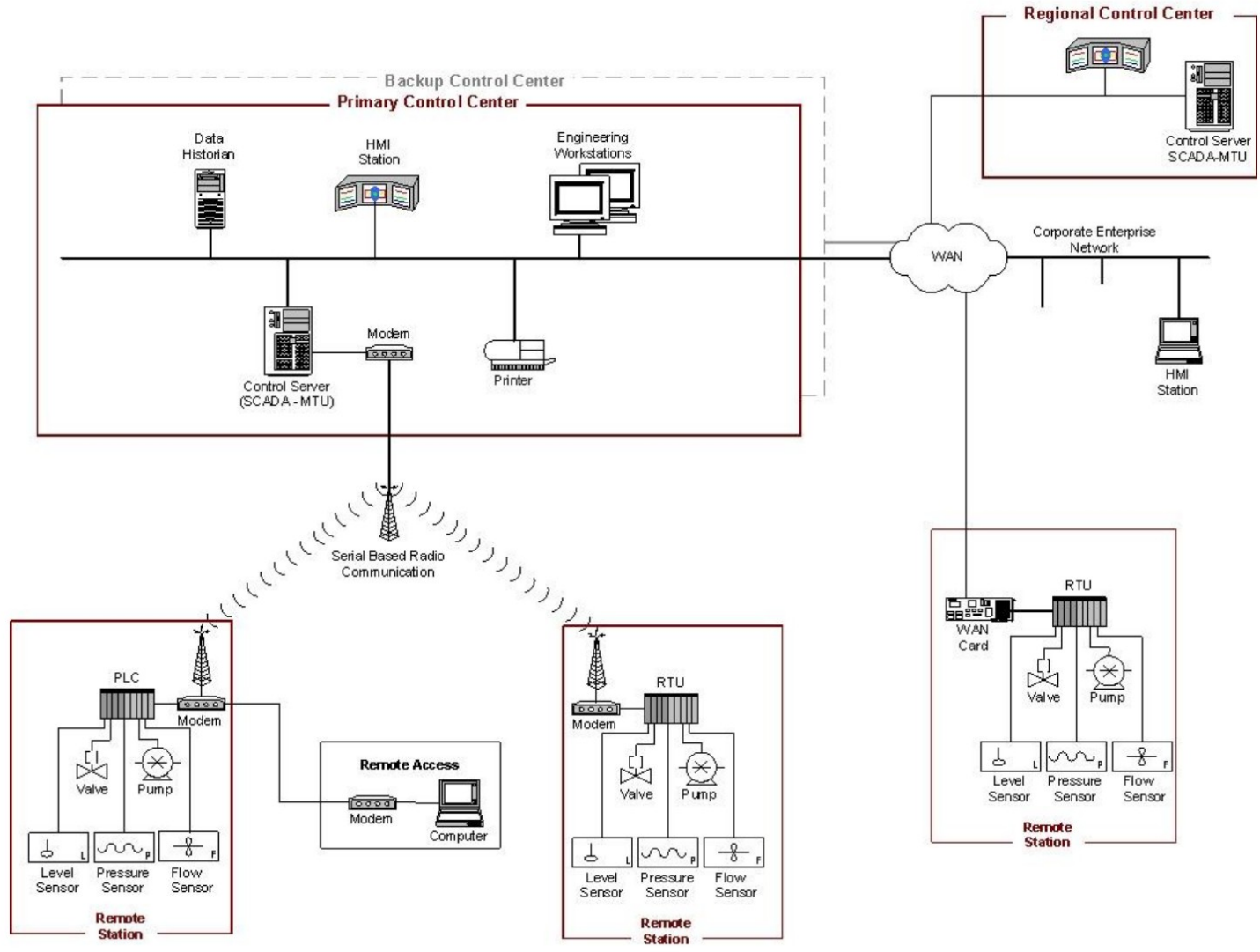
Czwarta generacja systemów SCADA

- Architektura wykorzystująca internet rzeczy (IoT)
- Obniżenie kosztów infrastruktury, łatwiejsze i lepsze utrzymanie, lepsza integracja systemu
- Wykorzystanie usług w chmurze
- Scentralizowane przechowywanie danych
- Otwarte protokoły sieciowe
- Modelowanie urządzeń poprzez programowanie zorientowane obiektowo
- Bezpieczeństwo zapewnione przez protokoły takie jak TLS (Transport Layer security), SSL (Secure Socket Layer)



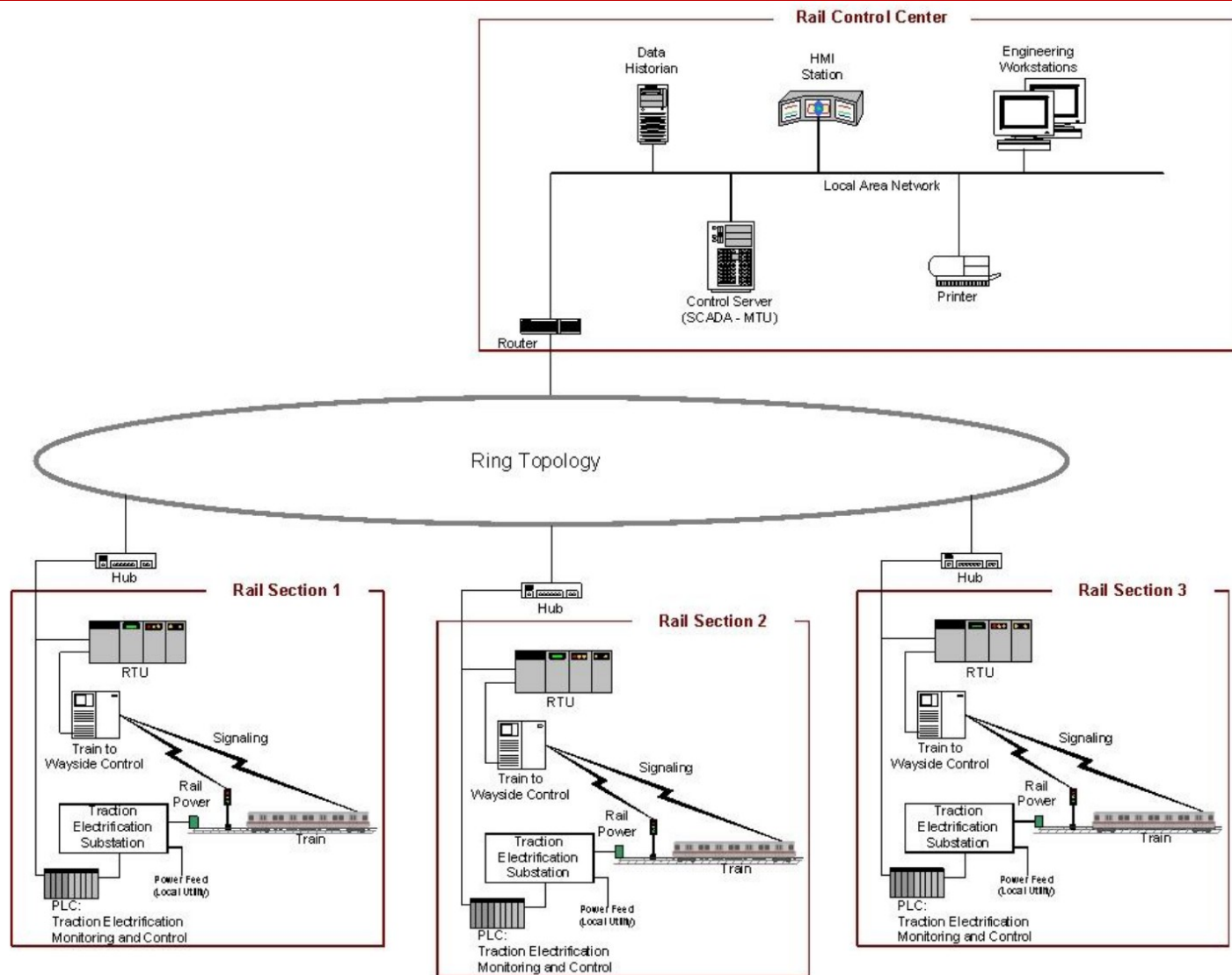
Rys. Czwarta generacja systemów SCADA [4]

Przykład systemu SCADA



Rys. Przykład systemu SCADA [6]

Przykład systemu SCADA



Rys. Przykład systemu SCADA – system sterowania i monitorowania w kolei [6]

Literatura

- [1] Sue De Pasquale „AI, robotics, automation: The fourth industrial revolution is here”, Johns Hopkins University, <https://hub.jhu.edu/2018/12/27/robotics-automation-changing-job-market/> (dostęp 2023-02-14)
- [2] Meraky Technology, <https://www.merakytechnology.com/en/automation-industrial-robotics/> (dostęp 2023-02-14)
- [3] B. R. Mehta, Y. J. Reddy, *Industrial Process Automation Systems*, Elsevier, 2015
- [4] C. Dey, S. K. Sen, *Industrial Automation Technologies*, Taylor & Francis Group, 2020
- [5] FernaCM, Remote Terminal Unit Modular con entradas y salidas eléctricas y múltiples puertos de comunicación, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Remote_Terminal_Unit_Modular.jpg, (dostęp 2023-02-28)
- [6] Keith Stouffer et al., Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security, NIST Special Publication 800-82, <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.800-82r2>, National Institute of Standards and Technology, USA, 2015