Platforma Technologiczna
Smart Grid


## Wojciech GREGA

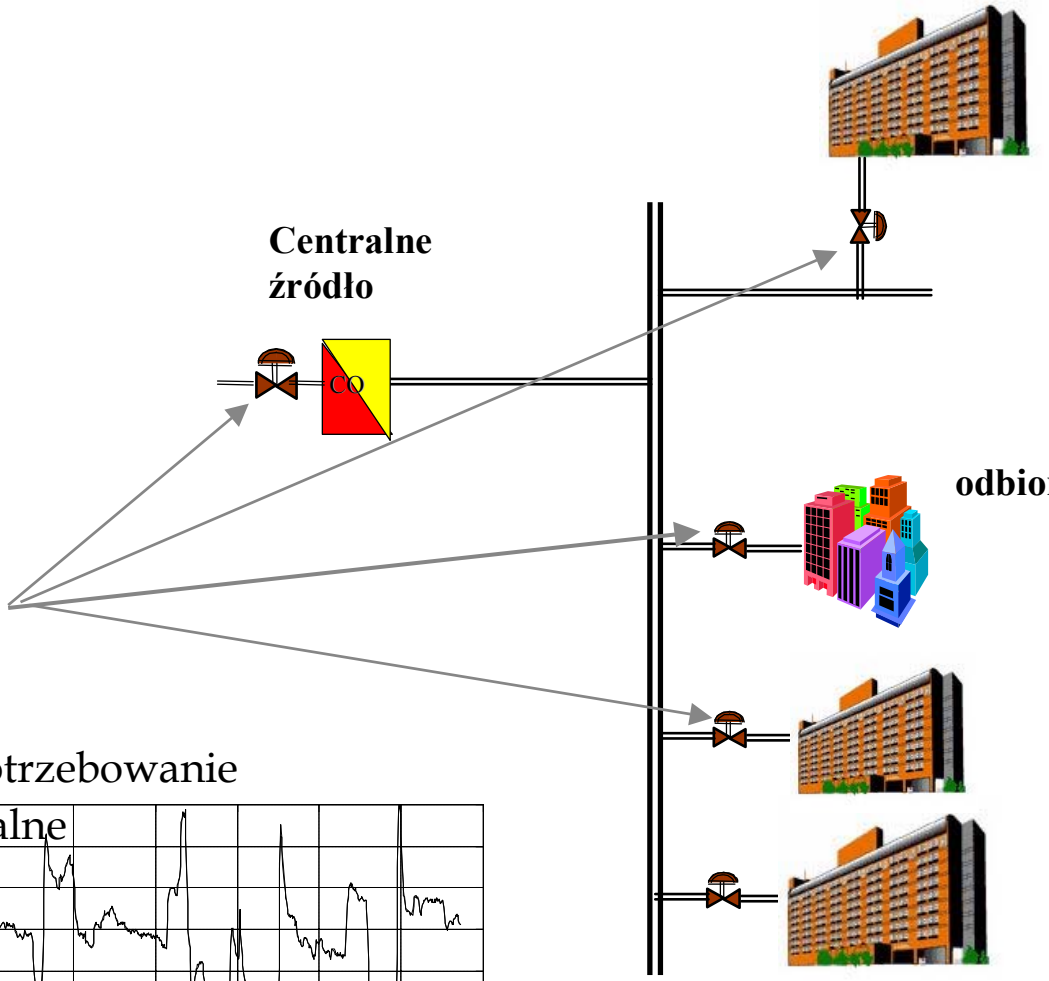

# Metody automatyki, a sterowanie i monitorowanie systemów energetycznych

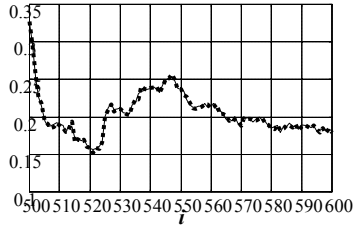

**Akademia-Górniczo-Hutnicza w Krakowie**
*Wydział Elektrotechniki, Automatyki, Informatyki i Elektroniki*
*Katedra Automatyki*

Al. Mickiewicza 30, B1, 30-059 Kraków

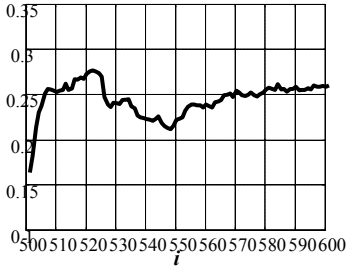
***wgr@ia.agh.edu.pl***

# Przykład 1 sterowanie dystrybucją energii cieplnej

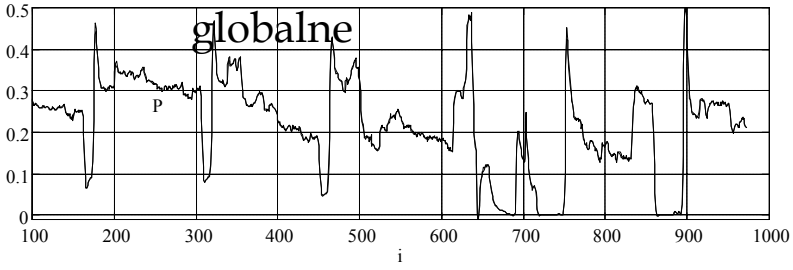



Zapotrzebowania
lokalne

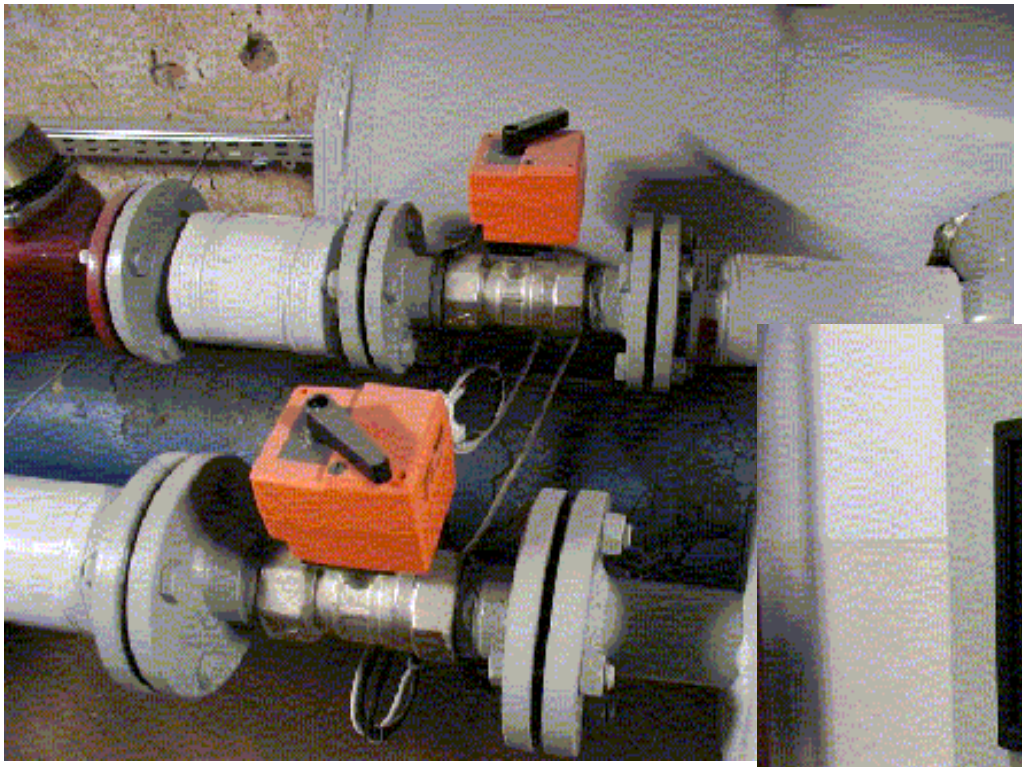



Zapotrzebowanie
globalne

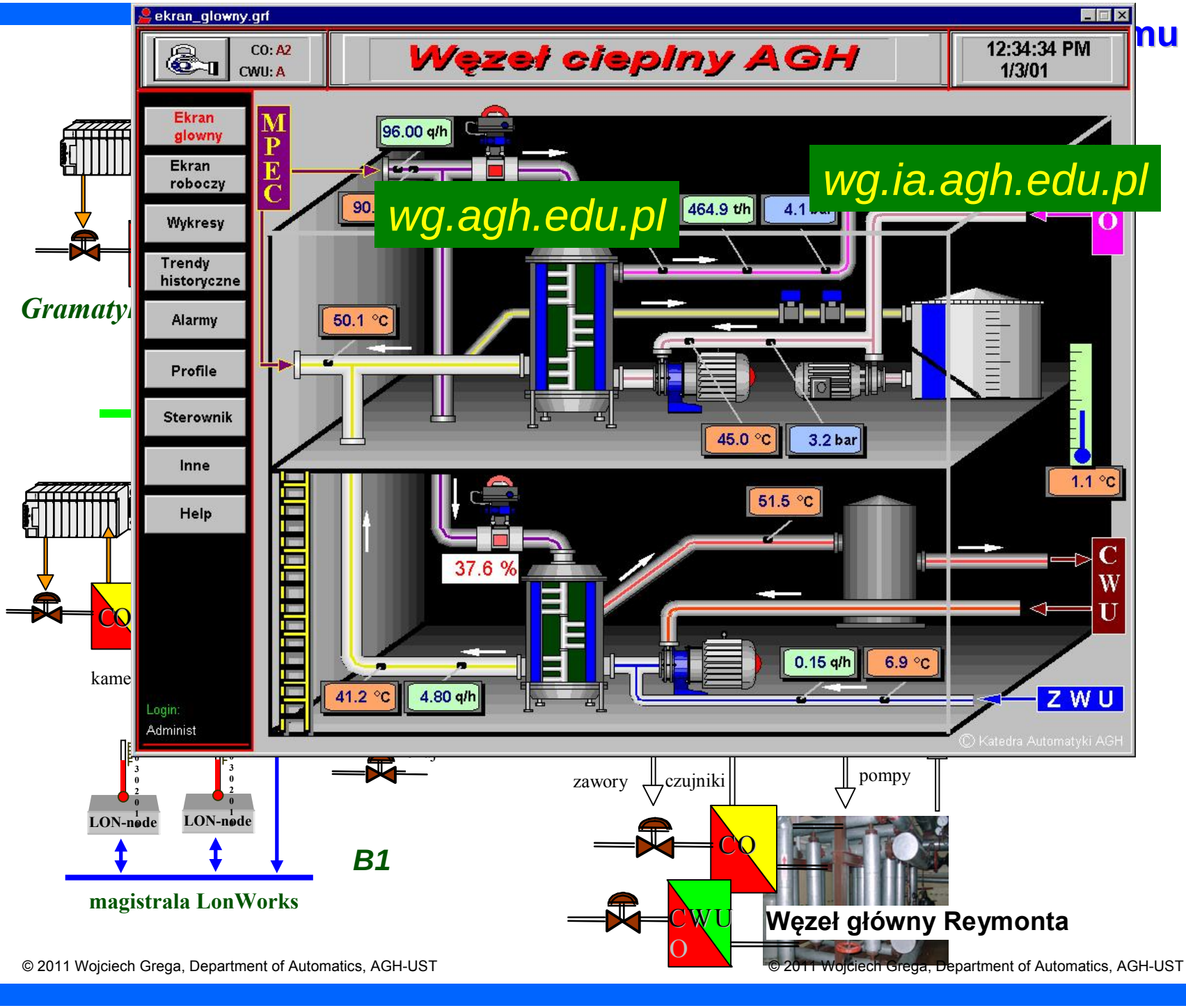


# Centralne źródło energii

# Sterowniki lokalne



© 2011 Wojciech Grega, Department of Automatics, AGH

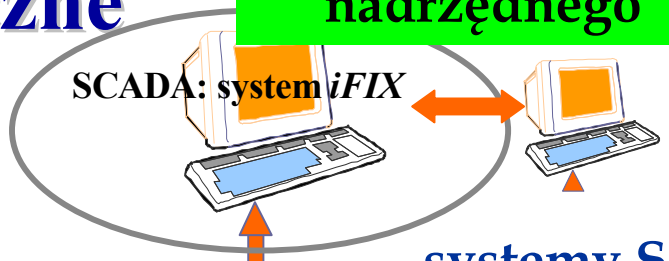



© 2011 Wojciech Grega, Department of Automatics, AGH-UST

© 2011 Wojciech Grega, Department of Automatics, AGH-UST

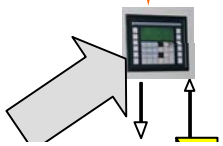
# Zastosowane technologie teleinformatyczne

**Algorytmy sterowania nadrzędnego**

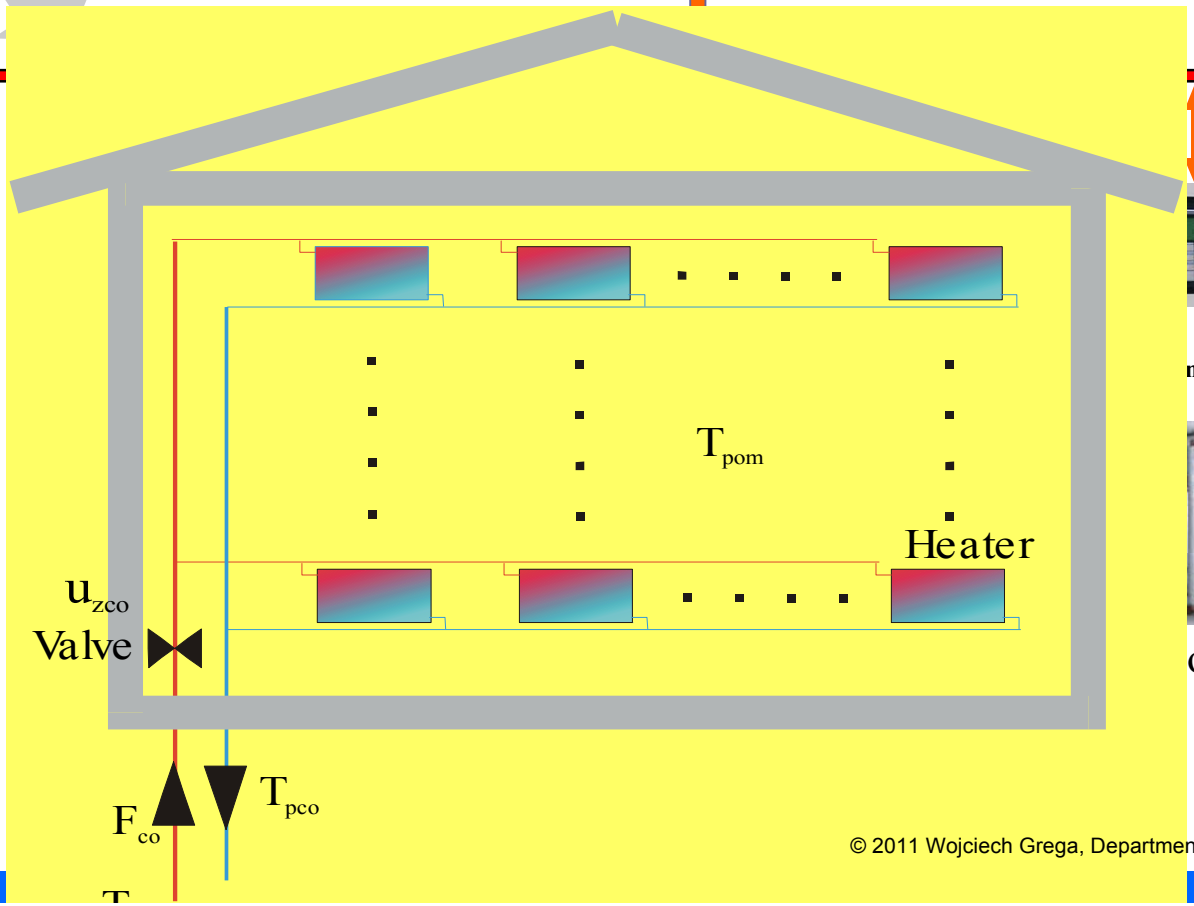



systemy SCADA

teletransmisja



Inteligentne węzły



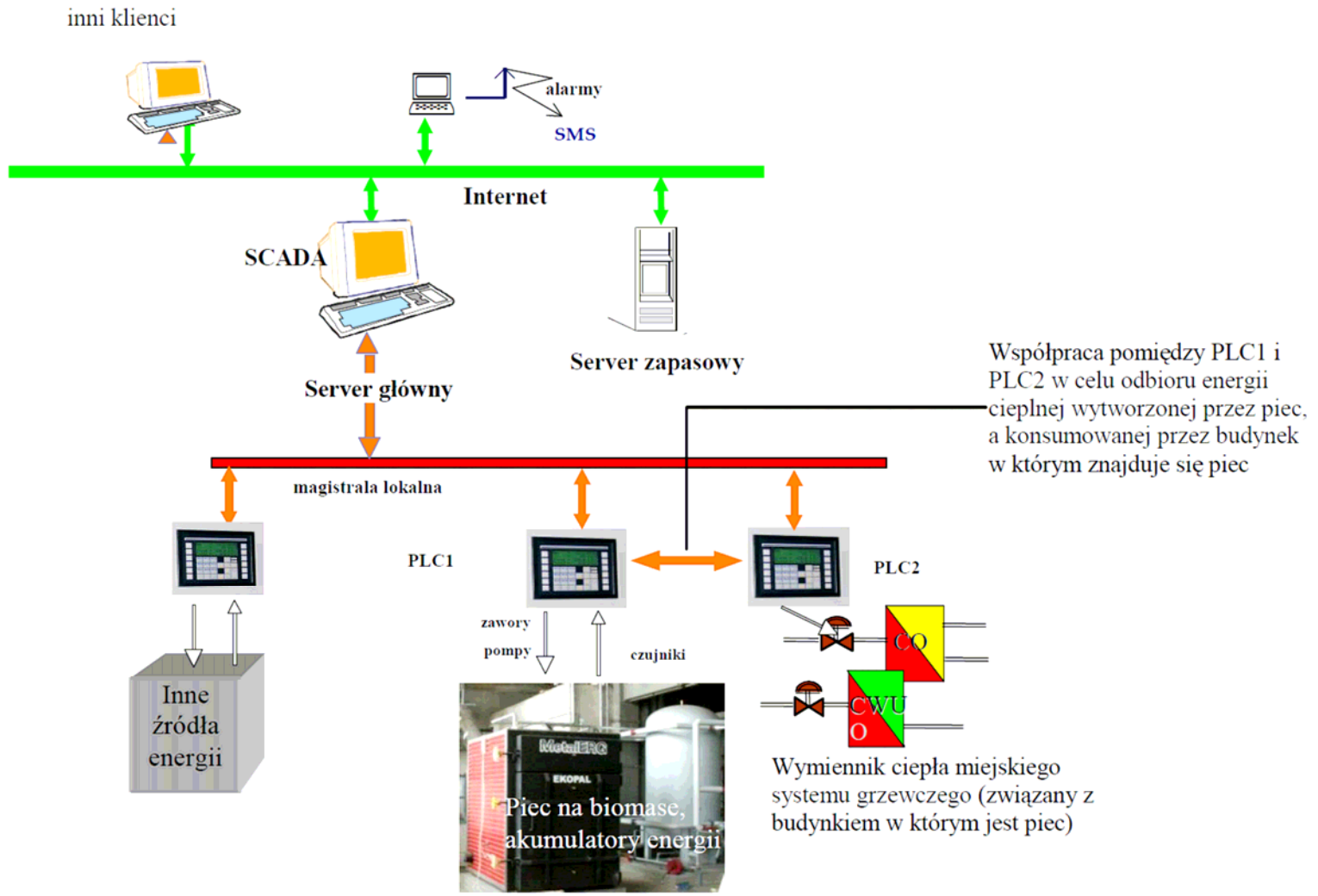
PLC2

mps

ource

© 2011 Wojciech Grega, Department of Automatics, AGH-UST

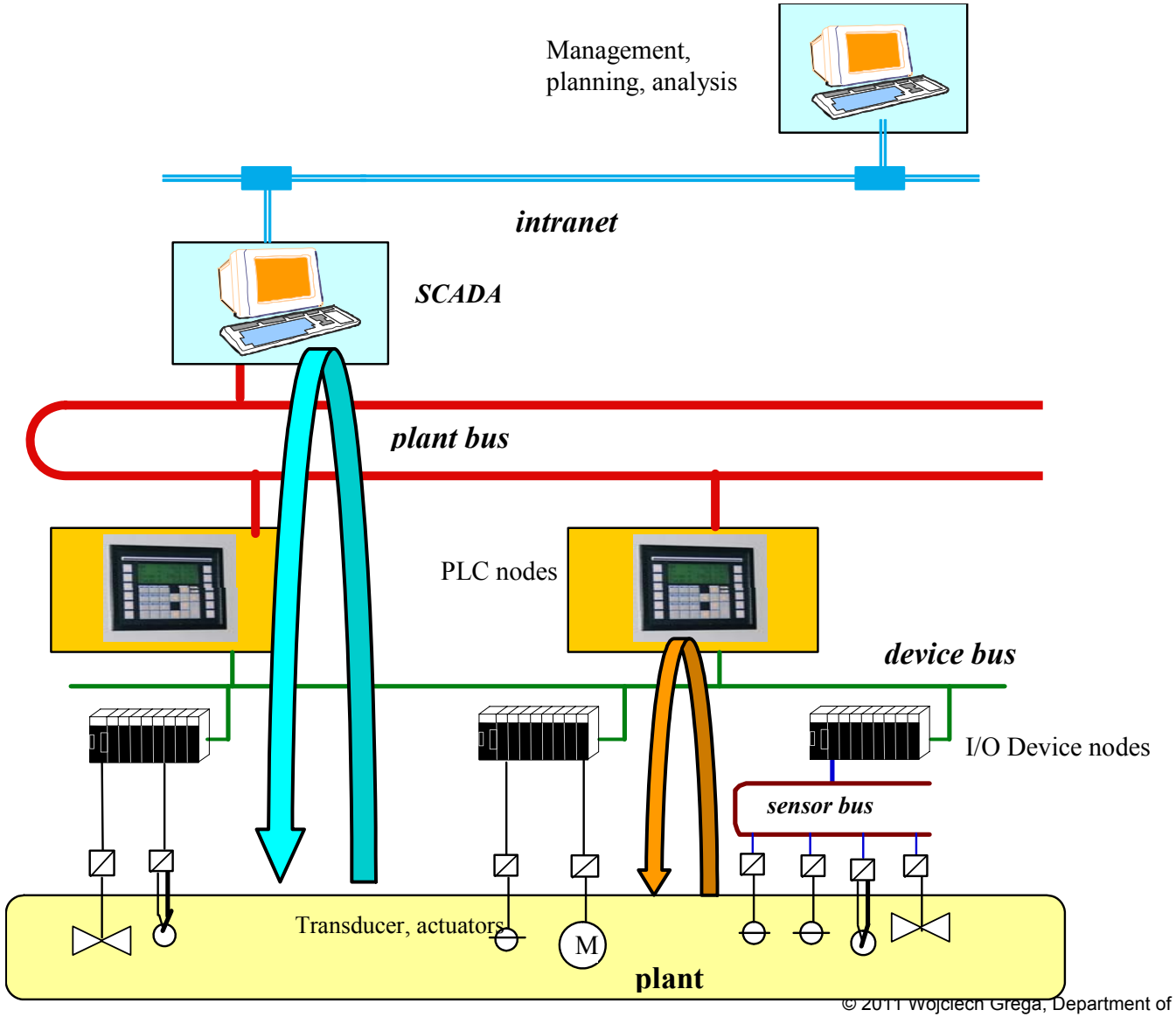
# Inny przyklad




© 2011 Wojciech Grega, Department of Automatics, AGH-UST

# Typowa struktura przemysłowego ukladu sterowania

Wielowarstwowa struktura hirerachiczna z poziomym i pionowym przepływem danych




© 2011 Wojciech Grega, Department of Automatics, AGH-UST

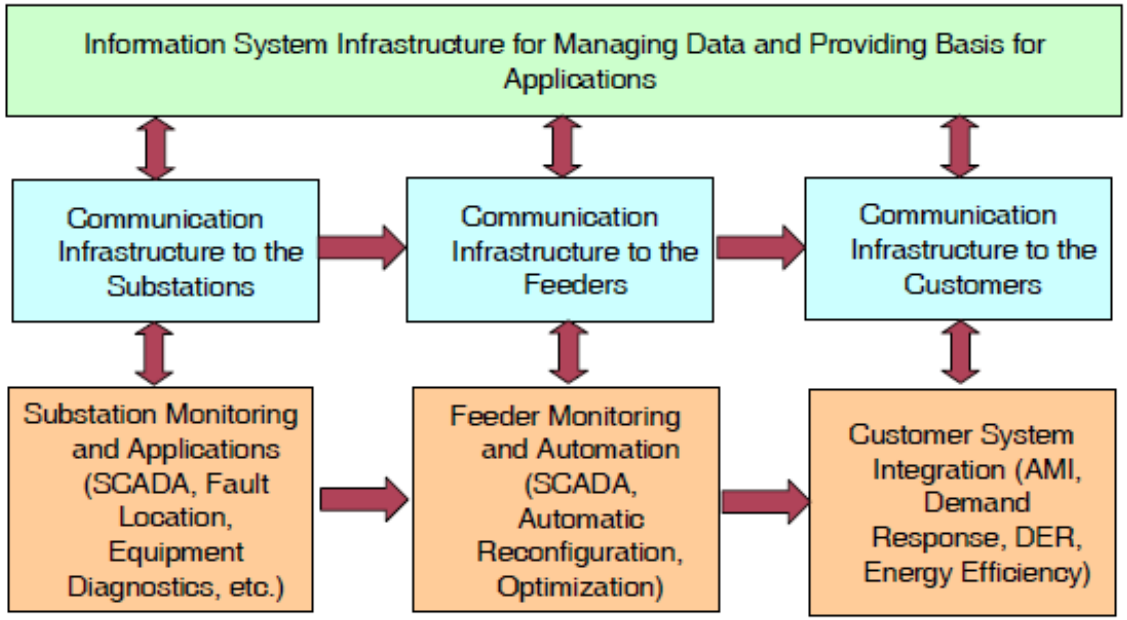



Fig. 7. Implementation of Integrated Grid Communications and Information systems to support automation at different levels of the system.

Source: *Utility Experience with Developing a Smart Grid Roadmap*

M. McGranaghan, *Senior Member IEEE,* D. Von Dollen, *Senior Member IEEE,*
P. Myrda, *Senior Member, IEEE,* E. Gunther, *Senior Member, IEEE*

**Tradycyjnie, stosuje się podział produkcji, transportu i dystrybucji energii ze względu na jej rodzaj (energia elektryczna, cieplna) lub też według źródeł jej pochodzenia (generatory parowe, turbiny wodne, wiatrowe itd.). Należy jednak podkreślić, że z punktu widzenia metod sterowania i monitorowania - generalnie metod automatyki i informatyki przemysłowej - podział ten nie jest istotny. Projektanta systemu automatyki interesuje przed wszystkim przepływ informacji: liczba zmiennych procesowych, ich charakter (ciągłe – analogowe czy też dyskretne - cyfrowe?), ich dynamika (czy są to sygnały szybko czy wolnozmienne?) oraz kryteria jakości dla algorytmów sterowania (np. sterowanie w stanach zakłóceniowych czy bezzakłóceniowych sytemu energetycznego?).**

Struktury systemów sterowania, algorytmy przetwarzania danych, stosowane standardy informatyczne, protokoły transmisji danych **będą podobne**, niezależnie od tego, czy rozważany jest system automatyki dla obsługi sieci energetycznej, czy też sterowania rozległym system grzewczym.

W jednym i drugim przypadku **kluczowymi elementami takich projektów są**:

- rozproszone układy pomiarowo-sterujące, tworzące węzły wyposażone w lokalną inteligencję,
- sieci transmisji danych, wspierane przez standardowe prot czasie rzeczywistym,
- nadrzędne systemy monitorowania i sterowania, w tym sy
- systemy realizujące zaawansowana analizę i przetwarzani
- narzędzia informatyczne dla integracji podsystemów.

**Różnice:**

• ilość przetwarzanej informacji

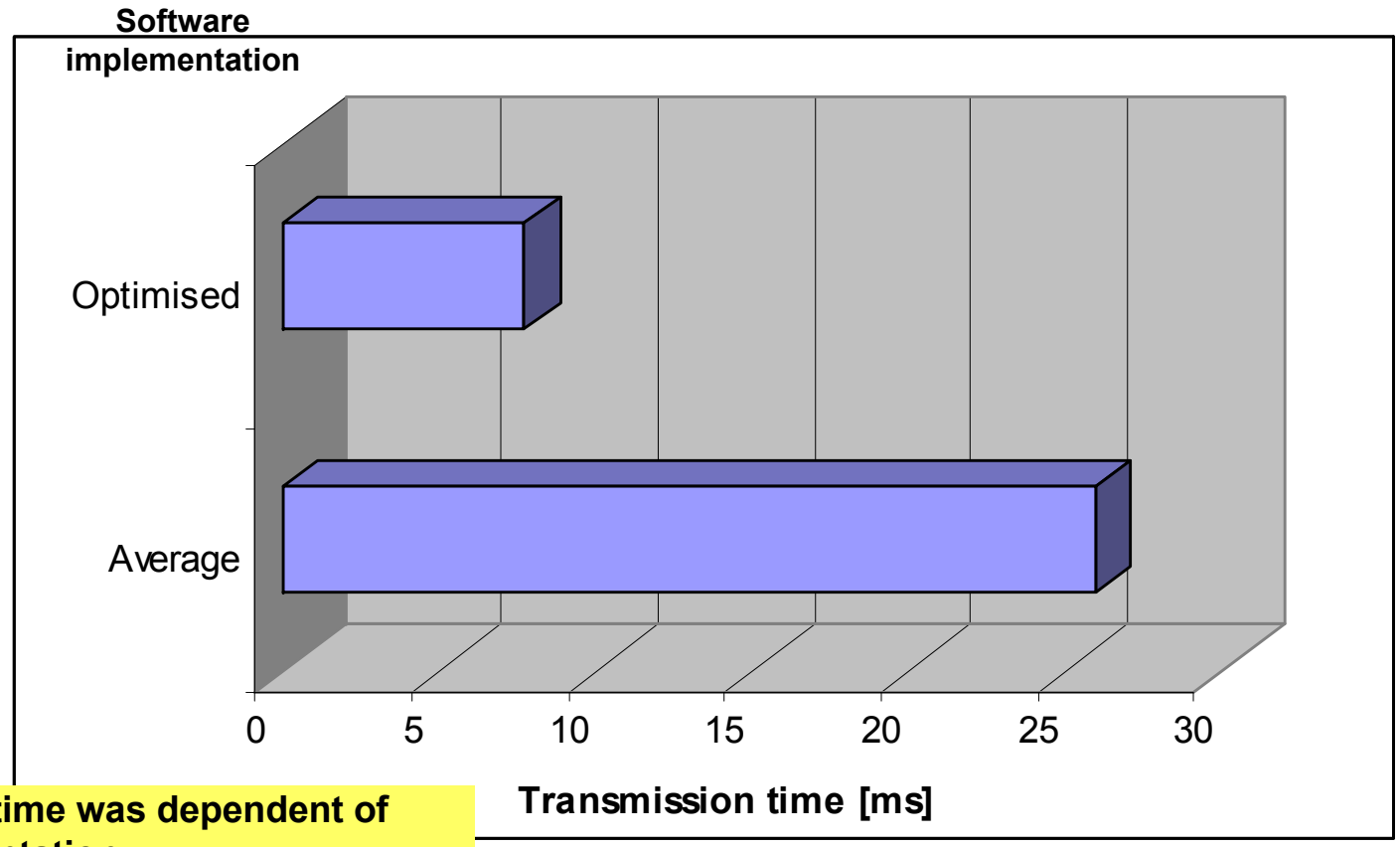
• wymagane czasy reakcji (dynamika procesów) – czasy przetwarzania w węzłach, dopuszczalne opóźnienia transmisji

• wymagania niezawodnościowe (redundancja, pewność transmisji danych)

• wymagania dotyczącę przetwarzania danych

© 20

# Przykład analizy czasów reakcji

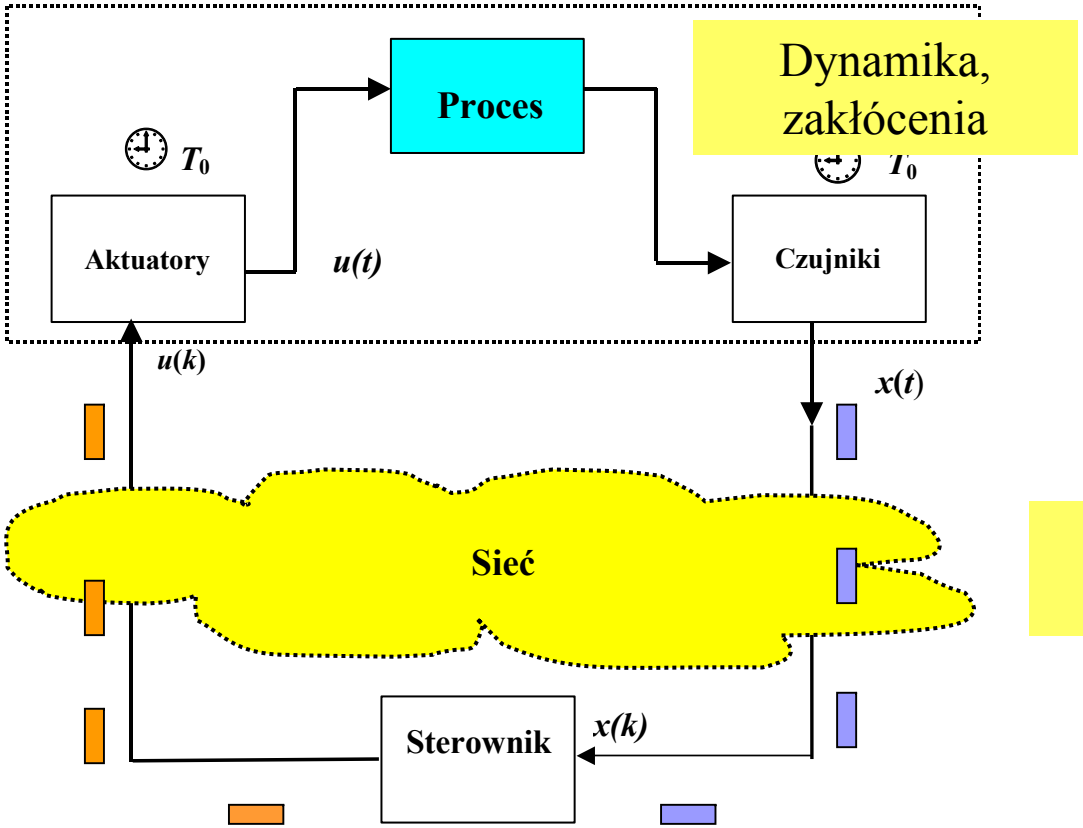



**The transmission time was dependent of software implementation.**

**Bus load or device load had no major effect.**

Source: IEC 61850 INTEROPERABILITY BETWEEN ABB, ALSTOM and SIEMENS STATUS REVIEW November 2002

# Sterowanie rozproszone




© 2011 Wojciech Grega, Department of Automatics, AGH-UST

## Rozproszone systemy sterowania są obecnie rozwiązaniem powszechnie stosowanym we współczesnych układach automatyki

### DLACZEGO?

•Tendencja ta jest wynikiem coraz większej dostępności wydajnych węzłów pomiarowo-sterujących, zawierających interfejsy sieciowe. Liczne zalety takiego rozwiązania i coraz niższe koszty „inteligentnych węzłów" w układach automatyki spowodowały ewolucję systemów sterowania ze struktury multiplekserowej do sieciowej.

### ALE:

• Rozproszone rozwiązania automatyki stawiają nowe zada projektantom sprzętu, oprogramowania i algorytmów ster

• Rozwiązania rozproszone mogą wnosić do modelu dynam sterowania pewne komplikacje, związane z opóźnieniami t danych lub nawet możliwością utraty danych.

• Zjawiska te trzeba identyfikować, a następnie próbować odpowiedź na pytanie: ile tego typu zakłóceń system sterow tolerować i czy doskonaląc algorytm sterowania nie można niekorzystnych efektów wyeliminować?

•*Przetwarzanie* danych na odporną postać cyfrową odbywa się *blisko źródła* sygnału

•Możliwość tworzenia *rozległych* terytorialnie *układów automatyki* , także mobilnych

•Błędy i *awarie są ograniczone* do pojedynczego węzła

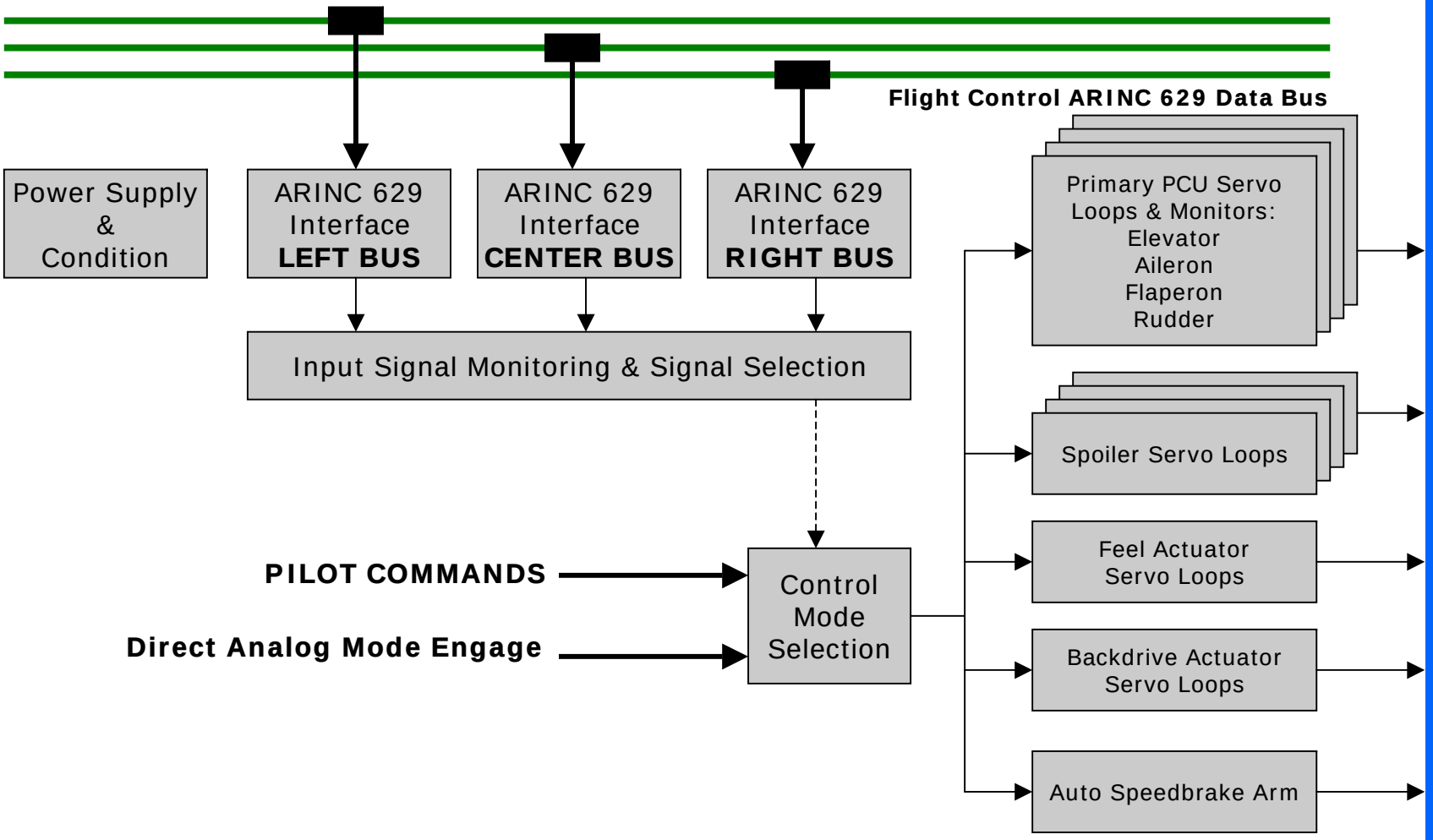
•*Budowa* i uruchamianie systemu automatyki odbywa się etapami, przez *integracje* kolejnych podsystemów

•Łatwa *skalowalność* np. poprzez kopiowanie węzłów

•*Utrzymanie*: możliwość wymiany pojedynczych węzłów, łatwa diagnostyka kanałów transmisji danych

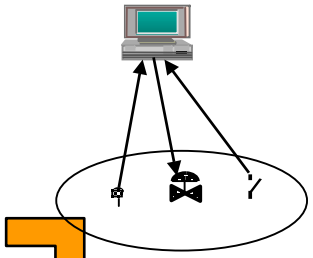
# Przykład 3: B 777

# B777: Actuator Control Electronics

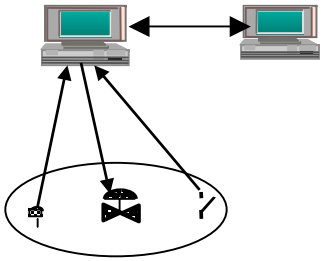


# Ewolucja metod transmisji danych w systemach sterowania

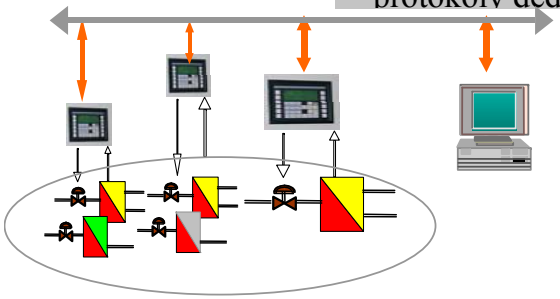
Systemy
**scentralizowane**



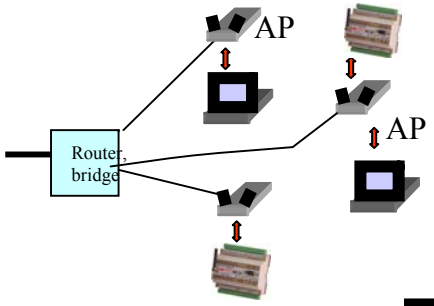
Systemy rozproszone
przewodowe,
**„punkt-do punktu”**



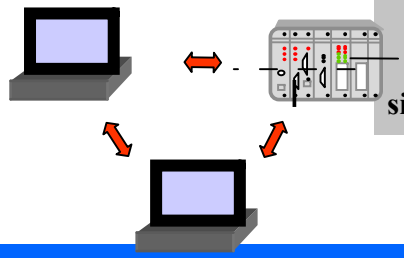
Systemy rozproszone
**przewodowe,**
**magistralowe**,
protokoły dedykowane



Systemy rozproszone
**przewodowe,**
**magistralowe,**
**protokoły otwarte**

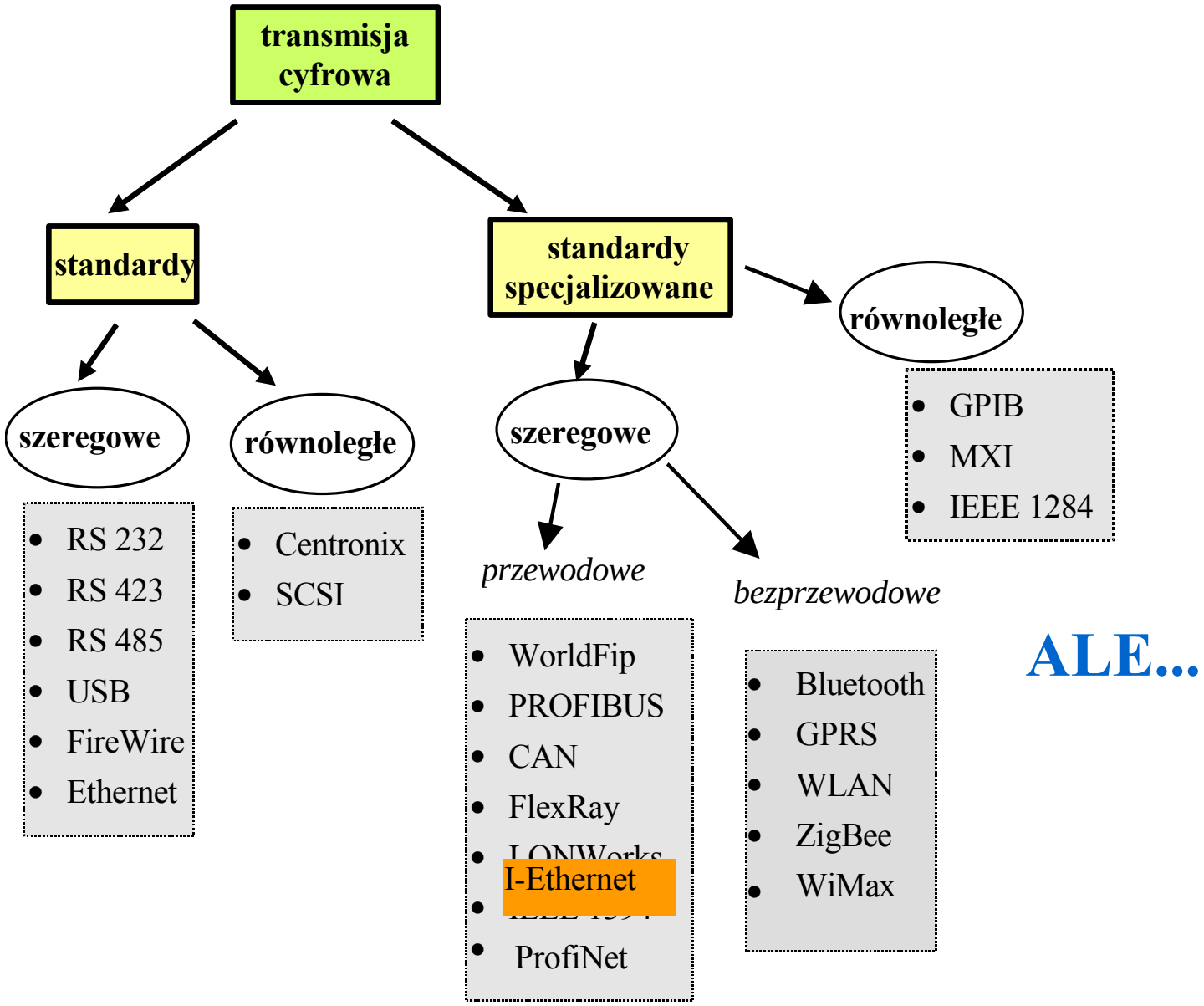



Systemy rozproszone
**bezprzewodowe**
protokoły otwarte,
**topologia ustalona**



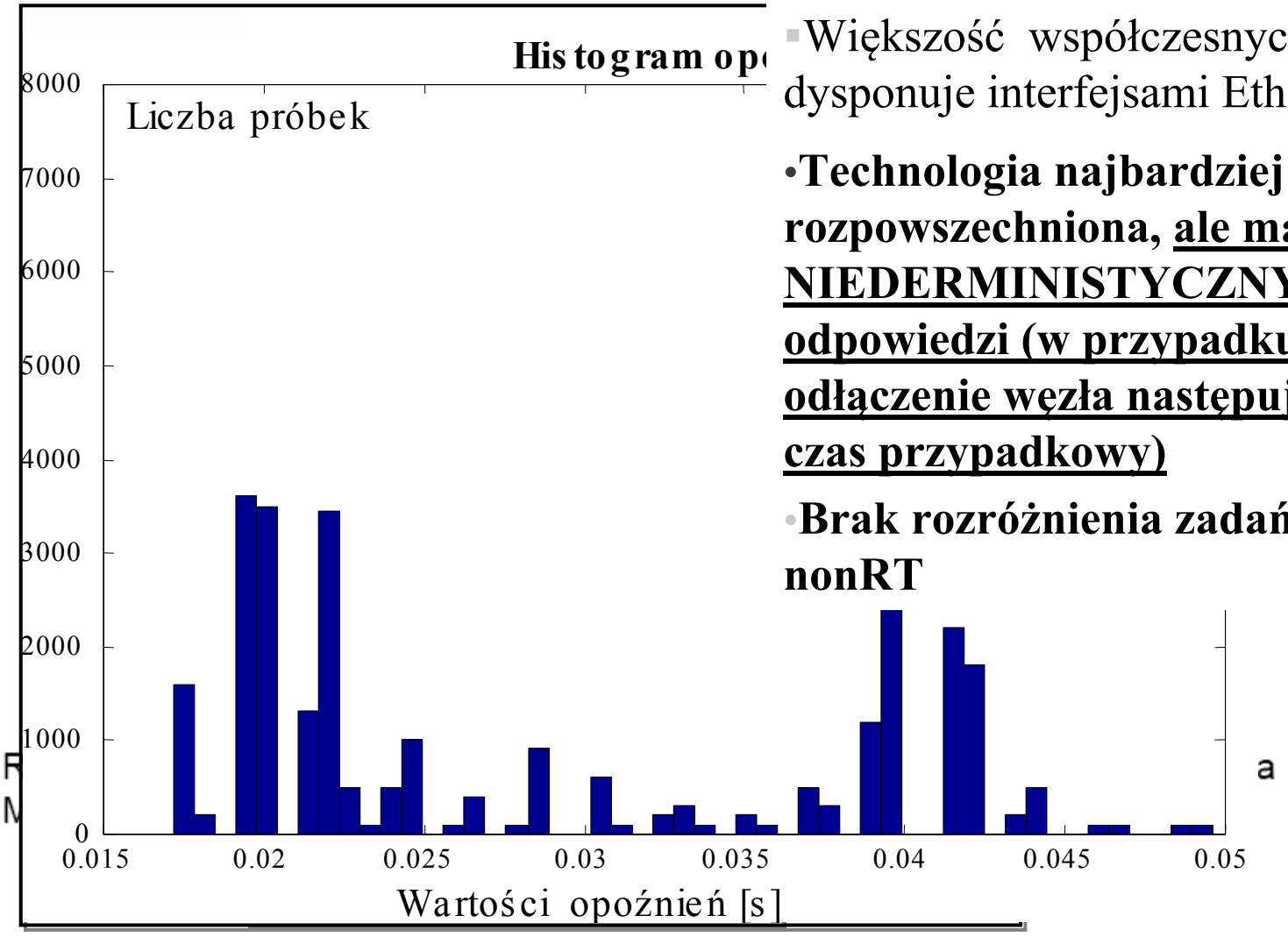
Systemy rozproszone
**bezprzewodowe**
protokoły otwarte,
**sieci samoorganizujące się**

# Różnorodność protokołów transmisji




**ALE...**

## Sieć Etherne




- Jest to jedna z najstarszych przemysłowych technologii LAN
- Większość współczesnych PLC dysponuje interfejsami Ethernet
- **Technologia najbardziej rozpowszechniona, <u>ale ma NIEDERMINISTYCZNY czas odpowiedzi (w przypadku kolizji odłączenie węzła następuje na czas przypadkowy)</u>**
- **Brak rozróżnienia zadań RT i nonRT**

# Odporne układy sterowania rozproszonego

Odporność uzyskujemy poprzez:

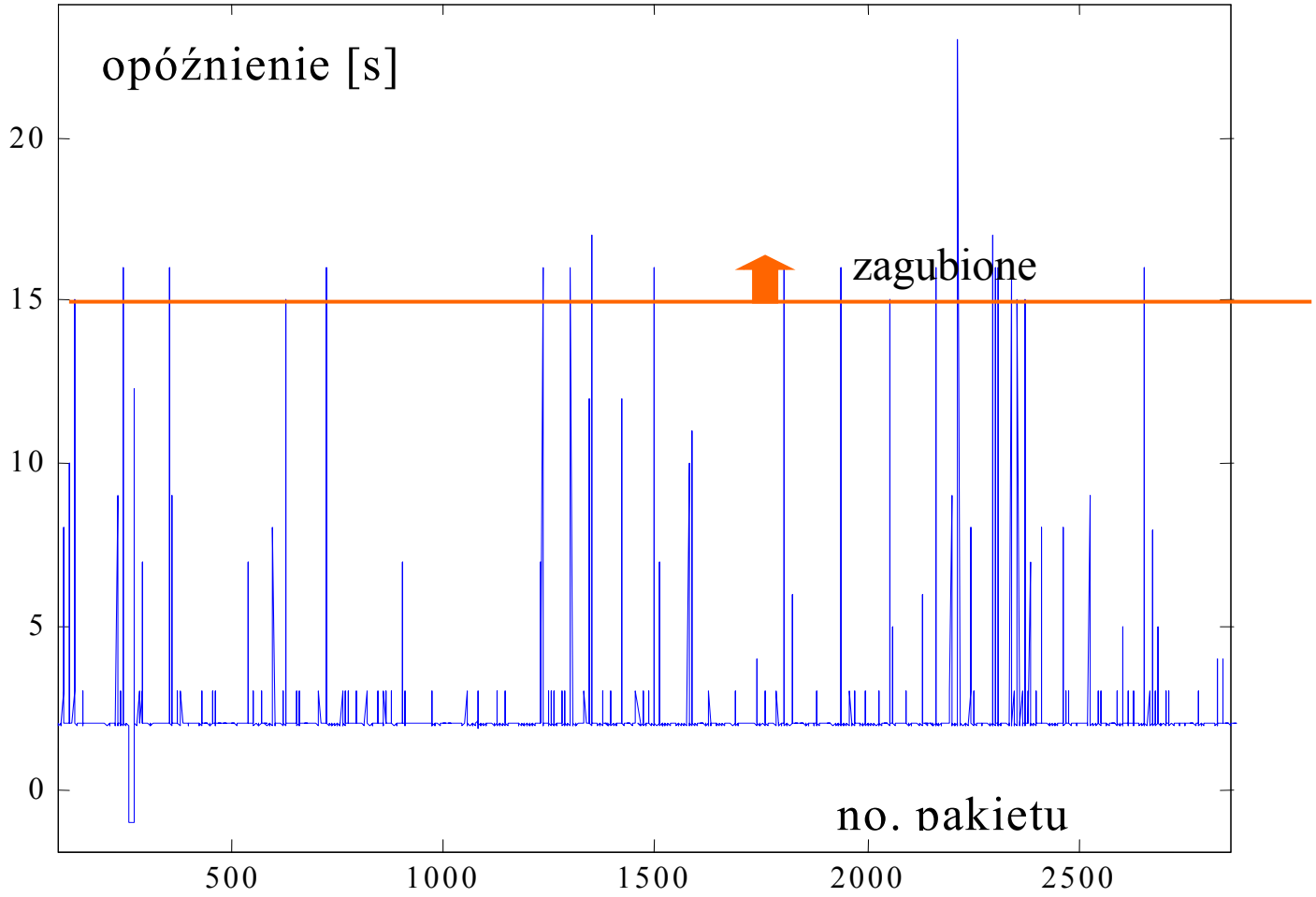
• odpowiednią konfigurację sprzętową i topologię

•zwiększanie przepustowości sieci transmisji danych,

• **modyfikację protokołów transmisji**: poprawa determinizmu, protokoły spełniające warunki czasu rzeczywistego

• **algorytmiczną kompensacja efektów wnoszonych przez sieć** - czyli **redukcję zależności** pomiędzy elementami układu sterowania**.**

# Rozwiązania rozproszone mogą wpływać na model dynamiki układu sterowania



# Ethernet czasu rzeczywistego

Proponowane usprawnienia to:

- wydzielenie sieci Ethernet wyłącznie do celów sterowania,
- ograniczenie opóźnień i zwiększenie przepustowości poprzez podnoszenie szybkości transmisji (100 Mb/s, 1Gb/s),
- poprawa determinizmu (ograniczenie domen kolizji) poprzez wprowadzenie przełączników, czyli urządzeń umożliwiających chwilowe zestawienie dedykowanego połączenia „punkt-do-punktu”,
- wykorzystanie szybszej wersji protokołu UDP/IP zamiast TCP/IP,
- modyfikacje protokołu: rozróżnienie przesyłu danych realizowano w czasie rzeczywistym, od przepływów nie wymagających spełnienia tego warunku (np. priorytetyzacja pakietów - norma IEEE 802.1p)

# Przegląd technologii

- CC Link IE
- Drive CliQ
- EPA
- EtherCAT
- EtherNet/IP + CIP Sync
- Ethernet Powerlink
- IEEE 1588 / PTP
- JetSync
- Modbus RTPS
- Mechatrolink III

- PowerDNA
- Profinet
- RAPIEnet
- RTEX
- SafetyNET p
- SERCOS III
- SynqNet
- TCnet
- Varan
- Vnet/IP
- IEC 61850

Source: http://www.real-time-ethernet.de/

# Przegląd technologii

- EPA
- EtherCAT
- EtherNet/IP + CIP Sync
- Ethernet Powerlink
- IEEE 1588 / PTP
- 
- Modbus RTPS

- Profinet
- RAPIEnet
- 
- 
- SERCOS III
- 
- TCnet
- 
- Vnet/IP
- IEC 61850

Source: http://www.real-time-ethernet.de/

International Standard

# Przegląd technologii

- EtherCAT
- EtherNet/IP + CIP Sync
- Ethernet Powerlink
- 
- 
- Modbus RTPS

- Profinet
- 
- 
- 
- SERCOS III
- 
- TCnet
- 
- Vnet/IP
- IEC 61850

Source: http://www.real-time-ethernet.de/

User Organization

# Przegląd technologii

- EtherCAT
- EtherNet/IP + CIP Sync
- Ethernet Powerlink

- Profinet
- SERCOS III
- IEC 61850

Source: http://www.real-time-ethernet.de/

High-Performance

# **Ethernet czasu rzeczywistego**: norma IEC 61 784-2

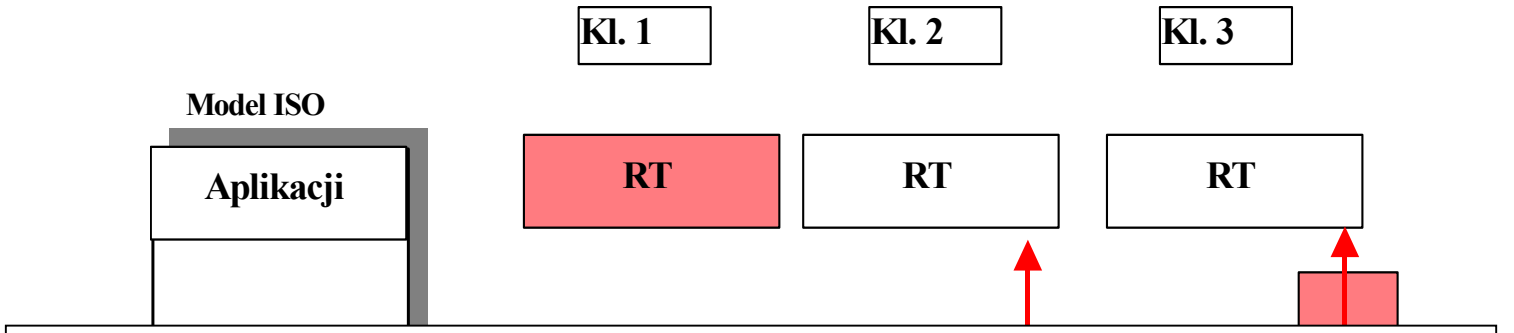



Tabela.2. Parametry sieci ProfiNet

| **typ ruchu** | opóźnienie (*latency*) | niepewność (*jitter*) |
|---|---|---|
| **Nie RT**[*)] | ≥ 100ms | ≥ 100% |
| **RT Class 1** | ≥ 5ms | ≥ 15% |
| **RT Class 2** | ≥ 250 μs | ≥ 0.4% |

* RT – Real Time

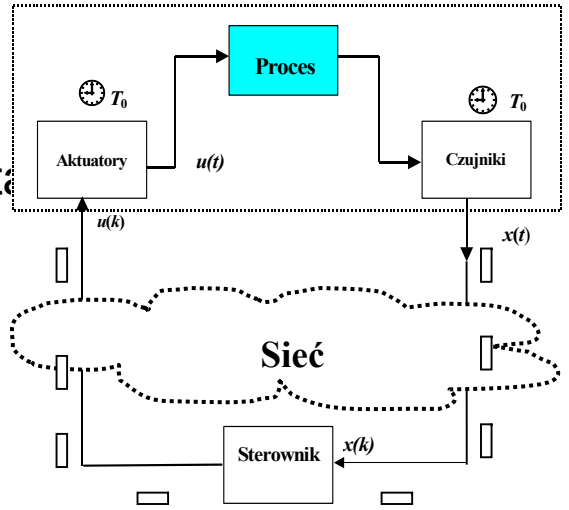
**$\tau < 100$ ms** **$\tau < 10$ ms** **$\tau < 1$ ms**

# Algorytmy sterowania rozproszonego : redukcja zależności pomiędzy elementami układu sterowania rozproszonego

Algorytmy pasywne. Nie zawierają dodatkowych modyfikacji lub rozszerzeń uwzględniających rozproszony charakter aplikacji. Projektuje się system sterowania zaniedbując jego rozproszony charakter, a następnie analizuje się wpływ rozproszenia w różnych aspektach próbując uzyskać odpowiedź na pytanie: czy poprzez strojenie parametrów algorytmu sterowania nie można układu uodpornić?

Algorytmy aktywne. Zawierają dodatkowe modyfikacje lub rozszerzenia uwzględniające rozproszony charakter aplikacji. Wśród nich wymienimy:

- Ograniczające ruch w sieci (np. grupujące próbki),
- Poprawiające determinizm (np. poprzez buforowanie),
- Odtwarzające opóźnione lub stracone dane na podst (MRC, obserwatory stanu).



# Projektowanie odpornego algorytmu sterowania dla układu rozproszonego

- wybór modelu dynamiki rozproszonego układu sterowania i identyfikacja jego parametrów (w tym identyfikacja efektów wnoszonych przez sieć),
- oszacowanie maksymalnych opóźnień, udziału traconych danych i innych parametrów kanału transmisji danych wpływających na jakość sterowania,
- Strojenie regulatorów lub modyfikacja algorytmów sterowania, symulacyjne testowanie wpływu efektów wnoszonych przez sieć na jakość sterowania.

# Modele układów sterowania rozproszonego

- są opisywane równaniami różnicowymi (liniowymi, nieliniowymi), których postać zależy od założeń dotyczących modelu dostępu do medium komunikacyjnego

- podstawowym czynnikiem komplikującym model są opóźnienia wprowadzane przez sieć, które mogą być klasyfikowane jako:
  - zdeterminowane,
  - losowe,
  - niepewne.

- Są wspierane przez specjalistyczne pakiety symulacyjne (*TrueTime*), dostarczające biblioteki do symulacji protokołów transmisji

# Technologie węzłów automatyki

Real-time control computers with RTOSs are applied as:

- Embedded Systems, when the computer becomes a component of a larger system,
- Industrial Control Systems, when the computer creates a self-contained control configuration.

Table 2.1. Industrial RT solutions

| Hardware platform | Minimal cycle**) | Examples of RTOS |
|---|---|---|
| Microcontrollers | 10- 50 μs | - |
| DSP controllers | 1 μs | dSPACE |
| PLC | 1-20 ms | dedicated |
| | | |
| FPGA controllers | 10 μs | EDA |
| VME industrial controllers | 100 μs | QNX, VxVorks |
| IPC*) | 100 μs | Extended Windows, RTLinux |

*) industrial PC, **) time interval between input reading and output signal generation

© 2011 Wojciech Grega, Department of Automatics, AGH-UST

- FPGA (Field Programmagle Gate Array) to:
  - zestaw sekwencyjnych oraz kombinacyjnych elementów logicznych (tj. przerzutników i bramek)
  - układu
  - enty
  - owy

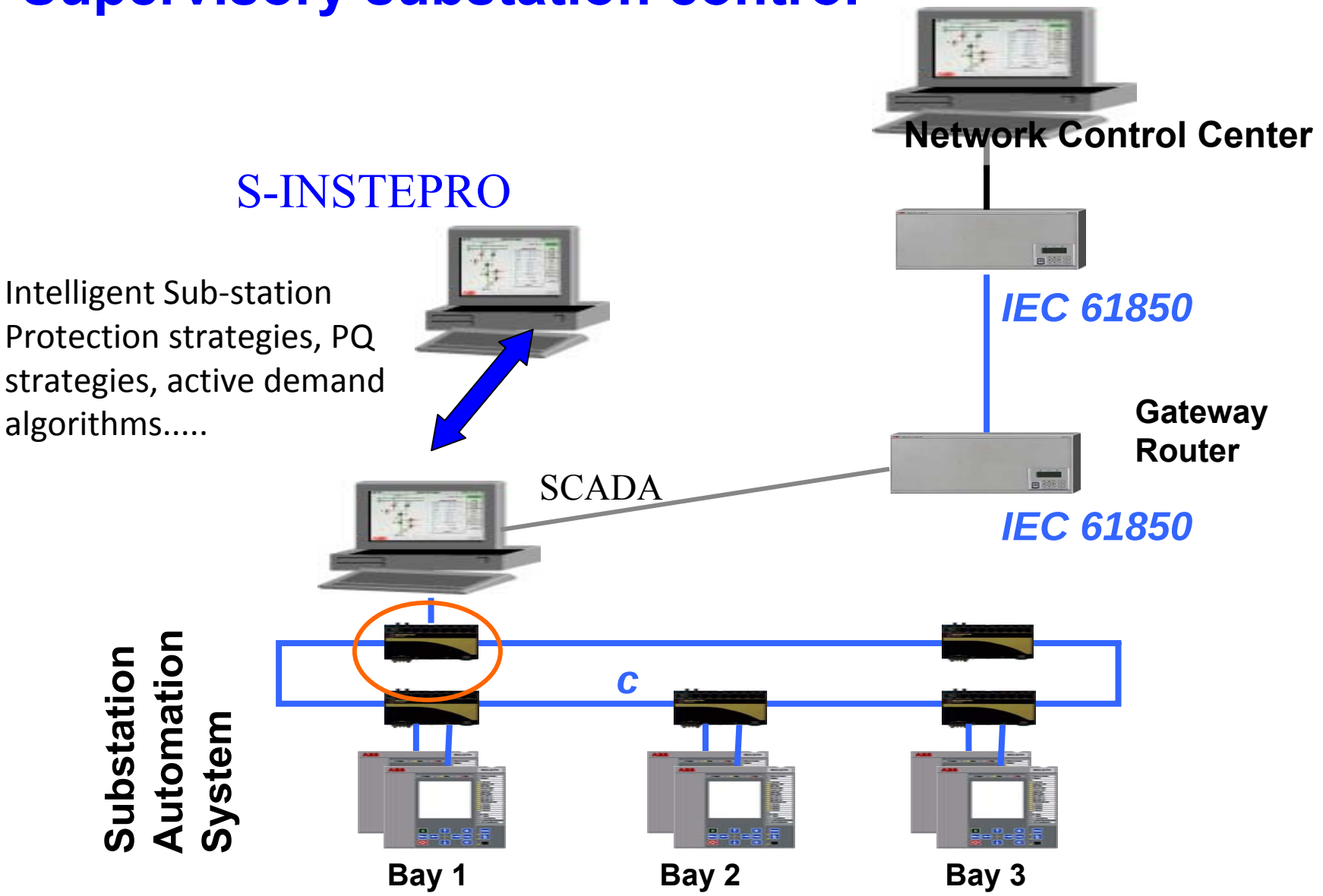
mikrokontroler wymaga tysięcy bramek), liczba wyprowadzeń po wykorzystania przez użytkownika >500, czas propagacji pojedynczej komórki <1ns

- **Funkcje elementów składowych układu FPGA nie są określone przez producenta lecz przez użytkownika układu**
- Programowanie w językach opisu sprzętu (VHDL) o strukturze podobnej do języka ADA

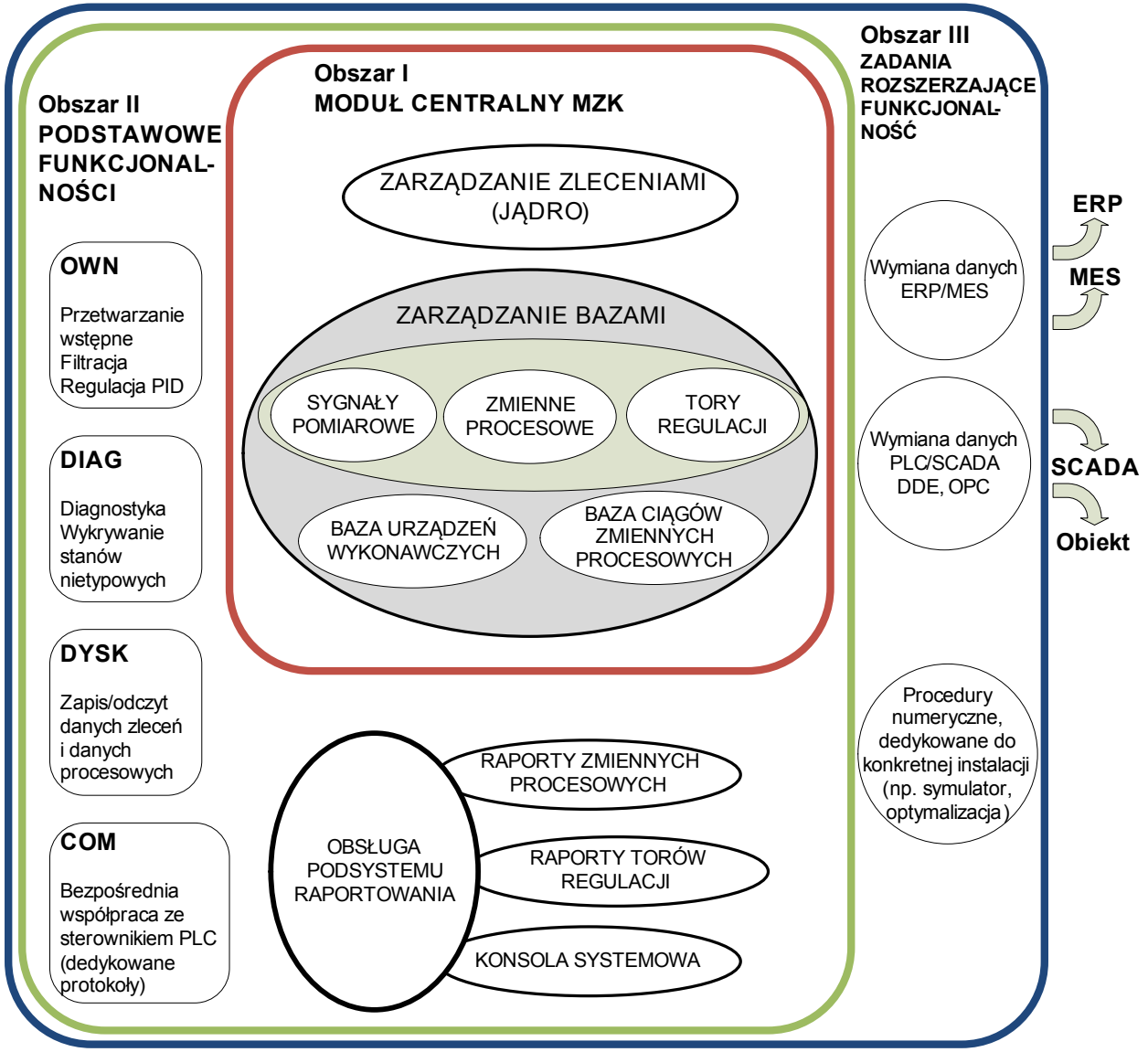
●Regulatory o czasach wyliczania sterowania na poziomie nanosekund, np.

–PID o czasie liczenia wyjścia równym 13ns

# Supervisory substation control



# Sterowanie nadrzędne




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

INSTEPRO: Zintegrowany System

Sterowania Produkcją, cz.1 Maciej Klemiato, Jacek Augustyn, Jan T. Duda

# Dziękuje!

**wgr@ia.agh.edu.pl**