

Metody Systemowe i Decyzyjne

<https://dlaczegologia.pl/>



Wykład 1. Model w badaniach systemowych. Wstęp – pojęcia podstawowe

Prof. zw. dr hab. inż. Jerzy Świątek
pokój 120, budynek C-3

Poniedziałek parzysty godz. 7⁰⁰-9⁰⁰
Poniedziałek godz. 12⁰⁰-13⁰⁰ w trybie zdalnym
Środa godz. 11⁰⁰-13⁰⁰



Godziny konsultacji

Egzamin

☞ Metody systemowe i decyzyjne

☞ Termin 0 – ostatni wykład:

☞ 24.06.2026 (środa) sala 41, bud. C-4, godzina 7³⁰-9⁰⁰

☞ Termin 1:

☞ 1.07.2026 (środa) sala 41, bud. C-4, godzina 7³⁰-9⁰⁰

☞ Termin 2:

☞ 8.07.2026 (środa) sala 41, bud. C-4, godzina 7³⁰-9⁰⁰

Termin „zero” - zasady

- o Pozytywne aktualne (tegoroczne) zaliczenie form pomocniczych ≥ 3.0
- o Propozycja oceny – wartość średnia z części całkowitej sumy ocen form pomocniczych

$$\text{tj.: propozycja oceny} = \frac{[\text{ćwiczenia} + \text{laboratoria}]}{2} \geq 3.5$$

- o Obecność na ostatnim wykładzie
- o Nieobecni (bez względu na przyczynę) rezygnują ze zwolnienia
- o Można wcześniej ale nie po terminie 0. Należy przedstawić potwierdzoną ocenę.

Osoby, które mają zaliczenie form pomocniczych z ubiegłych lat proszę o przedstawienie udokumentowanej oceny przed terminem „zero”

Wstęp – pojęcia podstawowe

- ⌘ Zakładane efekty kształcenia
- ⌘ Badania systemowe
- ⌘ Model w badaniach systemowych
- ⌘ Przegląd treści wykładu
- ⌘ Literatura

Zakładane efekty kształcenia

Wiedza

- *Student zna i rozumie podstawowe pojęcia, prawidłowości i problemy podejścia systemowego przydatnego do formułowania i rozwiązywania zadań modelowania, zarządzania i sterowania procesami. Zatem należy*
 - *uświadomić sobie możliwości obiektywnej, systemowej analizy zjawisk o różnej naturze,*
 - *wybrać metodę i opisać obserwowany proces, obiekt, zjawisko,*
 - *rozpoznać stan badanego procesu, obiektu, zjawiska,*
 - *opisać problem decyzyjny dotyczący badanego procesu, obiektu, zjawiska.*

Umiejętności

- *Student potrafi sformułować zadanie modelowania systemu, procesu, zjawiska na bazie analizy procesów, sformułować i rozwiązać zadania wspomagania decyzji oraz dokonać analizy efektywności badanego systemu.*
- *Student potrafi przeprowadzić analizę krytyczną wyników rozwiązań.*
- *Student potrafi zastosować podejście systemowe do sformułowania zadania projektowania systemów.*

Kompetencje społeczne

- *Student posiada kompetencje interpretacji wyników rozwiązań uzyskanych metodą analizy systemowej językiem zrozumiałym dla osób nie będących specjalistami w danej dziedzinie. Student rozumie możliwość zastosowania podejścia systemowego w różnych dziedzinach.*

Co to jest system?

∞ Pojęcie system

- nauka, technika, kultura, publicystyka, życie społeczne (system polityczny, etyczny, filozoficzny)

∞ Systemy naturalne

- Kosmiczne
- Geotektoniczne
- Klimatyczne
- Biologiczne
- Społeczne
- inne

Co to jest system?

✧ Systemy abstrakcyjne

- Etyczne
- Filozoficzne
- Religijne
- Kulturalne
- Prawne
- Polityczne
- inne

✧ Systemy intelektualne

- Badawcze
- Projektowe
- Obliczeniowe
- Ekspertowe
- inne

Analiza systemowa

- ⌘ Systemy poznawcze
 - Kreowanie wiedzy
 - Rozwiązywanie problemów
 - Nowe przedsięwzięcia
- ⌘ Społeczno - polityczne
 - Administracyjne
 - Samorządowe
 - Etyczne
 - Polityczne

Co to jest system?

⌘ Systemy gospodarcze

- Produkcyjne
- Usługowe
- Administracyjne
- inne

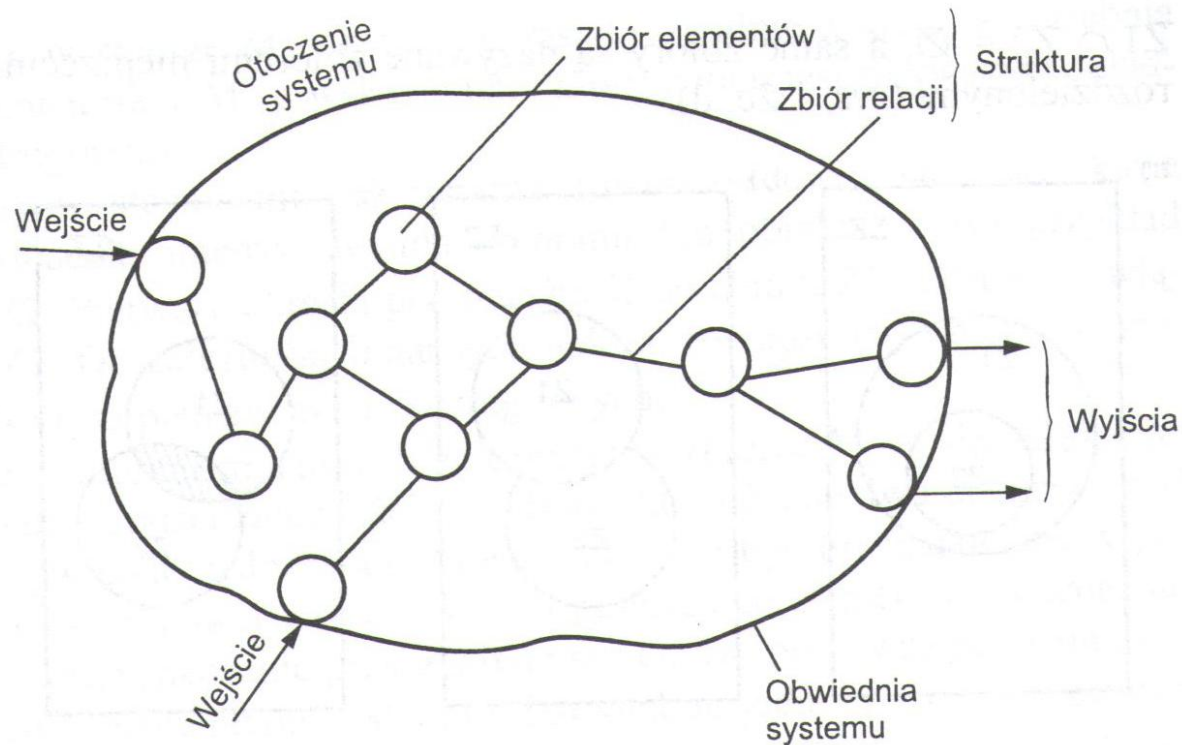
⌘ Systemy Techniczne

- Mechaniczne
- Elektryczne
- Budowlane
- Transportowe
- inne

Co to jest system?

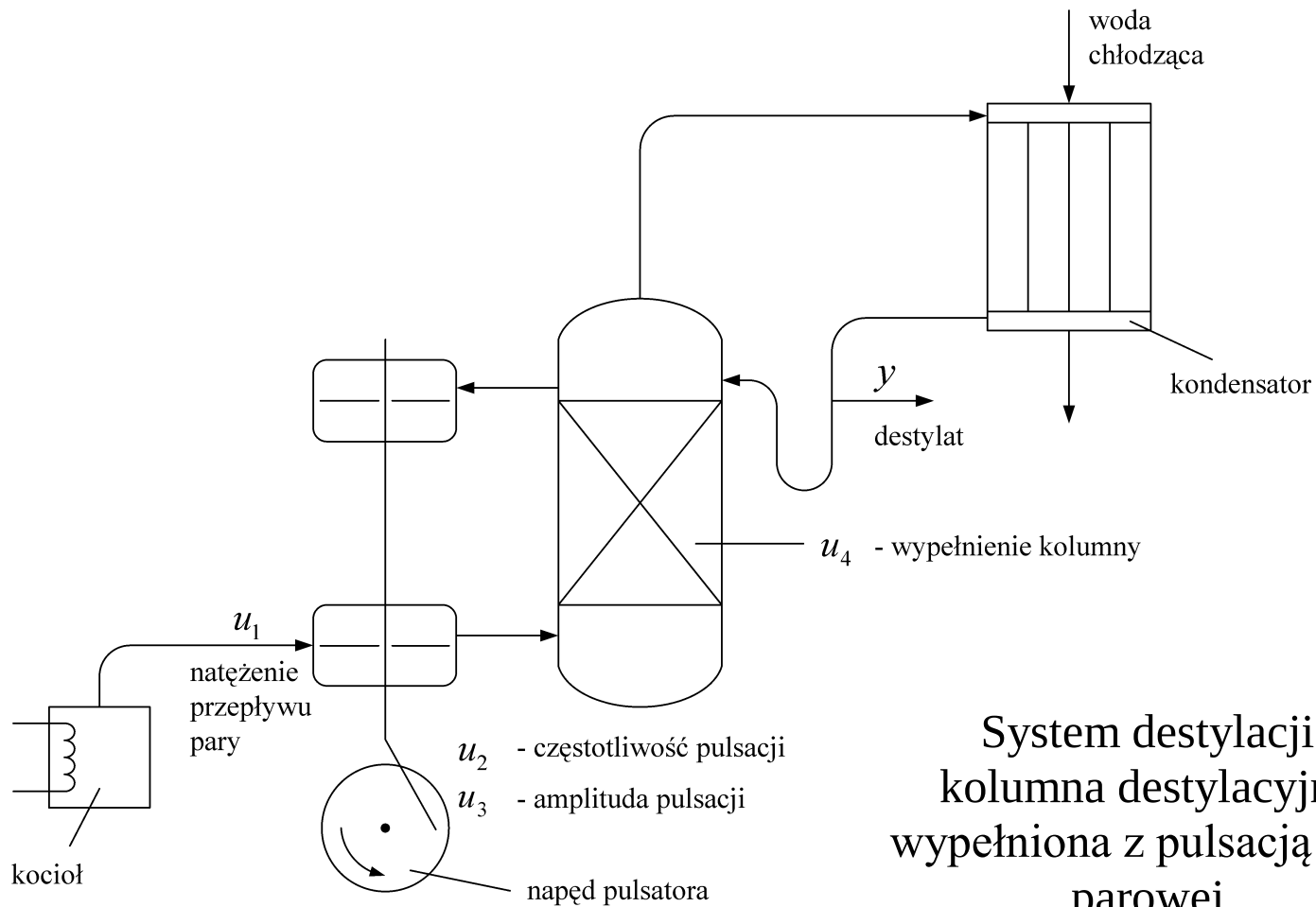
- ⌘ **System** to byt przejawiający istnienie przez synergiczne współdziałanie swych części.
- ⌘ **System** to zbiór (zespół, kompleks) współdziałających ze sobą elementów, stanowiący celowo zorientowaną jedną całość. Elementy systemu posiadają pewne właściwości lub atrybuty oraz znajdują się w określonych relacjach (związkach) między sobą.
- ⌘ **System** to byt będący zbiorem elementów z określonymi właściwościami i relacjami, stanowiący jedną celowościową całość.
- ⌘ **System** to zbiór wzajemnie zależnych elementów pracujących razem dla pewnego wspólnego celu.
- ⌘ **System** jest zbiorem elementów tworzących złożoną całość, związanych zależnościami funkcjonalnymi i posiadającym określony cel (zamysł) np. system transportowy.

Co to jest system?



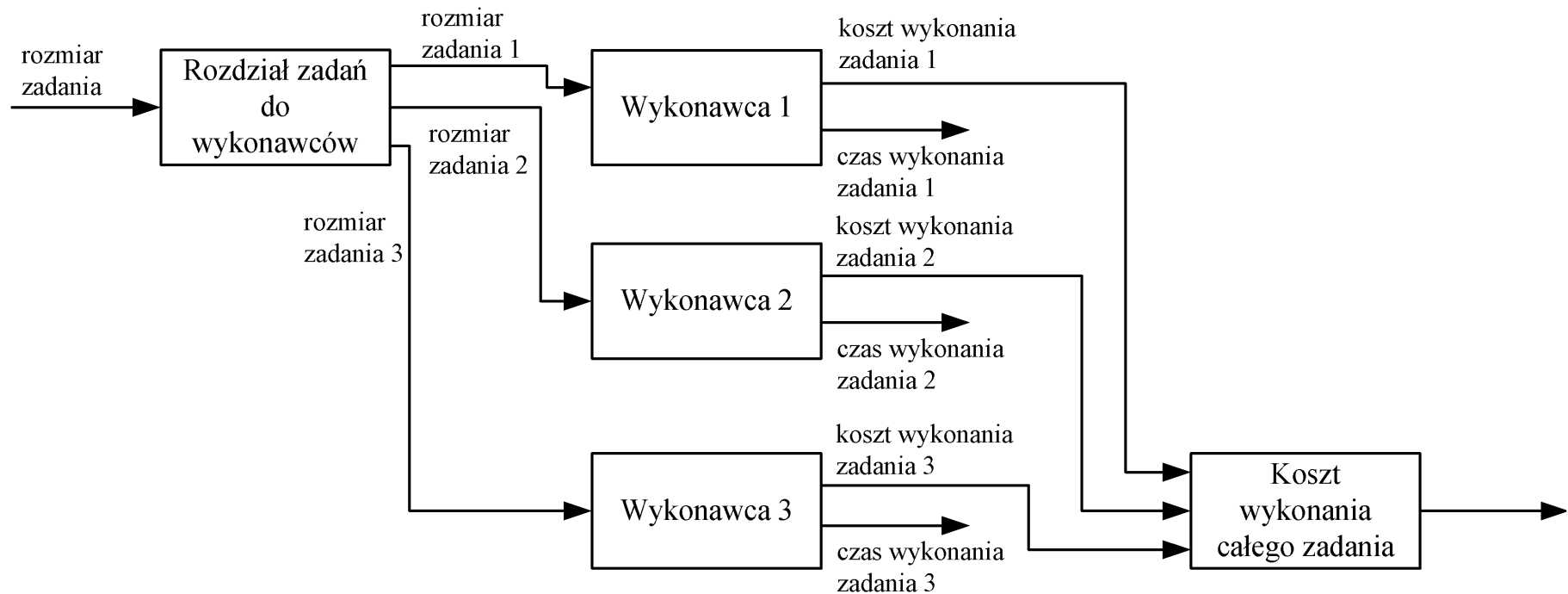
Model systemu

Przykład systemu



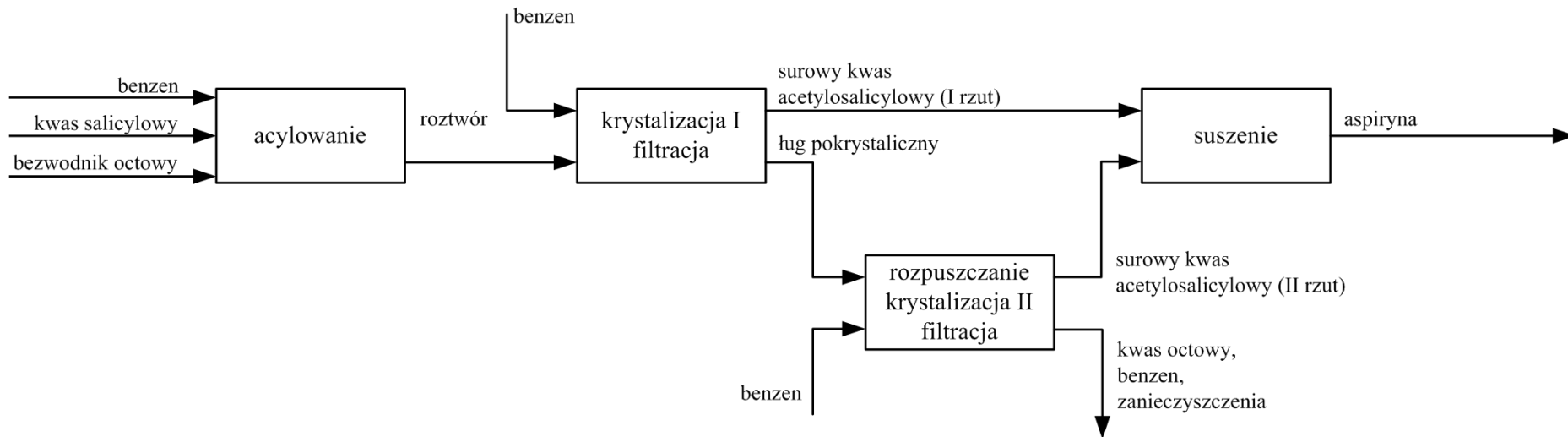
System destylacji
kolumna destylacyjna
wypełniona z pulsacją fazy
parowej

Przykład Systemu



System przydziału zadań

Przykład sytemu



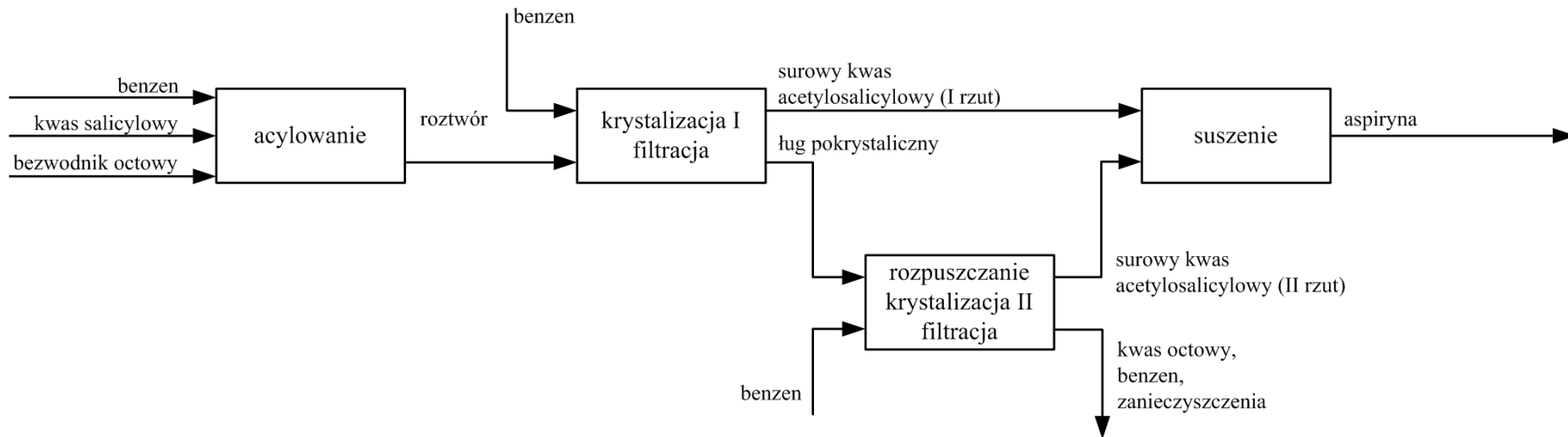
System produkcji aspiryny

Elementy (komponenty) systemu - procesy w systemach

- ✎ **Elementy (komponenty) systemu** - działające części systemu składającego się z wejścia i wyjścia.
- ✎ Elementy mają następujące właściwości:
 - właściwości i zachowanie każdego elementu systemu oddziałuje na właściwości i zachowanie systemu jako całości,
 - właściwości i zachowanie każdego elementu systemu zależy od właściwości i zachowania co najmniej jednego innego elementu systemu,
 - każdy możliwy podsystem ma powyższe właściwości, nie ma możliwości podziału elementów na niezależne podsystemy.

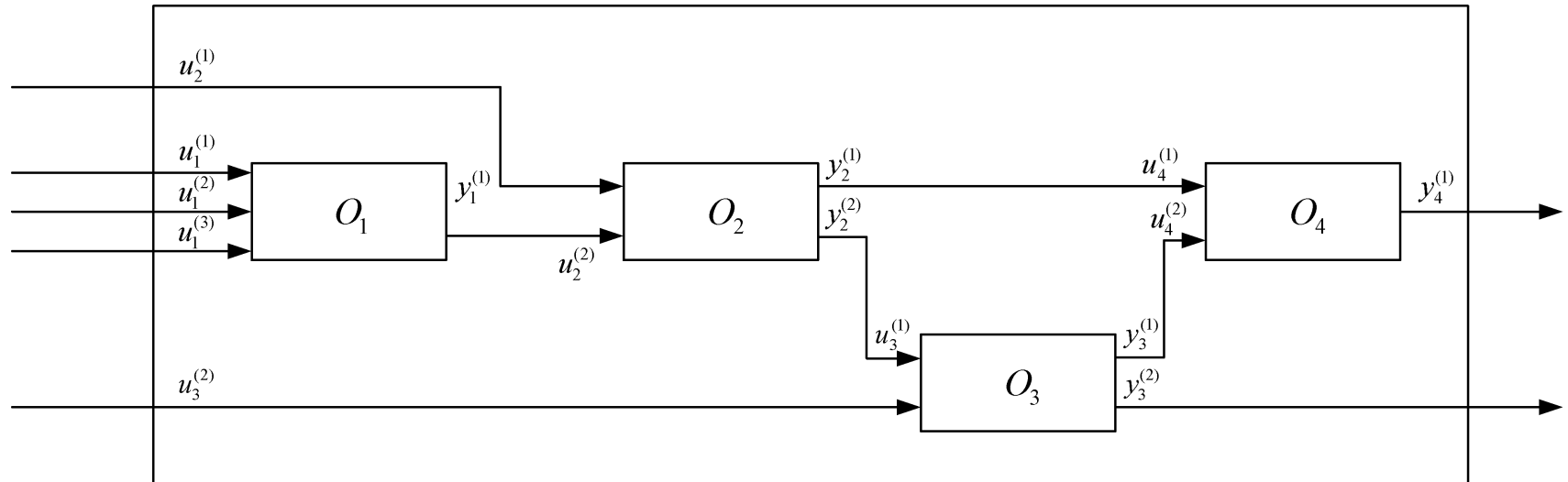
Właściwości te zapewniają, że zbiór komponentów składających się na system, zawsze ma pewną charakterystykę albo zachowanie, które nie może być wykazywane przez jakiś z podsystemów. System to coś więcej niż suma jego komponentów. Elementy systemu same mogą być systemami i każdy system może być częścią większego w hierarchii systemu.

Elementy (komponenty) systemu - działające części



System produkcji aspiryny

Elementy (komponenty) systemu - działające części

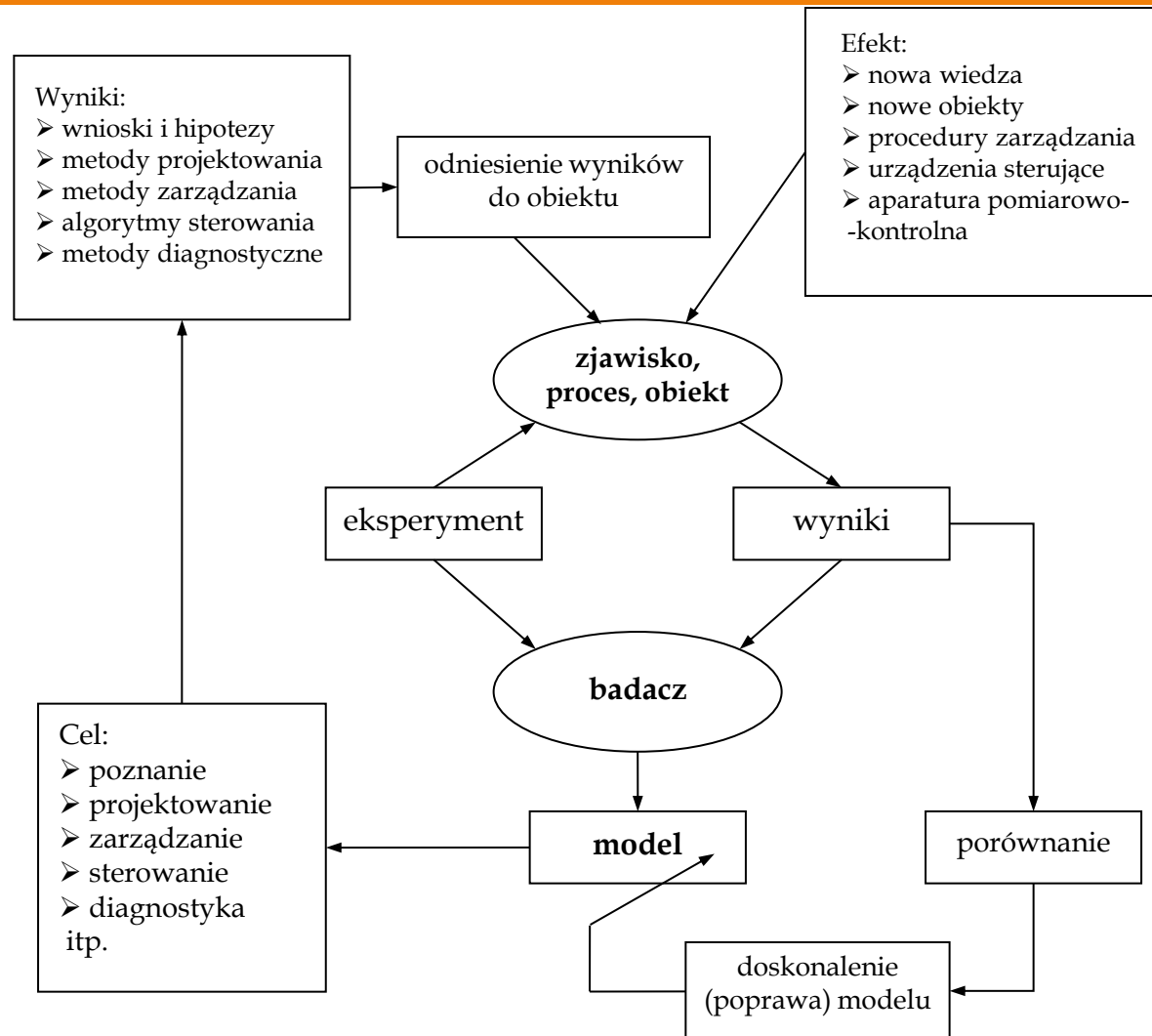


Przykład systemu złożonego – produkcja aspiryny

Analiza systemowa

- ∞ Analiza systemowa – zbiór metod i technik wspomagających analizę, projektowanie, zarządzanie i sterowanie w złożonych sytuacjach
 - Systematyczny sposób analizy złożonych problemów w celu **osiągnięcia określonego celu**
 - Opracowanie propozycji różnych rozwiązań z uwzględnieniem **złożonego celu** oraz wielu kryteriów oceny rozwiązania
 - Wspomaganie decydenta w wyborze optymalnego rozwiązania spośród wielu możliwości

Model w badaniach systemowych

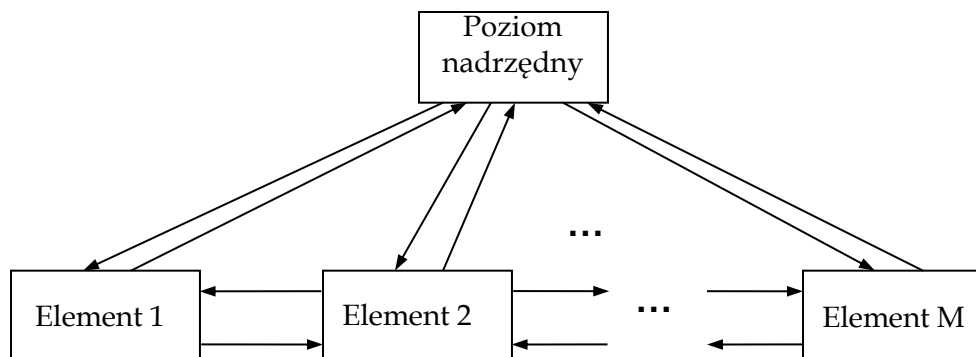


Model w badaniach systemowych

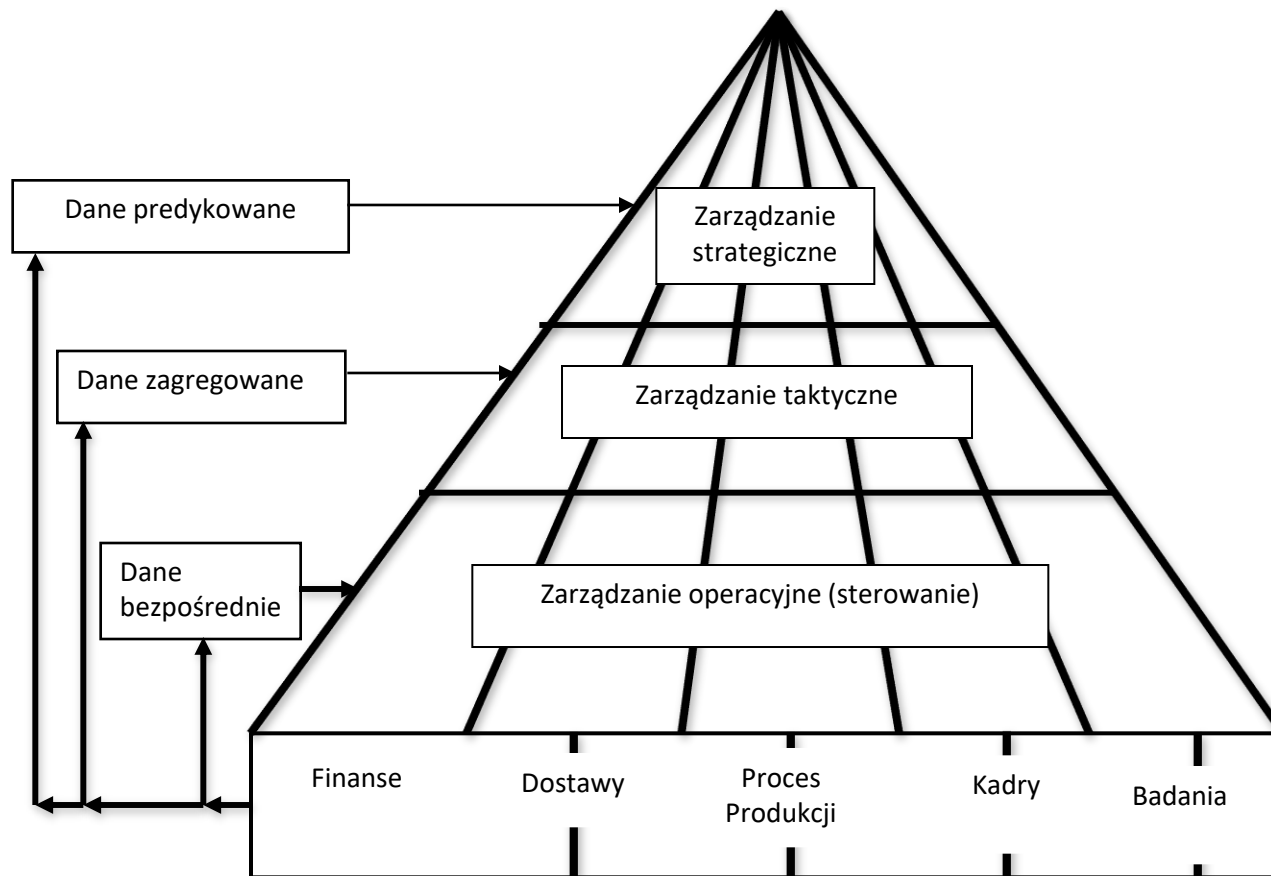
- ∞ Model jest uproszczoną reprezentacją systemu, w czasie i przestrzeni, stworzoną w zamiarze zrozumienia zachowania systemu rzeczywistego
- ∞ Modele konceptualne
- ∞ Modele fizyczne
- ∞ Modele analogowe
- ∞ Modele matematyczne
- ∞ Modele komputerowe

Modele konceptualne

- ✎ Jak system (proces) proces jest zorganizowany?
 - Elementy systemu (procesu)
 - Powiązania pomiędzy elementami
 - Podstawowe funkcje elementów
- ✎ Przykład – dwustopniowy system zarządzania



Modele konceptualne



Modele fizyczne

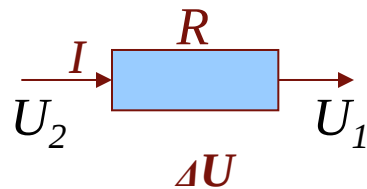
- ∞ Badany proces odzwierciedlony w skali laboratoryjnej – zachowana jest natura zjawiska
 - Tunel aerodynamiczny



http://www.absoluteastronomy.com/topics/Wind_tunnel

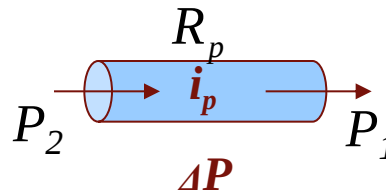
Modele analogowe

∞ Przykłady analogii fizycznych



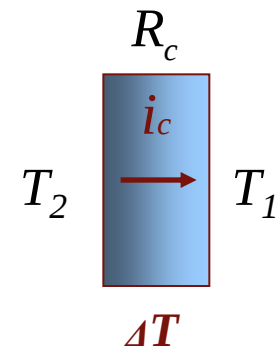
$$U_2 - U_1 = R I$$

Obiekt elektryczny



$$P_2 - P_1 = i_p R_p$$

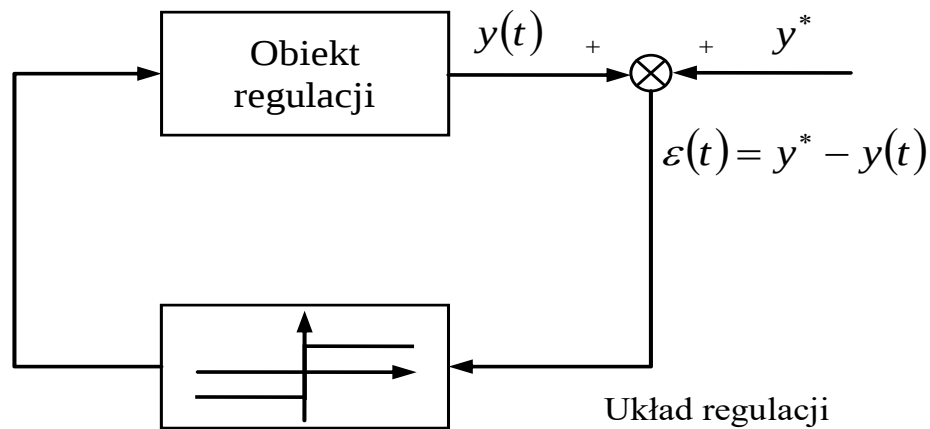
Obiekt hydrauliczny



$$T_2 - T_1 = i_c R_c$$

Obiekt termiczny

Modele analogowe



Obiekt regulacji jest opisany zależnością

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + \frac{1}{T} \frac{dy(t)}{dt} = K u(t),$$

z warunkami początkowymi

$$y(t)|_{t=0} = y_0, \quad \frac{dy(t)}{dt}|_{t=0} = y_1,$$

gdzie: parametr K jest stałą wzmocnienia, a T jest stałą czasową.

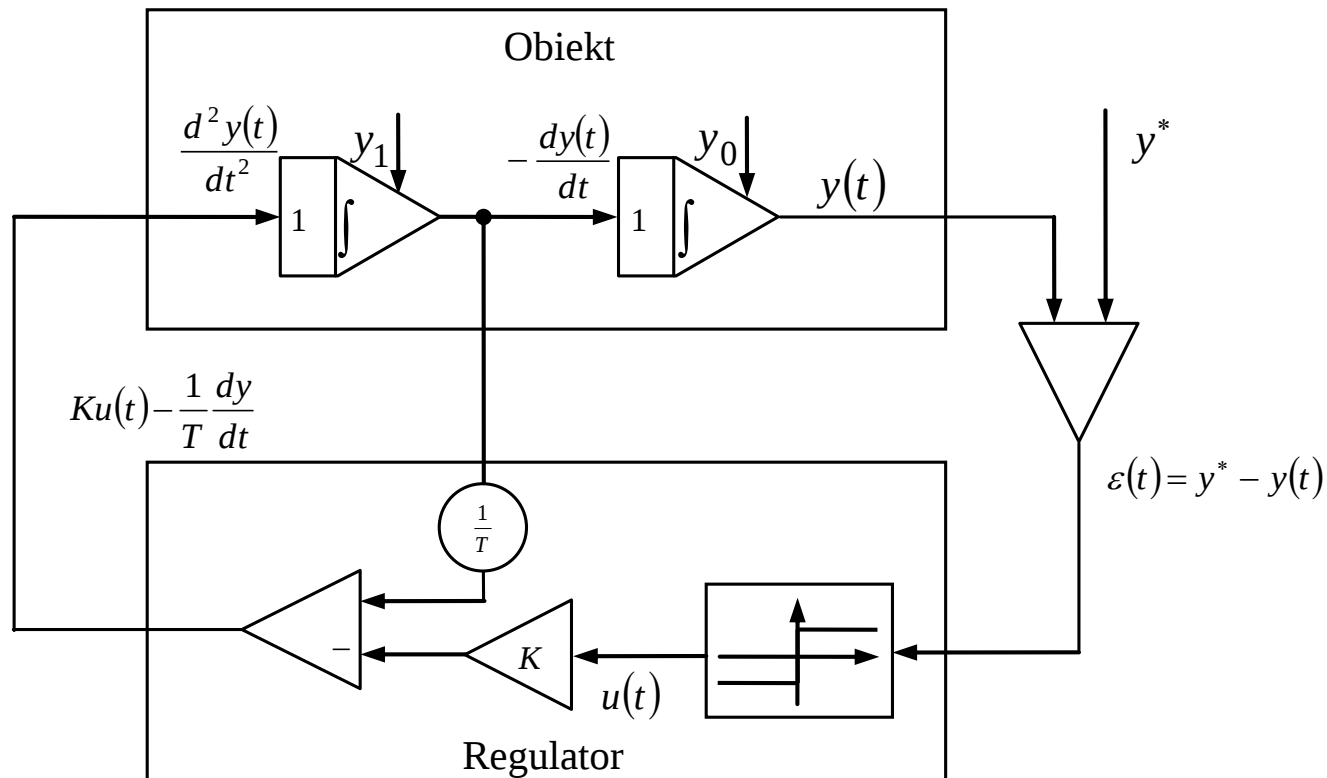
Na wyjściu regulatora przekąźnikowego otrzymujemy znak błędu regulacji, czyli

$$u(t) = \text{sign}(\varepsilon(t)),$$

gdzie błąd regulacji

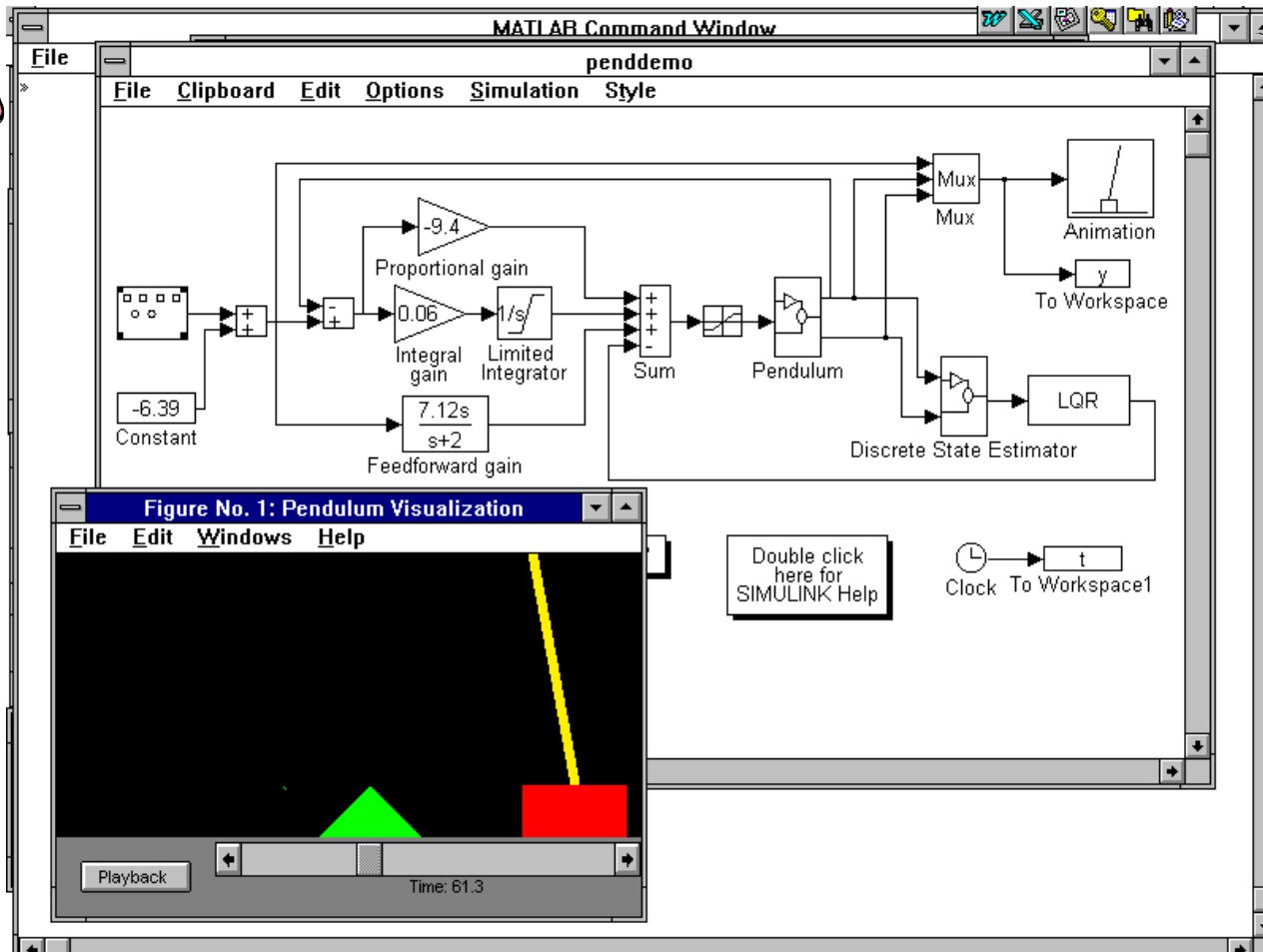
$$\varepsilon(t) = y^* - y(t).$$

Modele analogowe



Model analogowy układu regulacji

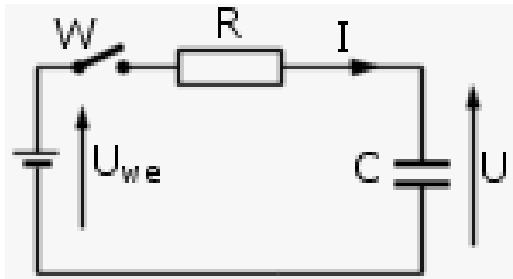
Modele analogowe



Modele matematyczne

- ⌘ Zestaw równań opisujących badany proces
 - Zależności statyczne
 - Własności dynamiczne – równania różniczkowe, różnicowe
 - Modele probabilistyczne
- ⌘ Zestaw prawdziwych zdań logicznych
 - Wiedza eksperta

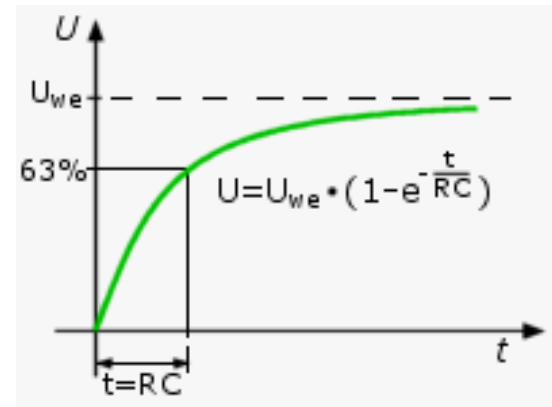
Modele matematyczne



$$I = C \frac{dU}{dt}$$

$$I = \frac{U_{we} - U}{R}$$

$$\frac{U_{we} - U}{R} = C \frac{dU}{dt} \quad \text{to} \quad \frac{dU}{dt} = \frac{U_{we} - U}{RC}$$

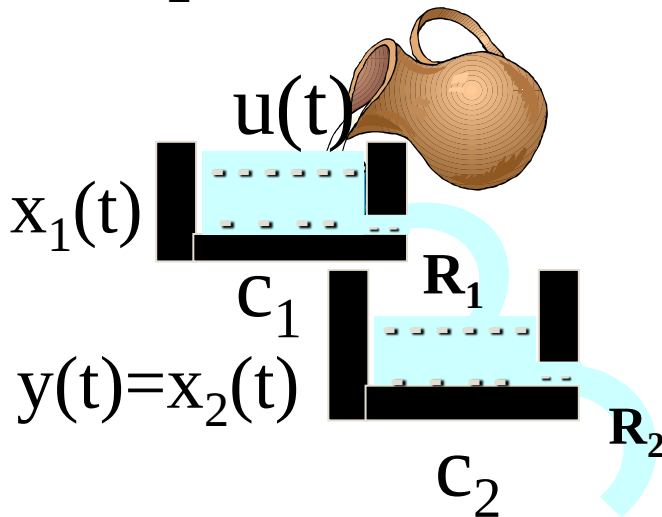


$$U = U_{we} (1 - e^{-\frac{t}{RC}})$$

Przykład 1

Przykład 2

$$\frac{d}{dt}x_1(t) = -\frac{R_1}{c_1}x_1(t) + \frac{1}{c_1}u(t)$$
$$\frac{d}{dt}x_2(t) = \frac{R_1}{c_2}x_1(t) - \frac{R_2}{c_2}x_2(t)$$
$$y(t) = x_2(t)$$



$$x_{n+1} = |x_n + u_n| \text{ modulo } 2$$

$$y_n = x_n$$

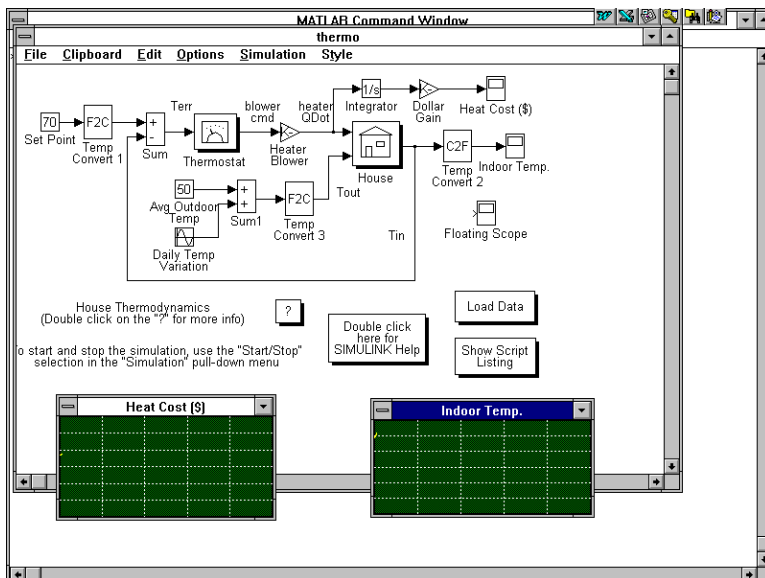
$$u_n \in \{0,1\}$$



Model komputerowy

∞ Analogowy

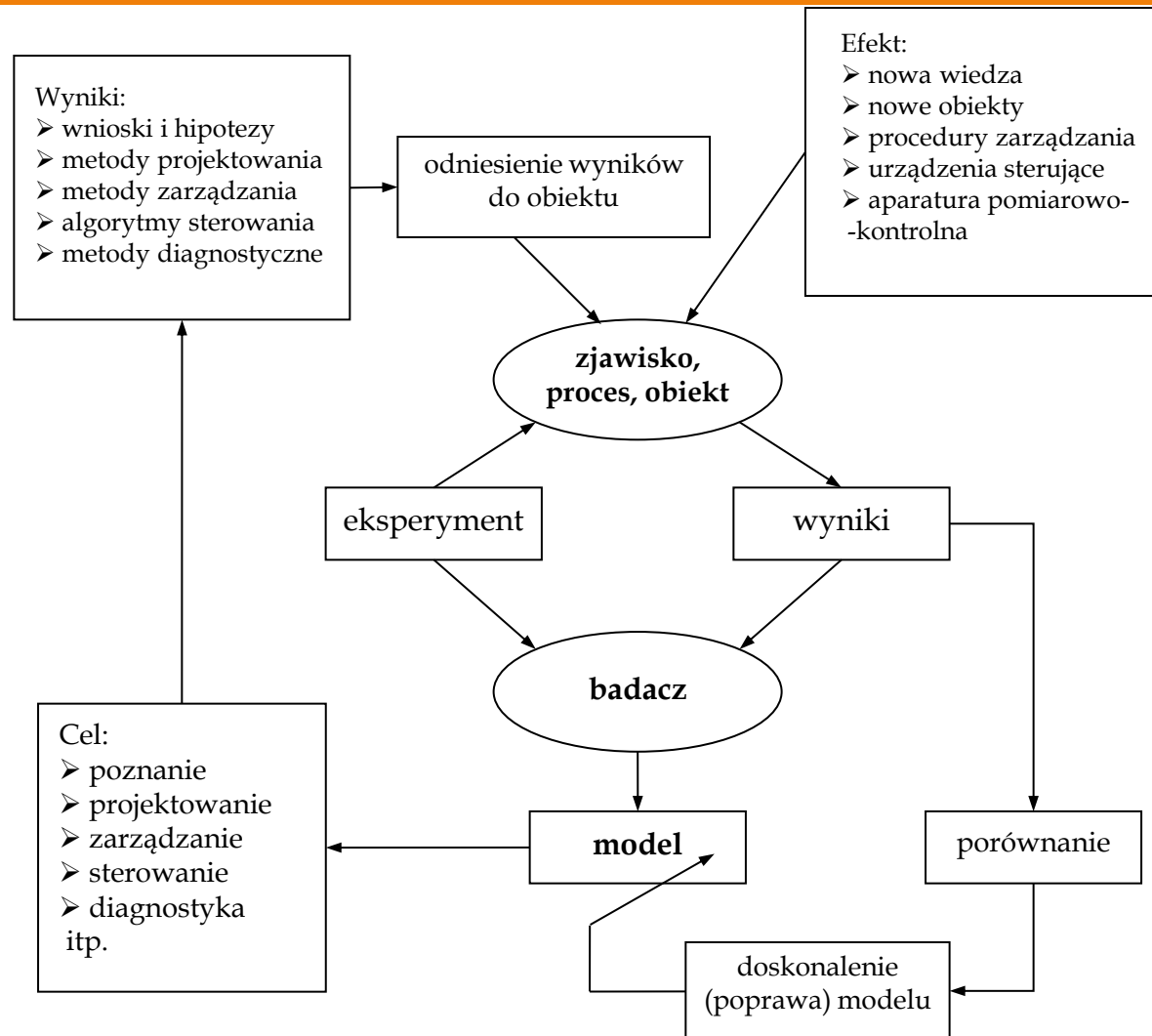
Cyfrowy



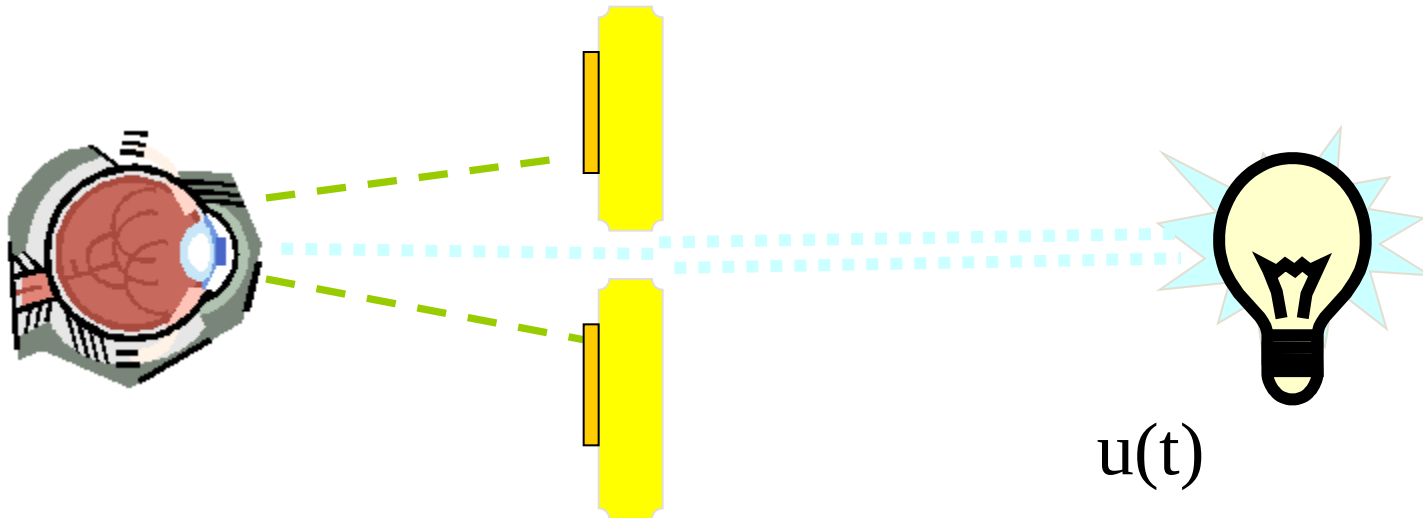
```
program ADA;
var i,klucz :integer;
    Napis    : string;
    Napis_sz : array[1..100] of char;
Procedure czytaj;
begin
    Write('Podaj klucz: ');
    readln(klucz);
    If klucz <=0 then writeln('Błędne dane')
    else
        ...
        ...
        ...
    readln;
end.
```

Modele hybrydowe

Model w badaniach systemowych



Model matematyczny w badaniu obiektu



- $K(s) = ?$

- $\omega = 0,2\text{Hz}$

$y(t)$
wyjście

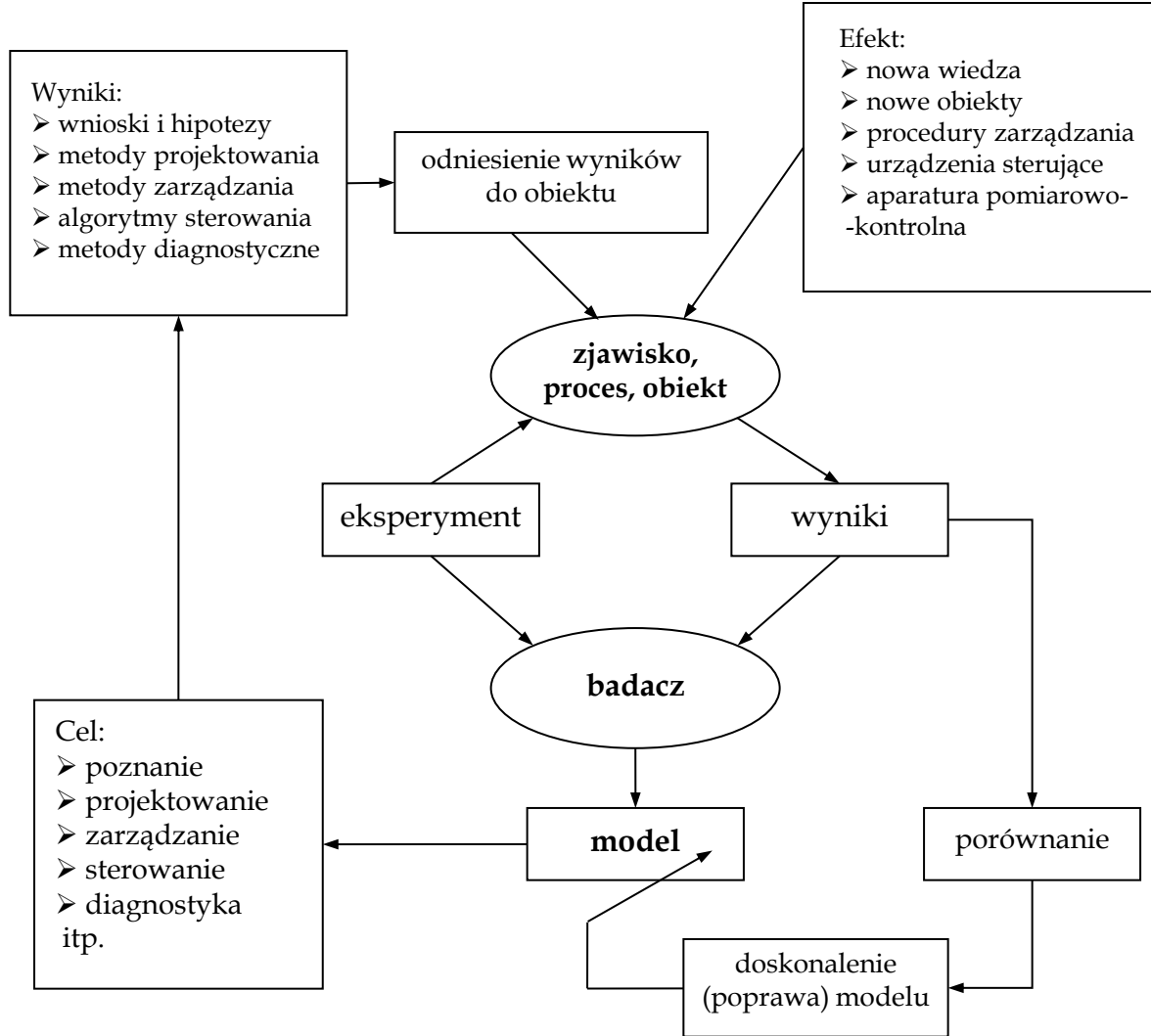
$u(t)$
wejście

Analiza systemowa

- ∞ Analiza systemowa – zbiór metod i technik wspomagających analizę, projektowanie, zarządzanie i sterowanie w złożonych sytuacjach
 - Systematyczny sposób analizy złożonych problemów w celu **osiągnięcia określonego celu**
 - Opracowanie propozycji różnych rozwiązań z uwzględnieniem **złożonego celu** oraz wielu kryteriów oceny rozwiązania
 - Wspomaganie decydenta w wyborze optymalnego rozwiązania spośród wielu możliwości

Model w badaniach systemowych

treść wykładu



Przegląd treści Wykładu

- ⌘ Model w badaniach systemowych. Wstęp pojęcia podstawowe.
- ⌘ Tworzenie modeli matematycznych na podstawie eksperymentu – zadanie identyfikacji.
- ⌘ Identyfikacja obiektów statycznych w warunkach deterministycznych.
- ⌘ Estymacja parametrów obiektu w obecności zakłóceń pomiarowych.
- ⌘ Wybór optymalnego modelu w warunkach losowych – regresja pierwszego i drugiego rodzaju.
- ⌘ Wybrane zadania identyfikacji obiektów dynamicznych.
- ⌘ Wybrane zadania modelowania systemów złożonych.
- ⌘ Model w zadaniu podejmowania decyzji (decyzje dopuszczalne, zadowalające, optymalne).

Przegląd treści Wykładu

- ⌘ Model w zadaniu podejmowania decyzji (decyzje dopuszczalne, zadowalające, optymalne).
- ⌘ Analityczne metody optymalizacji funkcji wielu zmiennych.
- ⌘ Numeryczne metody optymalizacji.
- ⌘ Programowanie liniowe.
- ⌘ Programowanie całkowitoliczbowe
- ⌘ Podejmowanie decyzji w warunkach niepewności.
- ⌘ Gra w podejmowaniu decyzji.
- ⌘ Programowanie dynamiczne w ujęciu dyskretnym.
- ⌘ Decyzje w systemach złożonych.
- ⌘ Wielokryterialne zadanie podejmowania decyzji.

Przegląd treści ćwiczeń i laboratorium

- ✧ Przykłady modeli matematycznych.
- ✧ Synteza wybranych algorytmów identyfikacji.
- ✧ Analityczne metody optymalizacji I.
- ✧ Analityczne metody optymalizacji II.
- ✧ Decyzje w warunkach niepewności.
- ✧ Gra w podejmowaniu decyzji.
- ✧ Metody optymalizacji w kierunku.
- ✧ Bezgradientowe metody optymalizacji.
- ✧ Gradientowe metody optymalizacji.
- ✧ Metody optymalizacji z ograniczeniami.
- ✧ Algorytmy rozpoznawania we wspomaganiu podejmowania decyzji.
- ✧ Modele procesów masowej obsługi.

Literatura obowiązkowa

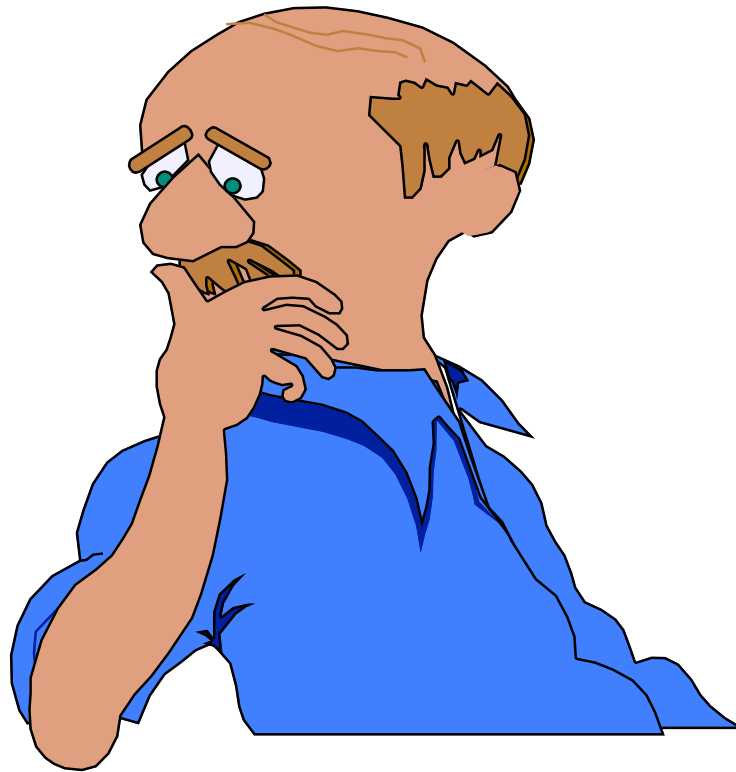
☞ Literatura obowiązkowa:

- ☞ Bubnicki Z., Identyfikacja obiektów sterowania, PWN, Warszawa, 1974.
- ☞ Bubnicki Z., Teoria i algorytmy sterowania, PWN, Warszawa, 2006.
- ☞ Findeisen A., Szymanowski J., Wierzbicki A., Teoria i metody obliczeniowe optymalizacji, PWN, Warszawa, 1980.
- ☞ Grabowski W., Programowanie matematyczne, PWE, Warszawa, 1980.
- ☞ Kurzyński M., Rozpoznawanie obiektów, Oficyna Wydawnicza PWr., Wrocław 1997.
- ☞ Seidler J., Badach A., Molisz W., Metody rozwiązywania zadań optymalizacji, WNT, Warszawa, 1980.
- ☞ Świątek J., Wybrane zagadnienia identyfikacji statycznych systemów złożonych, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2009.
- ☞ Tadeusiewicz R., Fiński M., Rozpoznawanie obrazów, PWN Warszawa 1991.

Literatura uzupełniająca

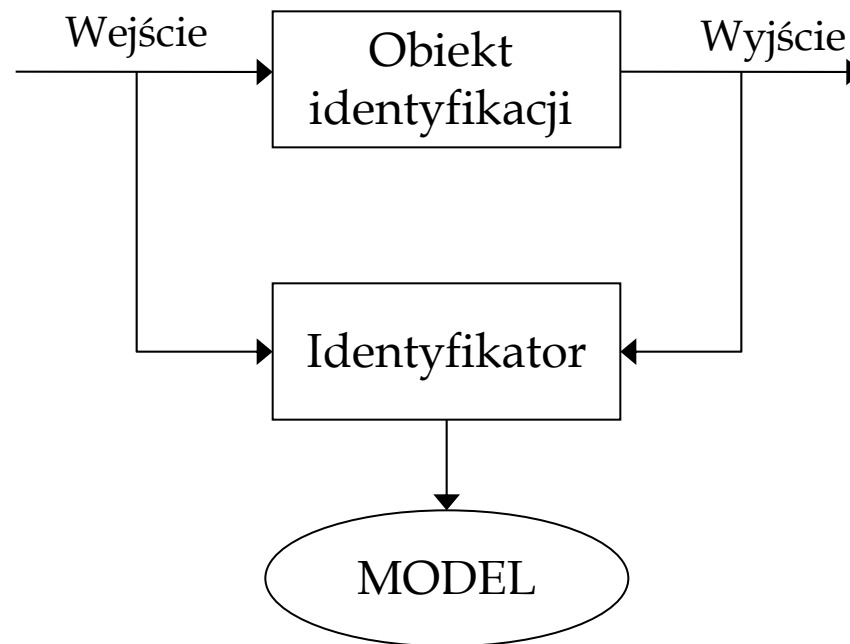
- ✎ Bazaraa M. S., Sherali H.D., Shett C. M., Nonlinear Programming Theory and Algorithms, John Wiley and Sons, Inc., 2006.
- ✎ DeGroot M. H., Optymalne decyzje statystyczne, PWN, Warszawa, 1981.
- ✎ Gutenbaum J., Modelowanie matematyczne systemów, Omnitech Press, Warszawa 1992.
- ✎ Maniczak K., Naharski Z., Komputerowa identyfikacja obiektów dynamicznych, PWN, Warszawa, 1983.
- ✎ Kaczorek T., Teoria układów regulacji automatycznej, WNT, Warszawa, 1974.
- ✎ Owen G., Teoria gier, PWN, Warszawa, 1975.
- ✎ Soderstrom T., Stoica P., Identyfikacja systemów, PWN, Warszawa, 1997.

Dziękuję za uwagę



Zadanie identyfikacji

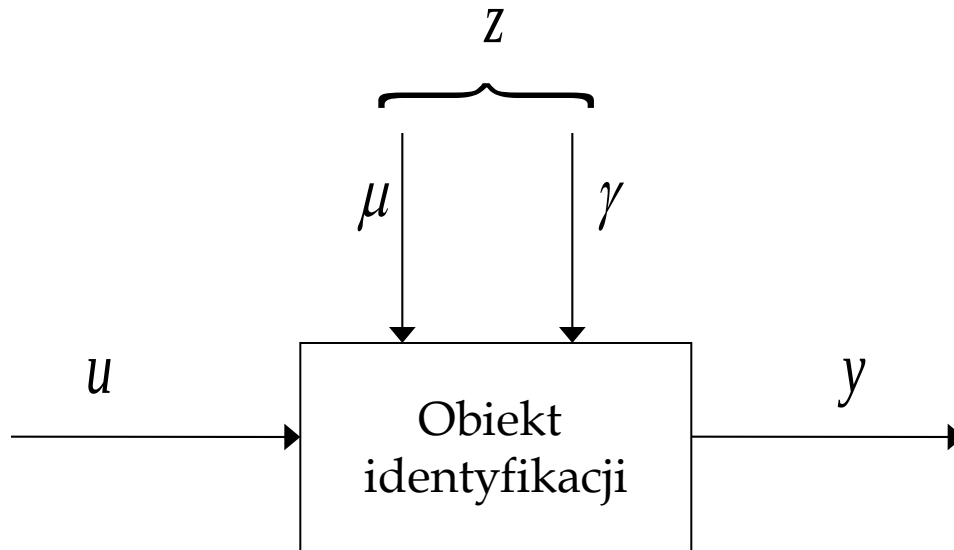
Zadanie identyfikacji – proces tworzenia modelu matematycznego obiektu na podstawie obiektu



Zadanie identyfikacji

1. Określenie obiektu identyfikacji
2. Określenie klasy modeli
3. Organizacja eksperymentu
4. Wyznaczenie algorytmu identyfikacji
5. Wykonanie identyfikatora

Ad.1. Określenie obiektu identyfikacji



u – wejście

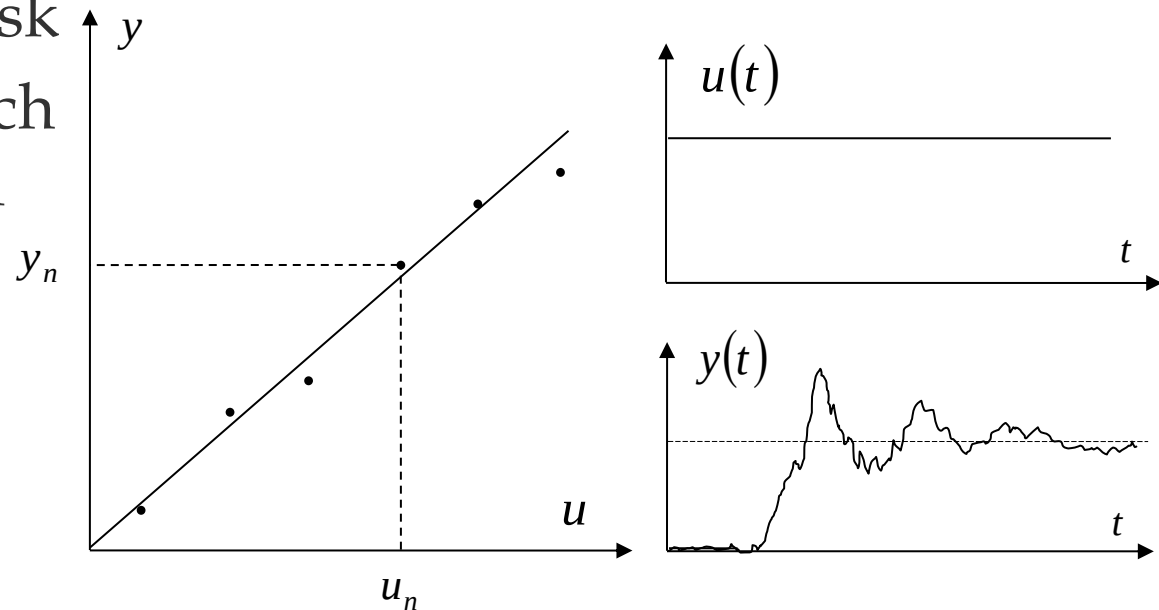
y – wyjście

μ – zakłócenia mierzalne

γ – zakłócenia niemierzalne

Ad.2. Określenie klasy modeli

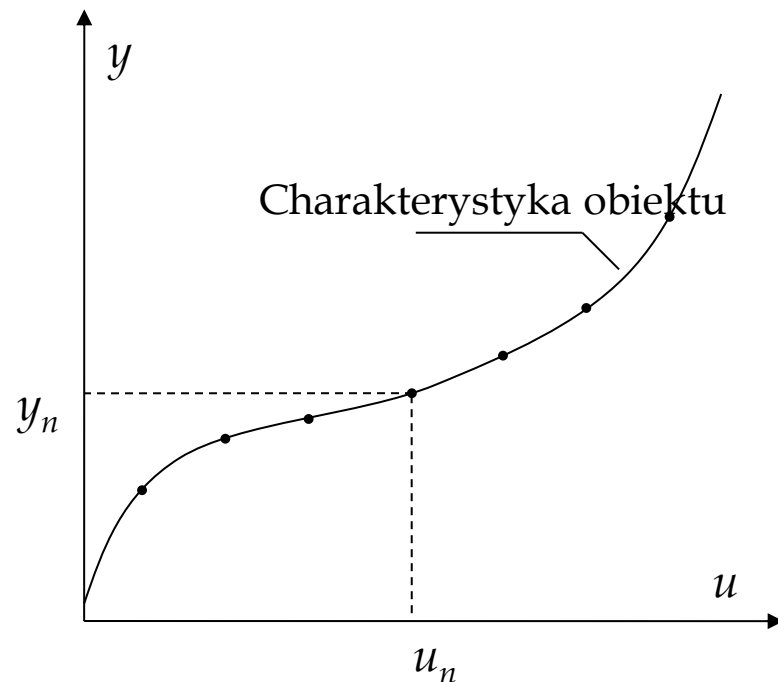
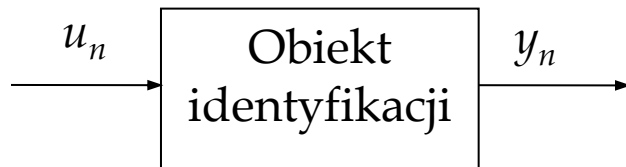
- ⌘ Analiza zjawisk
- ⌘ Analiza danych pomiarowych



- ⌘ Model arbitralny
- ⌘ Model oparty na wiedzy eksperta

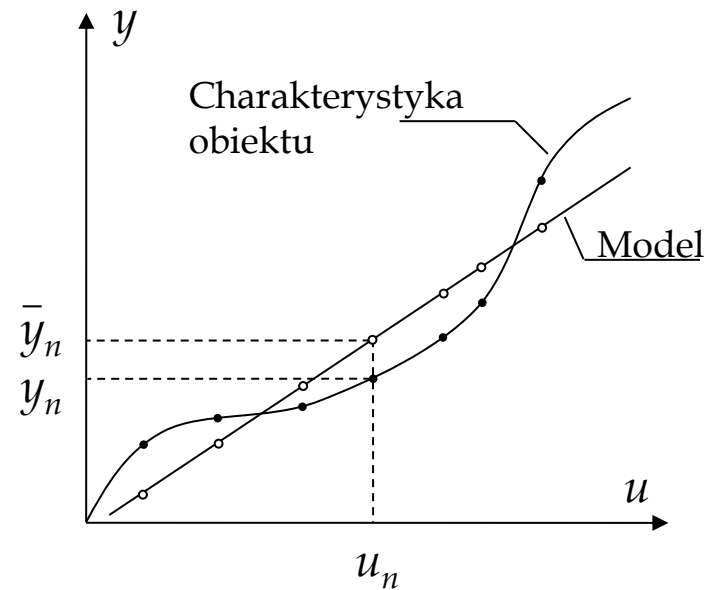
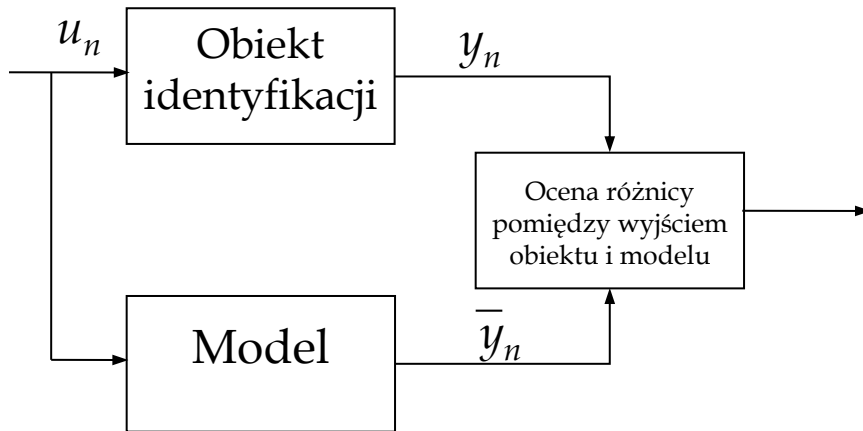
Ad.2. Określenie klasy modeli

∞ Obiekt w klasie modeli



Ad.2. Określenie klasy modeli

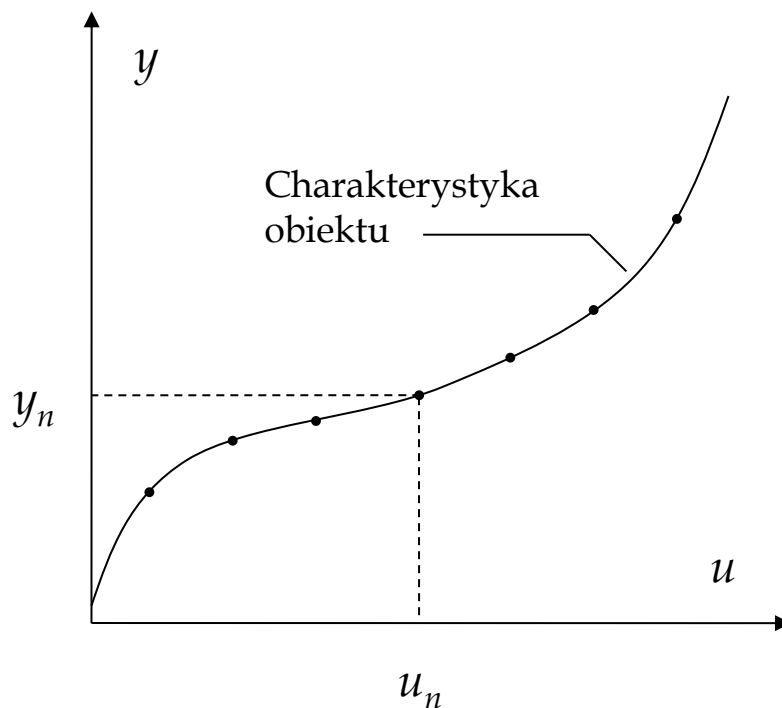
☞ Wybór optymalnego modelu



Ad.3. Organizacja eksperymentu

Obiekt statyczny

$$U_N = [u_1 \quad u_2 \quad \cdots \quad u_N], \quad Y_N = [y_1 \quad y_2 \quad \cdots \quad y_N]$$



Ad.3. Organizacja eksperymentu

Dynamic plant

$$U_T = \{u(t)\}_{t=t_0}^T, \quad Y_T = \{y(t)\}_{t=t_0}^T,$$

Discrete type observations

$$t_1, t_2, \dots, t_N, t_n \in [t_0 \ T], n = 1, 2, \dots, N$$

$$U_N = \{u(t_n)\}_{n=1}^N, \quad Y_N = \{y(t_n)\}_{n=1}^N.$$

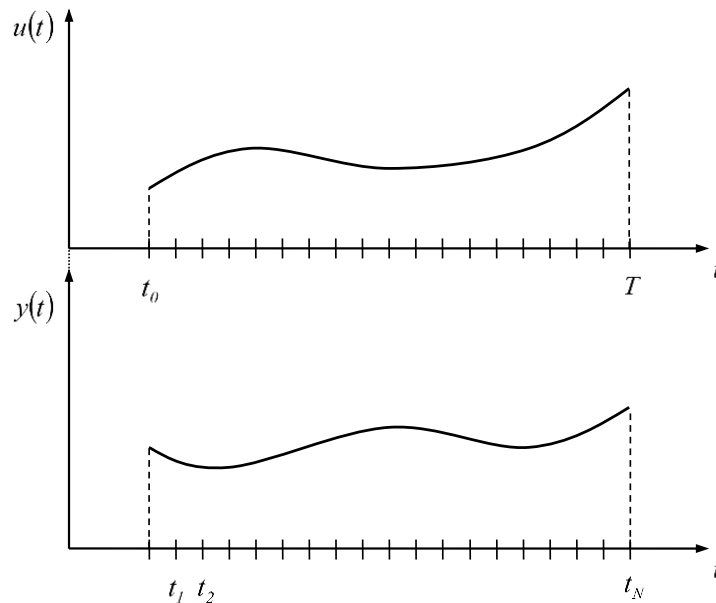
Dynamic, discrete type plant

$$U_N = \{u_n\}_{n=1}^N, \quad Y_N = \{y_n\}_{n=1}^N.$$

Ad.3. Organizacja eksperymentu

Ciągły obiekt dynamiczny

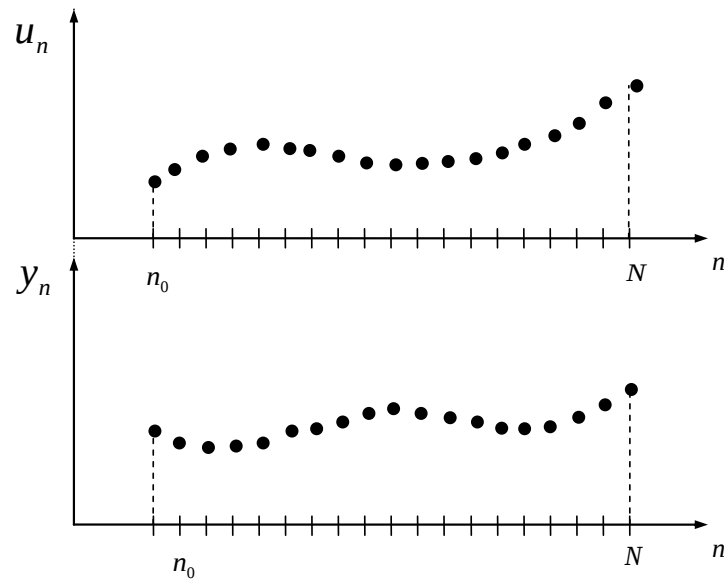
Dla sygnału wejściowego $\{u(t)\}_{t_0}^T$ rejestrujemy odpowiedni sygnał wyjściowy $\{y(t)\}_{t_0}^T$ lub w wybranych chwilach $t_0 < t_1 < \dots < t_N \leq T$ obserwujemy odpowiednio ciąg wejść $\{u(t_n)\}_{n=0}^N$ i wyjść $\{y(t_n)\}_{n=0}^N$



Ad.3. Organizacja eksperymentu

Dyskretny obiekt dynamiczny

Dla zadanego ciągu wejść $\{u_n\}_{n=0}^N$ obserwujemy ciąg wyjść $\{y_n\}_{n=0}^N$



Ad.3. Organizacja eksperymentu

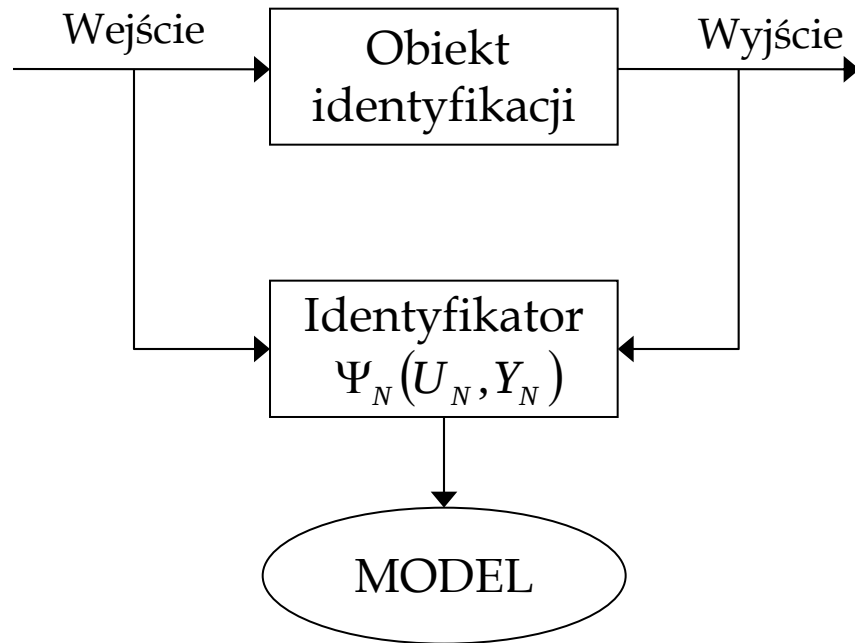
∞ Eksperyment pasywny

- Sygnały wejściowe : $U_N, \{u(t)\}_{t_0}^T, \{u(t_n)\}_{n=0}^N, \{u_n\}_{n=0}^N$ są tylko obserwowane

∞ Eksperyment aktywny

- Sygnały wejściowe : $U_N, \{u(t)\}_{t_0}^T, \{u(t_n)\}_{n=0}^N, \{u_n\}_{n=0}^N$ mogą być zaprojektowane (zaplanowane)

Ad.4. Wyznaczenie algorytmu identyfikacji



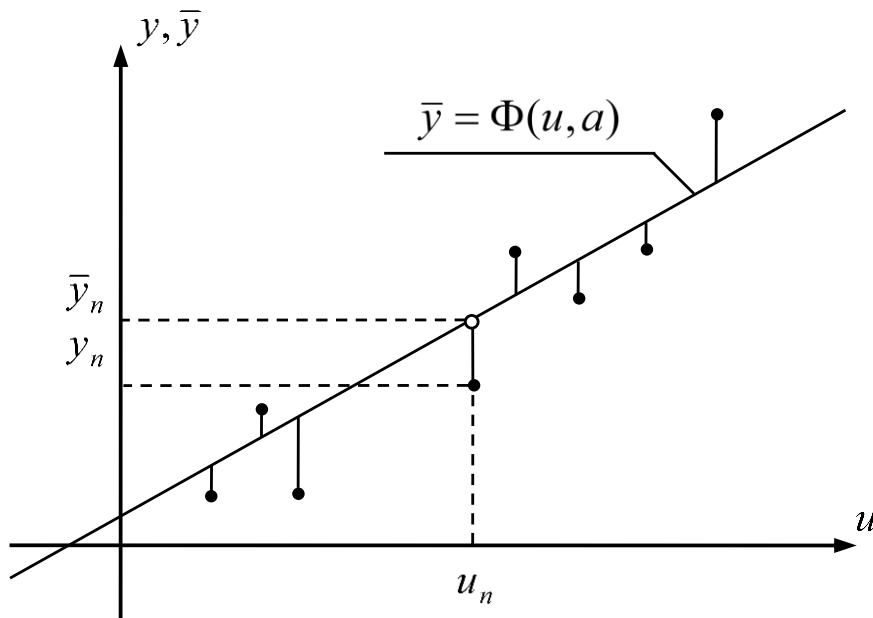
U_N – Seria pomiarowa wejść

Y_N – Wyniki pomiarów wyjść

Ψ_N – Algorytm identyfikacji

Ad.4. Wyznaczenie algorytmu identyfikacji

$$a^* = \Psi(U_N, Y_N)$$



$$Q(a) = \sum_{n=1}^N (y_n - au_n)^2$$

$$a_n^* = \frac{\sum_{n=1}^N y_n u_n}{\sum_{n=1}^N u_n^2}$$

Ad. 5. Wykonanie identyfikatora

∞ Algorytm identyfikacji

- Program komputerowy
- Realizacja sprzętowa

Dziękuję za uwagę

