

Modelowanie osiągnięć silników lotniczych

Dr inż. Robert Jakubowski

Literatura przedmiotu

- Muszyński M. Orkisz M. Modelowanie turbinowych silników odrzutowych, BN IL nr 7, Warszawa 1997
- Orkisz M. i in. Podstawy doboru turbinowych silników odrzutowych do płatowca, BN IL nr 18, Warszawa 2002, rozdz. 2,3
- Kurzke J. Halliwell I., Propulsion and power, An Exploration of Gas Turbine Performance Modeling, Springer 2018
- Mattingly J. D., Elements of Gas Turbine Propulsion, McGraw-Hill Edition 2005
- Inne pozycje i publikacje z zakresu modelowania i obliczeń charakterystyk silników lotniczych

OBIEKTY RZECZYWISTE

- Wszelkie rzeczywiste obiekty fizyczne, jeśli by starać się wiernie oddać ich zachowanie, należy traktować jako obiekty o złożonych stanach, zmiennych w czasie parametrach, o parametrach nieliniowo zależnych od wielu czynników zewnętrznych i wewnętrznych.

Model = uproszczenie rzeczywistości

- Przyjęcie uproszczenia zjawisk rzeczywistych poprzez przybliżenie ich znacznie prostszym opisem z wykorzystaniem linearyzacji, parametrów niezmiennych w czasie oraz inne uproszczenia wprowadzające błędy modelu, ale pozwalające na opis rzeczywistości w sposób, który da się rozwiązać przy wykorzystaniu dostępnych metod i narzędzi.

MODEL

- **Model** w nauce jest rozumiany jako uproszczona – umyślnie i celowo - reprezentacja rzeczywistości. Ujmuje tylko jej część, jest pozbawiony wielu szczegółów i cech nieistotnych z punktu widzenia celów modelowania.

Model uwzględnia tylko wybrane czynniki obowiązujące często tylko w ograniczonym zakresie. Zakres uwzględnianych zjawisk zależy od dostępnej wiedzy, celu badań symulacyjnych oraz możliwości (ograniczenia sprzętowe i czasowe)

MODELOWANIE

- **Modelowanie** to doświadczalna lub matematyczna metoda badania złożonych układów, zjawisk i procesów na podstawie konstruowania modeli.
- **Modelowanie doświadczalne** opiera się na podobieństwie fizycznym (np. badania aerodynamiczne tunelowe) lub na analogiach fizycznych (modele elektryczne).
- **Modelowanie matematyczne** polega na tworzeniu modeli matematycznych i wykorzystaniu aparatu matematycznego do ich analizy. Zastosowanie w tej analizie znajdują komputery (symulacja komputerowa).

CZEMU SŁUŻY MODELOWANIE?

- Poznaniu
- Badaniu
- Projektowaniu

CELE MODELOWANIA

- Stworzenie pewnego przybliżenia rzeczywistości
- Przedstawienie zjawisk fizycznych w postaci zapisu matematycznego
- Wskazanie cech istotnych i małoistotnych dla rozwiązywanego problemu
- Prowadzenie badań na modelach zamiast na rzeczywistych obiektach

Model

- MODEL FIZYCZNY – układ wielkości i praw fizycznych, który w rozpatrywanym zadaniu badawczym opisuje obiekt rzeczywisty
- MODEL MATEMATYCZNY – stanowi analityczny opis modelu fizycznego
- SYMULACJA - jest metodą prowadzenia eksperymentu, w którym decydent buduje model imitujący (naśladujący) działanie rzeczywistego systemu.

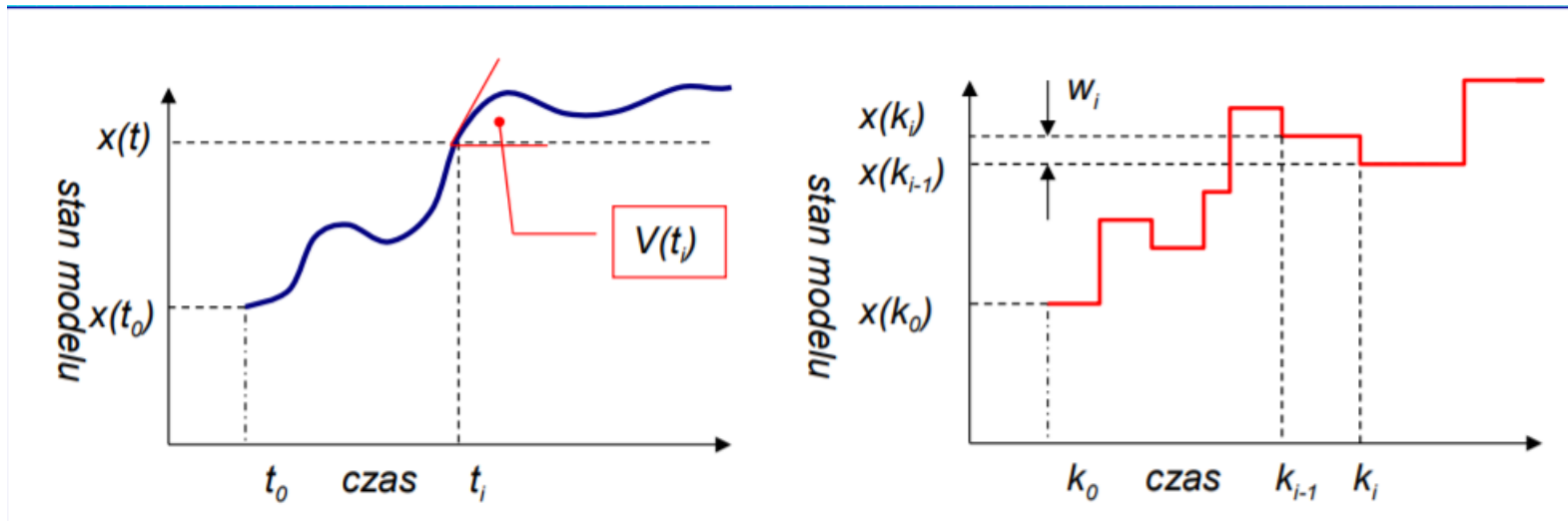
Kategorie modeli numerycznych

Modele:

- statyczny / dla stanów ustalonych - niezależny od czasu
- dynamiczny / dla stanów nieustalonych – zmienny w czasie

Kategorie modeli numerycznych

- Model ciągły i dyskretny



Kategorie modeli numerycznych

- Deterministyczny – daje dokładnie jedno rozwiązanie dla określonej sekwencji procesów i tego samego zestawu danych wejściowych
- statystyczny - uwzględnia elementy rachunku prawdopodobieństwa występowania określonej sekwencji zjawisk, co może prowadzić do uzyskania różnych wyników dla tych samych danych wejściowych w zależności od przyjętych wskaźników prawdopodobieństwa przebiegu poszczególnych procesów wewnętrznych

Proces badań modelowych

Ustalanie celów i planu działania

- Model opracowuje się w ściśle określonym celu. Stanowi to podstawę dotyczącą wyboru modelu i przyjmowanych założeń upraszczających
- Wybór rodzaju modelu i założeń upraszczających

IDENTYFIKACJA MODELU

- **Czynna identyfikacja modelu** polega na zaplanowaniu i przeprowadzeniu eksperymentu
- **Bierna identyfikacja modelu** dane do identyfikacji zbierane są w czasie normalnej pracy modelu

ALGORYTMIZACJA MODELU

ALGORYTMY

- Analityczne
- Numeryczne
- Symulacyjne

WERYFIKACJA/WALIDACJA MODELU

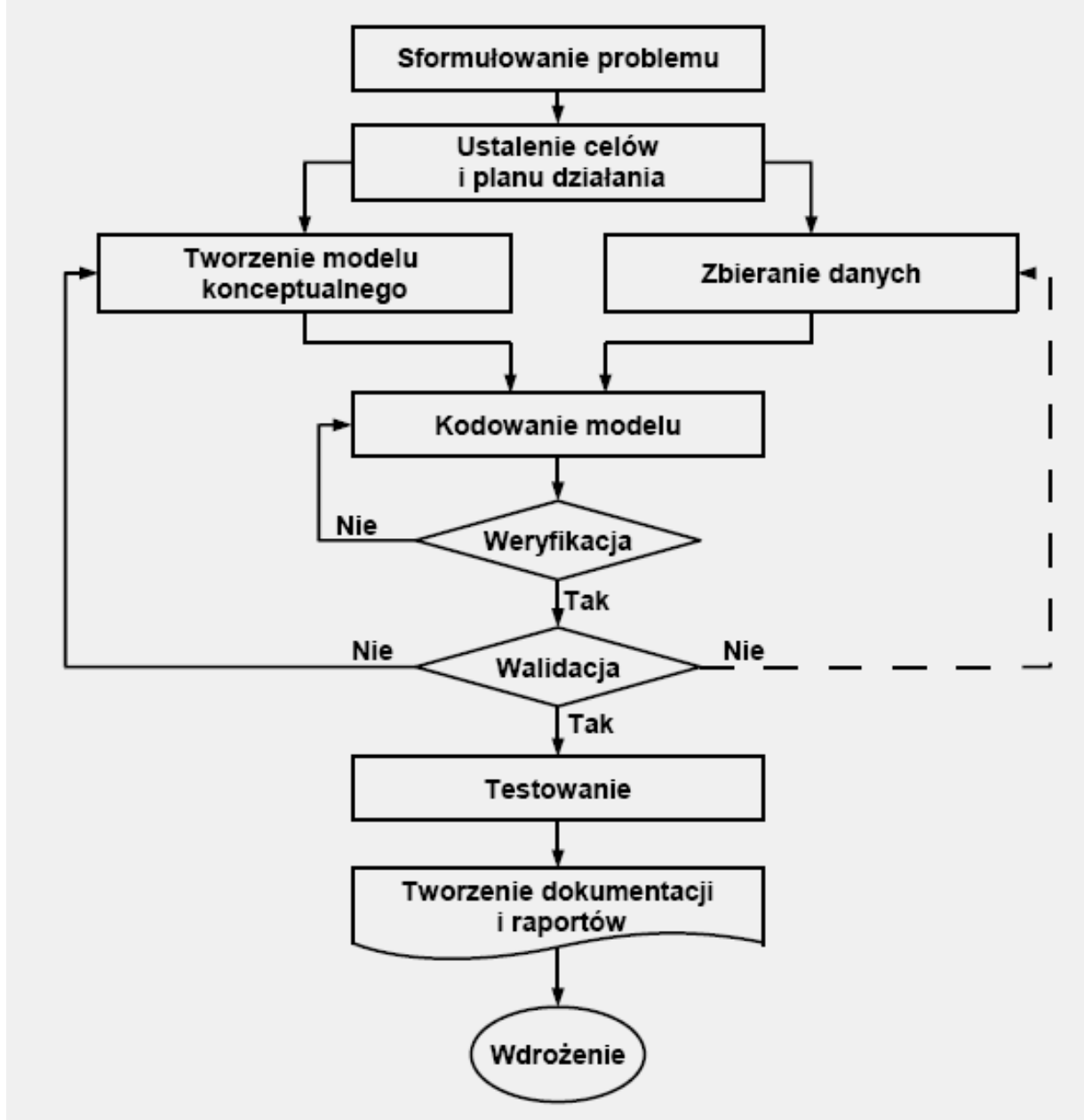
Weryfikacja powinna dać odpowiedź na pytanie: Czy model jest zbudowany w sposób poprawny?, podczas gdy walidacja odpowiada na pytanie: Czy zbudowany jest poprawny model? W literaturze można spotkać różne poglądy na temat weryfikacji i walidacji. Pewna grupa badaczy uważa te pojęcia za synonimy, jednak według większości weryfikacja to konieczna, lecz niewystarczająca faza w procesie walidacji

- Kryteria weryfikacji zgodności modelu z rzeczywistością:
 - Wewnętrzne
 - Zewnętrzne

Kryteria zgodności

- Kryteria wewnętrzne
 - Zgodność formalna – brak sprzeczności koncepcyjnej, matematycznej itp.
 - Zgodność algorytmiczna
- Kryteria zewnętrzne
 - Zgodność heurystyczna – dotyczy identyfikacji zjawisk i weryfikacji hipotez
 - Zgodność pragmatyczna – dotyczy zgodności wyników modelowania z warunkami rzeczywistymi

Etapy opracowywania modelu



MODELE SILNIKA LOTNICZEGO

Wymagania dotyczące modelowania napędów lotniczych

- Możliwość elastycznego formułowania struktury silnika w oparciu o modele poszczególnych zespołów,
- Tworzenie interakcji pomiędzy różnymi środowiskami umożliwiającymi realizację złożonych zagadnień obliczeniowych na wysokim poziomie dokładności obliczeń - łączenie systemów do modelowania i obliczeń systemów CAD MES i CFD itp.

Rodzaje modeli silnika:

- Model 0-wymiarowy (bezwymiarowy) – uogólniony model silnika nie uwzględniający kształtów ani wymiarów silnika
- Model 1-wymiarowy uwzględnia jeden wymiar – w silniku jest to wymiar wzdłuż osi silnika (tzw. wymiar osiowy). W modelu takim przyjmuje się założenie, że wzdłuż osi silnika parametry pracy ulegają zmianie i opisują je uśrednione wartości względem powierzchni przekroju prostopadłej do osi głównej silnika

Rodzaje modeli silnika cd

- Model dwuwymiarowy 2D. Model taki uwzględnia zmianę parametrów roboczych silnika zarówno wzdłuż osi głównej silnika jak również względem wysokości kanału przepływowego
- Model trójwymiarowy 3D – najbardziej złożony, uwzględnia zmianę parametrów termogazodynamicznych we wszystkich trzech kierunkach oraz ich interakcję z otoczeniem. Najbardziej wiernie oddaje rzeczywistość, ale wymaga zaawansowanych i przeważnie drogich programów obliczeniowych.

Rodzaje modeli silnika inny podział

- Model statyczny – nie uwzględniający wpływu czasu na osiągi silnika (model dla ustalonych stanów pracy)
- Model dynamiczny – uwzględniający wpływ czasu na stan pracy (modelowanie procesów akceleracji, deceleracji czy wpływu zmiany warunków otoczenia w czasie na pracę silnika)

Proces prowadzenia badań „performensowych silnika”

- Model „1” wymiarowy z uśrednionymi parametrami przepływu (ciśnienia i temperatury)
 - Modele strat i sprawności uwzględnia się poprzez mapy charakterystyk zespołów
 - Bazuje się na prawach fizyki z zakresu przepływu mechaniki termodynamiki itp.,

Modelowanie osiągnięć silników lotniczych model silnika idealnego, założenia upraszczające

- Model przepływu opisywany jest równaniami charakteryzującymi procesy odwracalne.
- Pomija się wymianę ciepła z otoczeniem
- Pomija się straty przepływowe
- Pomija się zmianę ilości czynnika w otoczeniu
- Stosuje się najbardziej proste modele opisujące czynnik roboczy w silniku – model gazu doskonałego

Modelowanie osiąągów silników lotniczych model rzeczywisty, założenia upraszczające

- Model przepływu opisywany jest równaniami charakteryzującymi procesy odwracalne z uwzględnieniem wskaźników charakteryzujących odstępstwa procesów rzeczywistych od procesów idealnych

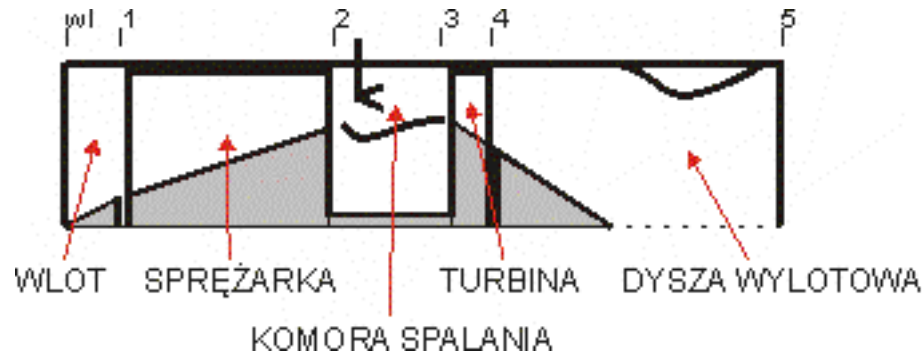
$$L_S = \eta_S * L_{S_iz}$$

Modelowanie osiąągów silników lotniczych model rzeczywisty, założenia upraszczające c.d.

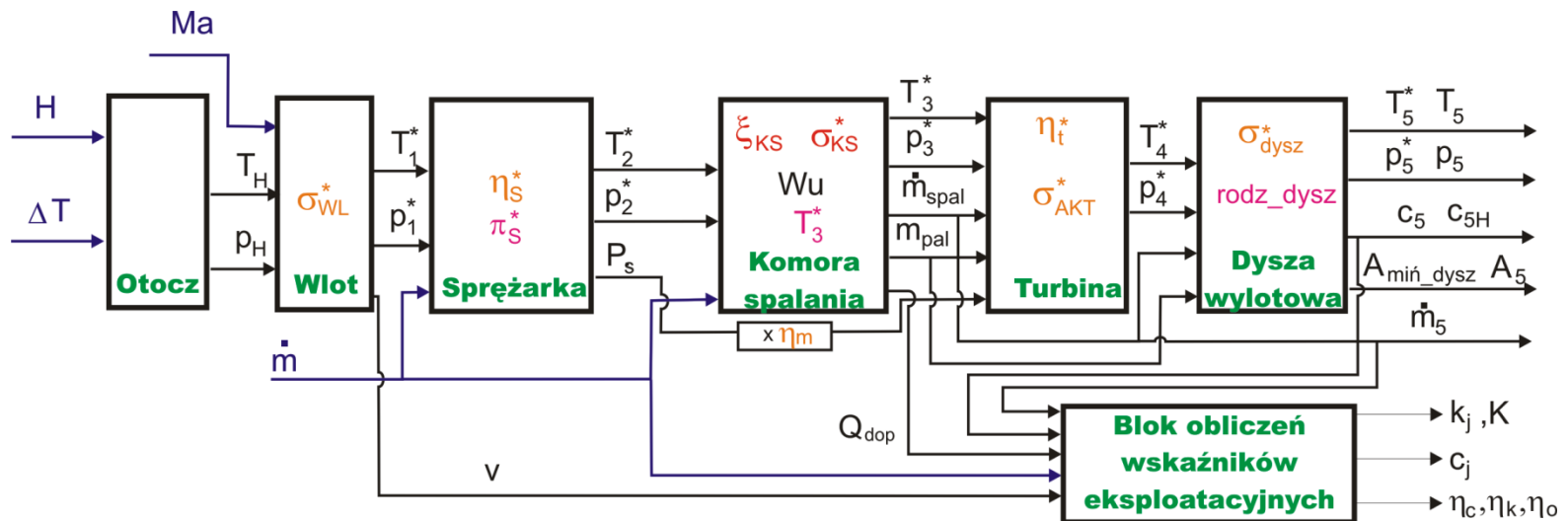
- Uwzględnia się wymianę ciepła z otoczeniem, podczas modelowania stanów nieustalonych pracy silnika
- Uwzględnia się proces dysocjacji spalin
- Przepływ czynnika roboczego w silniku jest jednowymiarowy
- Charakterystyki poszczególnych zespołów silnika opisuje się zależnościami opisującymi zmianę tych parametrów w zależności od stanu pracy

Model blokowy silnika – dekompozycja silnika

O T O C Z E N I E



O T O C Z E N I E



Dekompozycja modelu:

- Umożliwia rozbicie złożonego modelu silnika na bloki funkcjonalne, co ułatwia:
 - Proces budowy, sprawdzania i walidacji modelu
 - Przygotowania jednego modułu do obliczeń elementów podobnych funkcjonalnie (sprężarka, turbina)
 - Przygotowanie modeli silników o złożonej strukturze w szybki i wygodny sposób (budowa z klocków)

Etapy obliczeń

- Model i obliczenia dla „punktu obliczeniowego”
- Model i obliczenia charakterystyk statycznych poza punktem obliczeniowym
- Model i obliczenia charakterystyk dynamicznych silnika
- Model do analizy silnika na podstawie wyników badań (zagadnienie odwrotne modelowania silnika)

Dziękuję za uwagę