

Dr hab. inż. Ryszard Vogt
Dr. inż. Robert Głębocki
Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej
Politechnika Warszawska

UJĘCIE SYSTEMOWE I SYMULACJA PRZY PROJEKTOWANIU WYTWARZANIU I EKSPLOATACJI SYSTEMÓW STEROWANIA

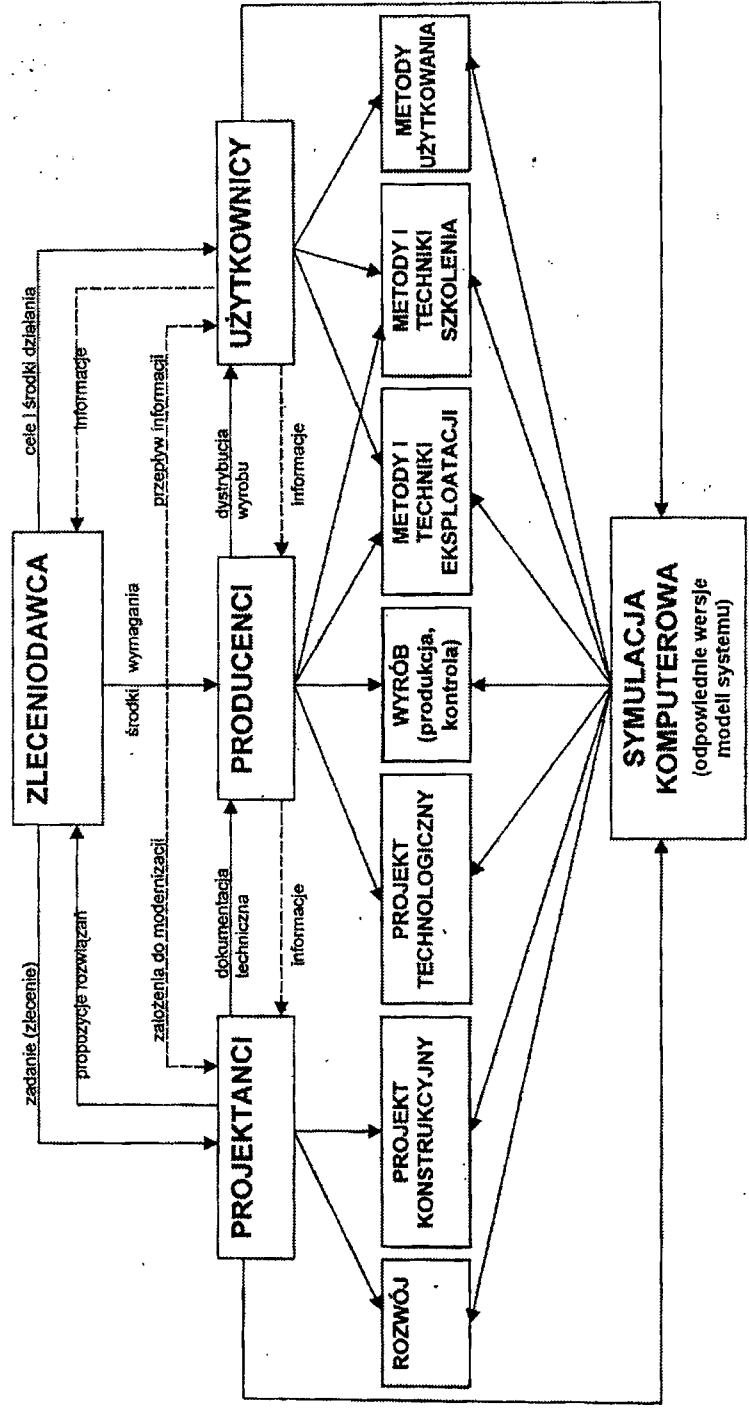
W pracy zaprezentowano niektóre aspekty roli badań systemowych i symulacji we wszystkich fazach istnienia systemu sterowania, od projektu poprzez wytwarzanie i eksploatację aż po jego rozwój i doskonalenie jego kolejnych generacji.

SYSTEM AND SIMULATION RESEARCHES IN PROJECT PRODUCTION END EXPLOATATION OF CONTRO SYSTEMS

In paper we presented some aspects of role system researches and simulation in all fazes of control system's life, from project through production, exploitation and development of his next generations.

ROLA BADAŃ SYSTEMOWYCH

W badaniach systemowych główny akcent kładzie się na badanie całościowych, integrujących właściwości badanego obiektu, ujawnieniu i uwzględnieniu całej różnorodności sprzężeń i struktur i wewnątrz obiektu-systemu, jak również uwzględnieniu oddziaływania otoczenia na ten system. Np. takie właściwości samolotu, traktowanego jako system, jak sterowalność czy osiągi nie powstają w wyniku prostego sumowania właściwości jego elementów składowych. W wyniku całej złożoności wzajemnych oddziaływań napędu samolotu, jego aerodynamiki i dynamiki, zespołów sterowania oraz pilota (lub autopilota) wspomaganego przez układ pomiarowy, powstają te całościowe, zintegrowane właściwości samolotu-systemu jakościowo różne od właściwości wymienionych elementów składowych. Tymi właściwościami interesuje się przede wszystkim użytkownik. Charakterystykami poszczególnych jego elementów, np. doskonałością aerodynamiczną czy mocą rozwijaną przez napęd, interesuje się o tyle o ile mają one wpływ np. na osiągi samolotu jako całości. Badania systemowe odgrywają więc ważną rolę zarówno przy projektowaniu systemu, jak również w następnych fazach jego istnienia, to jest wytwarzaniu i użytkowaniu; tym ważniejszą, im bardziej złożony jest system i bardziej nowoczesny i niekonwencjonalny w swych rozwiązaniach. Nie poparte badaniami systemowymi, a więc dość przypadkowe połączenie zespołów-elementów, nawet sprawdzonych w innych systemach, nie gwarantuje dobrych rozwiązań. Szanse uzyskania konstrukcji optymalnych są przy tym niewielkie, a doskonalenie tak zaprojektowanego systemu w drodze eksperymentalnej jest niezwykle kosztowne i długotrwałe.



Rysunek 1. Zastosowanie symulacji w poszczególnych fazach istnienia systemu.

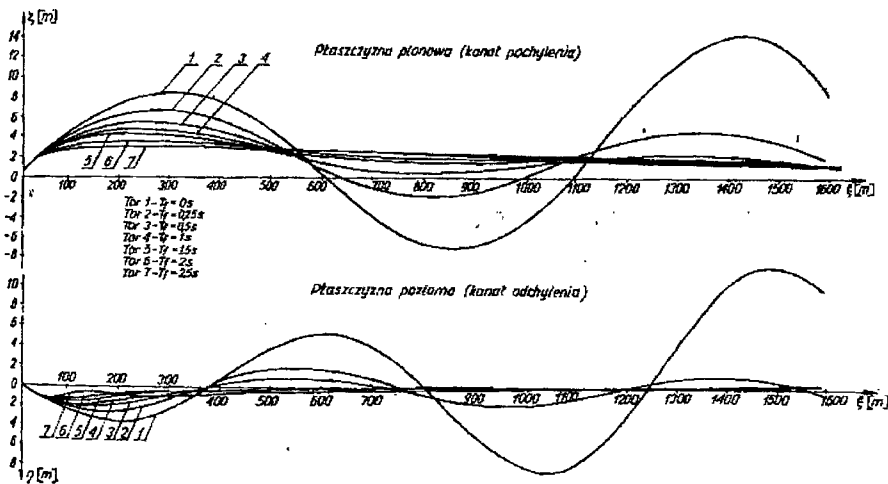
Teoretycznie dowolny obiekt badania może być nazwany systemem, zaś proces poznawania takich obiektów charakteryzuje systemowość. Podstawowymi formami, w których przejawiają się systemowe badania to

- Ogólna teoria systemów
- Wyspecjalizowane teorie systemów (techniczne, psychologiczne, biologiczne itp.)
- Ujęcie systemowe

Najkorzystniejszą formą badań systemowych dla potrzeb układów sterowania, ze względu na złożoność i interdyscyplinarność zadań badawczych, jest ujęcie systemowe w połączeniu z metodami i pojęciami stosowanymi w cybernetyce.

Dzisiaj nikogo nie trzeba przekonywać co do możliwości i zakresu zastosowań modelowania komputerowego. Jednakże te zalety i możliwości symulacji komputerowej mogą być w pełni wykorzystane tylko w przypadku stosowania się do pewnych zasad i metod modelowania.

Należy podkreślić, że podstawą efektywności symulacji jest odpowiednio dokładny model matematyczny. Określenie stopnia dokładności opisu matematycznego, jest nierozdzielnie związane z celem badań. Tak więc różnorodność zadań stawianych przed modelem w różnych fazach rozwoju i działania systemu sterowania, stawia różne wymagania co do struktury i dokładności opisu modelu.



Rysunek 2. Przebiegi procesu naprowadzania pocisku do celu znajdującego się w odległości 1600m i na wysokości 1m. w zależności od wartości stałej czasowej T_f regulatora.

Na rysunku 1 przedstawiono zastosowania systemów w poszczególnych fazach rozwoju, powstawania i działania systemu sterowania w pełnym cyklu rozwojowym. Pełny cykl obejmuje opracowanie koncepcji i projektu systemu, następnie przygotowanie projektu technologicznego i produkcję, wprowadzenie do eksploatację, szkolenie użytkowników oraz techniki użycia systemu sterowania zgodnie z jego przeznaczeniem. Na końcu mamy wycofanie systemu i zastąpienie go zmodernizowanym lub nowo opracowanym systemem.

ROZWÓJ SYSTEMU

Prace badawcze nad nowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi i technologicznymi powinny być procesem wielowariantowym i ciągłym, kontynuowanym również po wprowadzeniu do eksploatacji wybranego wariantu rozwiązań systemu. Doświadczenia uzyskane podczas eksploatacji systemu stanowią cenny materiał umożliwiający wybór właściwych kierunków rozwoju systemu i zastąpienie go w odpowiednim czasie doskonalszym wariantem.

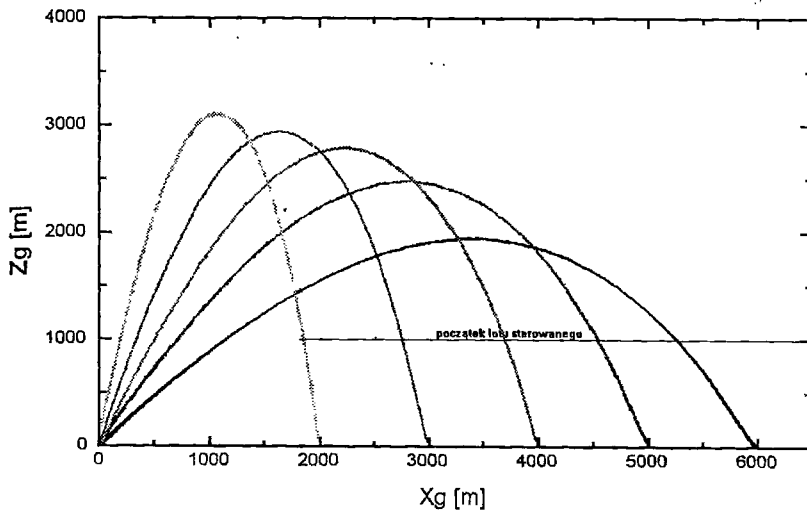
W całym tym procesie rozwoju kluczowe znaczenie ma budowa i doskonalenie prawidłowych modeli oraz symulacja komputerowa. Symulacja komputerowa przy odpowiedniej budowie i rozwoju modeli i ich wykorzystaniu, może i powinna być podstawowym narzędziem badań. Zgodnie z tą zasadą zazwyczaj bardzo drogi i czasochłonny eksperyment, szczególnie badania prototypowe, powinien być ograniczony do minimum niezbędnego dla identyfikacji modeli oraz końcowej weryfikacji projektu. Wymaga to oczywiście stałego doskonalenia modeli w miarę postępu prac projektowych nad elementami systemu i pojawienia się nowych wyników z badań eksperymentalnych.

Należy podkreślić, że obok doraźnego celu jakim jest doskonalenie i opracowanie nowych wzorów wyrobu, zespół projektantów powinien doskonalić swój warsztat badawczy w tym szczególnie metody symulacji. Odpowiednie metody symulacji pozwolą przyspieszyć prace badawczo-rozwojowe nad nowymi systemami a także, stworzyć podstawy badań i opracowań następnych faz istnienia systemu.

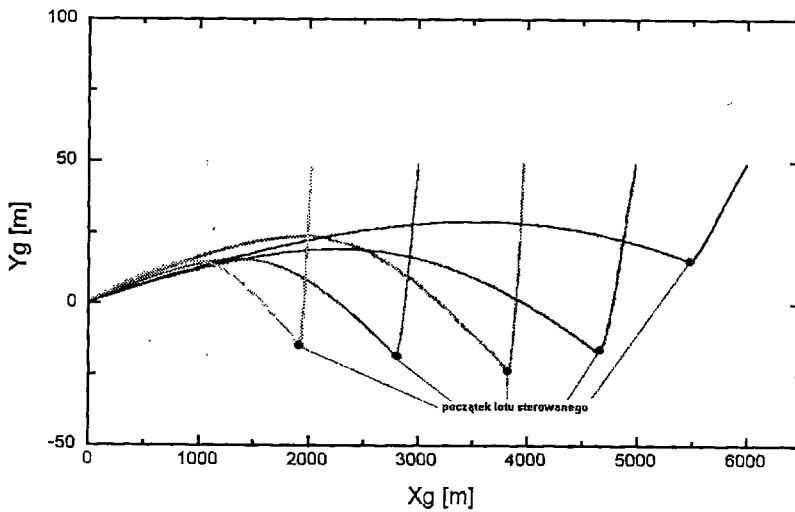
Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono przykłady zastosowań symulacji przy projektowaniu regulatora naprowadzania oraz koncepcji ataku celu z górnej sfery.

PROJEKT TECHNOLOGICZNY

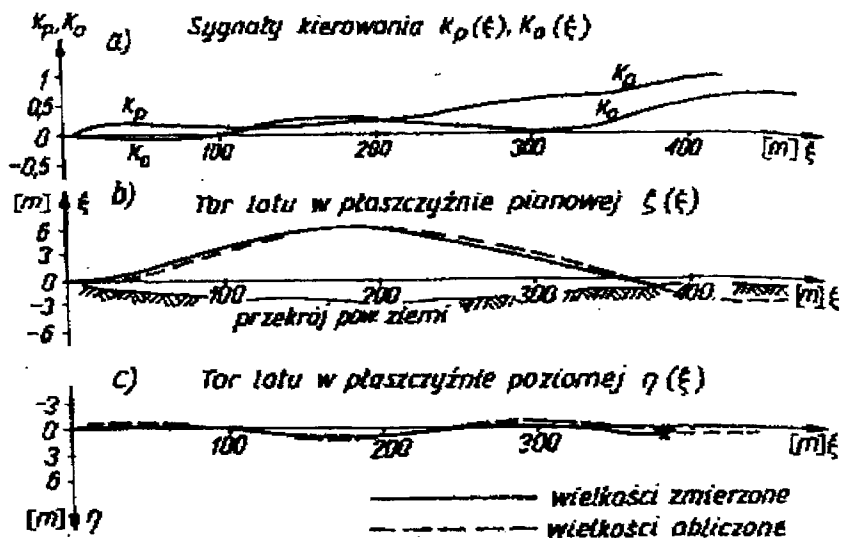
Jest to przystosowanie dokumentacji konstrukcyjnej do warunków i możliwości technologicznych oraz materiałowych producenta w taki sposób, aby gotowy wyrób spełniał postawione wymagania. Jednym z bardzo ważnych i złożonych problemów jest dobór dopuszczalnych błędów wykonania (tolerancji) oraz odchyłek materiałów i podzespołów. Powinien on być oparty na złożonej analizie wpływu tych odchyłek na funkcjonowaniu systemu jako całości. Taką analizę systemową umożliwiają odpowiednia modele stochastyczne systemu sterowania pociskiem.



Rysunek 3.a. Naprowadzanie sterowanego pocisku moździerzowego z górnej sfery do celu ruchomego dla różnych zasięgów strzelań (tory lotu w płaszczyźnie pionowej $X_g Z_g$).



Rysunek 3.b. Naprowadzanie sterowanego pocisku moździerzowego z górnej sfery do celu ruchomego dla różnych zasięgów strzelań (tory lotu w płaszczyźnie poziomej $X_g Y_g$).



Rysunek 4. Wykres toru lotu pocisku rzeczywistego-zmierzonygo (linia ciągła) oraz symulowanego (linia przerywana) przy tych samych sygnałach sterujących K_p i K_o podczas badań poligonowych strzelaniem do celu znajdującego się w odległości 500m. od wyrzutni i temperaturze powietrza - 23°C.

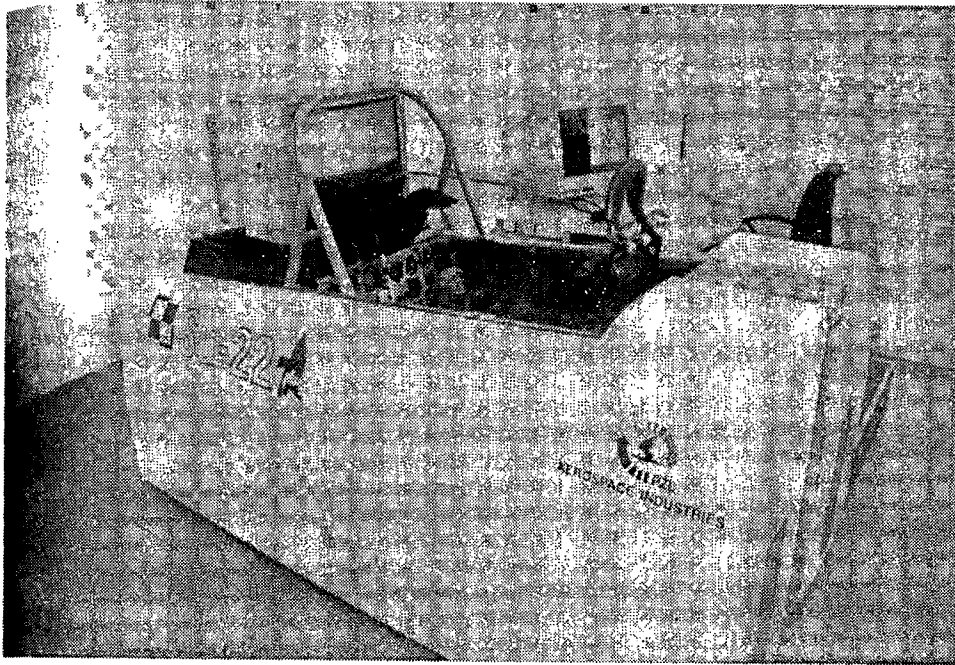
PRODUKCJA I KONTROLA WYROBU

Szczególnego znaczenia nabiera symulacja podczas analizy wyników kontrolnych badań odbiorczych w szczególności poligonowych produkowanych pocisków. Jednym z istotnych kryteriów oceny prawidłowości działania pocisku jest celność np. w przypadku celów pancernych jego trafienie. Jednak wynik ten zależy nie tylko od samego pocisku ale również pozostałych elementów systemu. W przypadku pocisków zdalnie sterowanych np. ppk również od właściwego wypracowania sygnału sterującego przez układ znajdujący się poza pociskiem. Przy ocenie poprawności działania pocisku np. w przypadku jego nie trafienia do celu należy dokładnie przeanalizować poprawność reakcji pocisku na przesyłane sygnały, co możliwe jest tylko metodą symulacji (rysunek 4). Również istotne znaczenie ma symulacja podczas analizy przyczyn nieprawidłowego działania pocisku a więc w diagnostyce.

EKSPLLOATACJA

Zastosowanie symulacji to m. inn diagnostyka przyczyn nieprawidłowego działania systemu podczas eksploatacji. Innym ważnym problemem jest analiza wpływu starzenia się oraz zużycia elementów w procesie eksploatacji na zachowanie się systemu.

SZKOLENIE UŻYTKOWNIKA



Rysunek 5. Symulator samolotu SU22 wykonany przez firmę ETC-PZL Aerospace Industries. (zdjęcie udostępnione przez firmę ETC-PZL Aerospace Industries)

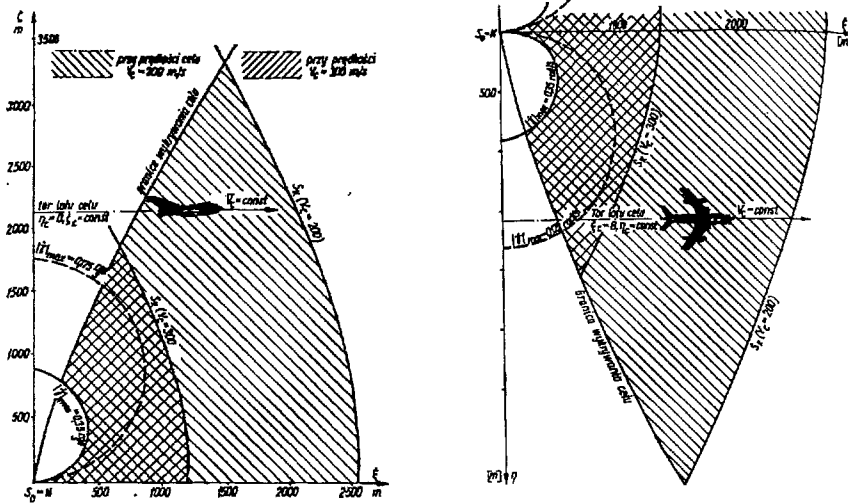
Jednym z podstawowych urządzeń podczas szkolenia operatorów raket lub pilotów samolotów są symulatory lub kabiny treningowe. Największą ich zaletą jest możliwość szkolenia operatorów systemów. W dowolnych warunkach ich działania w tym ekstremalnych z możliwością uwzględniania różnych stanów awaryjnych. Ponadto istotną zaletą takich ćwiczeń jest mniejszy koszt i większe bezpieczeństwo szkolenia w stosunku do ćwiczeń na rzeczywistym obiekcie. Na rysunku 5 przedstawiono polskiej produkcji symulator lotu do samolotu Su22.

Podstawą wszystkich symulatorów lotu jest model działający w czasie rzeczywistym, opisujący z wymaganą dokładnością właściwości całościowe systemu. Symulatory szczególnie symulatory lotu stają się dziedziną o najbardziej zaawansowanej i wyspecjalizowanej technice. Rozwojowi tej techniki poświęca się coraz więcej uwagi i środków.

METODYKA UŻYTKOWANIA

Odpowiedni model systemu np. samonaprowadzania rakiety do celu powietrznego, umożliwia symulację procesu naprowadzania pocisku do celu w dowolnych warunkach. Na warunki te składają się m. inn. ruch celu i wzajemne położenie w momencie startu nosiciela i celu, warunki atmosferyczne w tym szczególnie temperatura powietrza i podmuchy wiatru. Przykładowo na rysunku 6 przedstawiono strefy skutecznego ataku

celów powietrznych przez rakiety przeciwlotnicze typu K-13 (odmiana radziecka rakiety Sidevinder). Ograniczenia stref ataku spowodowane są nie tylko spadkiem prędkości rakiety ale również właściwościami głowicy śledzącej w tym szczególnie odległością wykrycia danego celu jak i dopuszczalną prędkością kątową śledzenia celu. Przekroczenie tej prędkości powoduje utratę kontaktu koordynatora z celem, a więc uniemożliwia samonaprowadzanie.



Rysunek 6. Strefy skutecznego ataku celu powietrznego w płaszczyźnie pionowej i poziomej pocisku.

LITERATURA

1. Maślowski Andrzej; Komputerowa identyfikacja parametrów lub stanu w układach technicznych.
2. Lisowski Józef; Statek jako obiekt sterowania automatycznego.
3. Marynia Jerzy; Prawa sterowania zastosowane w modelowaniu i symulacji automatycznie sterowanych obiektów latających.
4. Ryszard Vogt, Robert Głębocki; Badania symulacyjne w rozwoju techniki i szkoleniu wojsk.