

# TEORIA I INŻYNIERIA SYSTEMÓW

**Dr inż. Maciej Tabaszewski**  
**Politechnika Poznańska**  
**Instytut Mechaniki Stosowanej**  
**Ul. Piotrowo 3**  
**60-965 Poznań**

**pok. 311**  
**tel. (61) 66 52 390**

## **Literatura**

Blanchard B.S., Fabrycky W.J., *Systems Engineering and Analysis*,  
Prentice Hall, new Jersey, 1990  
Cempel C., *Teoria i inżynieria systemów*, skrypt elektroniczny,  
neur.am.put.poznan.pl  
Robertson J. i S., *Pełna analiza systemowa WNT*, Warszawa, 1999

**Większość materiałów opracowano na podstawie *Blanchard B.S.,  
Fabrycky W.J., Systems Engineering and Analysis, Prentice Hall,  
new Jersey, 1990***

*Inżynieria i Analiza Systemów* – znajdowanie optymalnych rozwiązań w projektowaniu, wytwarzaniu i użytkowaniu systemów w całym cyklu ich życia z uwzględnieniem wielu kryteriów (np. ekonomicznych).

*Ogólna teoria systemów* - nauka badająca ogólne prawa rządzące dowolnymi złożonymi układami stanowiącymi funkcjonalne całości

### **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.

Z kolei grupa przedmiotów leżących na stole może stanowić zbiór o zdefiniowanych zależnościach pomiędzy nimi ale nie może być uważana za system z powodu braku jedności, zależności funkcjonalnych i użytecznego celu.

Przy badaniu systemu musimy zawsze brać pod uwagę własności systemu jako całości, jego strukturę i funkcję. Tworząc nowy system musimy rozpatrywać go jak i każdy jego element w nawiązaniu do wpływu na elementy sąsiednie, i sąsiednie systemy we wszystkich etapach jego życia (istnienia).

Każdy system ma *cel* dla którego wszystkie elementy i atrybuty zostały zorganizowane.

*Cel systemu* musi być wyraźnie zdefiniowany aby komponenty systemu mogły dostarczyć żadanego wyjścia na każdy dany zbiór wejść.

Zdefiniowanie celu pozwala mierzyć efektywność wskazującą jak dobrze system działa.

Ustanowienie celu systemu i zdefiniowanie miary efektywności jest często wyzwaniem samym w sobie.

*Całościowa funkcja systemu* to możliwość przekształcania określonej wielkości wejściowej na określoną wielkość wyjściową. Np. dla elektrociepłowni funkcją jest przekształcanie energii paliwa w energię ciepłą i elektryczną. Funkcje można wyróżnić także dla poszczególnych elementów systemu (częstkowe funkcje) np. transportowanie, łączenie, rozdzielanie, przetwarzanie, magazynowanie, niszczenie itp.

### **Składowe systemu**

- \* elementy,
- \* atrybuty,
- \*zależności (relacje, związki).

**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.

System który przetwarza materię, energię albo informację jest złożony z elementów strukturalnych, działaniowych, elementów przepływowych.

Elementy strukturalne – części statyczne systemu,

Elementy działaniowe- elementy wykonujące proces,

Elementy przepływowe – przetwarzana materia, energia, informacja.

Elementy strukturalne działaniowe i przepływowe, mają różne atrybuty które wpływają na system.

**Atrybuty** są właściwościami elementu systemu – charakteryzują parametry systemu. Przykładowo atrybuty systemu elektrycznego mogą być opisane w kategoriach pojemności, oporności itp.

**Relacje są powiązaniem** pomiędzy elementami i atrybutami.

Relacja istnieje pomiędzy dwoma i tylko dwoma komponentami.  
Relacja pomiędzy komponentami jest bezpośrednia.

Powiązania konieczne z funkcjonalnego punktu widzenia nazywane są związkami pierwszego rzędu (np. symbioza pomiędzy organizmami). Powiązania drugiego rzędu zwane synergicznymi to takie, które uzupełniają się wzajemnie i zwiększają wydajność systemu. Powiązania trzeciego rzędu występują wtedy kiedy są nadmiarowe (zbyteczne, redundantne). Nadmiarowość (redundancja) w systemie istnieje wtedy gdy istnieją zdublowane elementy w celu zabezpieczenia funkcjonowania systemu (np. trzy komputery na promie kosmicznym zajmujące się sterowaniem żywotnymi elementami promu).

Połączenia pomiędzy elementami mogą służyć sterowaniu czyli wymuszeniu zamierzonego stanu.

## Systemy i podsystemy

Każdy element systemu może być rozpatrywany jako *podsystem*.

Np. w systemie transportu powietrznego *podsystemy* stanowić mogą: samoloty, wyposażenie służb naziemnych, terminale, służby kontroli lotu itp. Natomiast ludzie, informacja, składniki wyposażenia mogą być rozpatrywane jako elementy systemu. Określenie co jest systemem, co *podsystemem* a co *elementem* jest względne ponieważ system na jednym poziomie hierarchii jest elementem innego.

W pewnych praktycznych sytuacjach bardzo istotne jest zdefiniowanie rozpatrywanego systemu poprzez wyspecyfikowanie jego granic. Wszystko co pozostaje na zewnątrz tych granic jest środowiskiem (otoczeniem) systemu. Jednakże system nie jest całkowicie izolowany od jego otoczenia. Elementy przepływowe: materia, energia i informacja muszą często przechodzić przez granice systemu i stanowią jego wejście. Z kolei elementy te wychodzące z systemu i przekazywane do otoczenia stanowią jego wyjście.

Przykładowy system stacji paliw i jego podsystemy

System operacyjny – złożony z zespołu urządzeń oraz operatorów realizujących główny cel systemu (dystrybutory, myjnie itp.),

System obsługujący (utrzymania ruchu) złożony z wyposażenia technicznego do konserwacji oraz naprawy urządzeń, diagnostyki stanu (np. podsystem kontrolno pomiarowy detekcji wycieków) a także pracowników obsługi

Zaopatrzeniowy złożony z zasobów i surowców, materiałów pomocniczych, części wymiennych oraz pracowników tego podsystemu

Technicznych środków gromadzenia, przesyłania i przetwarzania informacji

Obsługi socjalnej pracowników systemu

Zarządzania systemami

System monitoringu i zabezpieczenia stacji przed napadem i włamaniem

Przykład: gospodarka jako system składający się z różnych podsystemów: przedsiębiorstw, gospodarstw domowych, urzędów państwowych, instytucji społecznych itd. Między elementami systemu istnieją różnorodne powiązania i wzajemne zależności. Zachowanie się tych elementów oznacza się określonymi prawidłowościami.

Na każdym poziomie hierarchii poprawny opis systemu musi zawierać wszystkie elementy, atrybuty tych elementów i wszystkie relacje.

Podejście systemowe jest raczej z góry w dół hierarchii niż odwrotnie. Na początku uwaga kierowana jest na system jako czarną skrzynkę która oddziałuje z otoczeniem (określone wejścia i wyjścia). Następnie uwaga kierowana jest na mniejsze podsystemy które łączą się aby osiągnąć cel systemu. Najniższy poziom brany pod uwagę stanowią pojedyncze elementy.

### *Postulaty i składnie systemów*

#### 1. Każdy system ma swoje podsystemy

Takim sposobem systemy są nieskończone w głąb. Praktycznie niektóre systemy (elementy systemu) określamy jako podstawowe, niepodzielne i z nich budujemy cały system.

#### 2. Każdy system ma swoje nad-systemy

Takim sposobem systemy są nieskończone wzdłuż hierarchii. Praktycznie systemy rozważamy ze swoim wejściem i wyjściem. Tym samym określamy granice rozważanego systemu i definiujemy kontakt z „otoczeniem”. Faktycznie otoczenie pochodzi z innego systemu w którym rozważany system jest podsystemem, ale takim sposobem zamykamy rozważania wzdłuż hierarchii.

Potem może się zdarzyć, że dla naszych celów to zamykanie nie wystarczy. Wtedy wracamy w kroku budowy (definicji) systemu i włączamy niektóre elementy z tego otoczenia do systemu.

## **Klasyfikacja systemów**

*Ze względu na pochodzenie (powstanie):*

\*systemy naturalne – powstałe w wyniku naturalnych procesów, wykazują wysoki stopień uporządkowania i równowagę. Organizmy adaptują się aby utrzymać równowagę ze środowiskiem. Każde zdarzenie w naturze jest związane właściwą adaptacją {np. wobec cykliczności (sezonowości) przyrody}. W świecie przyrody nie ma strat tylko ciągła recyrkulacja.

\*sztuczne – są dziełem człowieka, są zakorzenione w środowisku naturalnym, stąd też często istnieje wzajemne oddziaływanie tych systemów z systemami naturalnymi.

*Ze względu na dziedzinę istnienia:*

\*fizyczne (konkretne). Złożone z rzeczywistych elementów.

\*konceptualne (abstrakcyjne). Atrybuty systemu reprezentowane przez symbole. Elementami mogą być plany, hipotezy, idee. Przykładem może być zbiór planów i specyfikacji dla powoływanego do życia systemu fizycznego.

*Ze względu na zmienność struktury systemu:*

\*statyczny – posiadający nieaktywną strukturę np. most. System jest statyczny ale tylko w ograniczonym układzie odniesienia. Np. most jest konstruowany przez pewien okres czasu, a to jest proces dynamiczny. Następnie jest utrzymywany, a być może i zmieniany aby spełnić zamierzony cel w pełni.

\*dynamiczny – zawiera elementy strukturalne zmieniające się w czasie. Np. szkoła złożona z budynków, ale także uczniów, nauczycieli, programu nauczania, ...

Zmienność systemu może dotyczyć zmian samej struktury jak i zmian samego procesu w ramach ustalonej struktury. Ważnym pojęciem jest także stabilność systemu jako zdolność do zachowania stanu (tożsamości) w obliczu zakłóceń i wymuszeń zewnętrznych.



*Ze względu na określone wejścia i wyjścia systemu*

\*deterministyczne – prognozowalne (dokładnie przewidywalne). Np. równowaga chemiczna osiągnięta w zamkniętym naczyniu po zmieszaniu różnych czynników. Reakcja taka może być prognozowana na podstawie znajomości zbioru warunków początkowych. Dany zbiór wejść determinuje określone wyjście.

\*stochastyczne (probabilistyczne) – prognozowalne tylko probabilistycznie. Mające losowe właściwości. W prawie wszystkich systemach wejścia, procesy i wyjścia mogą być opisane tylko w kategoriach statystycznych. Niepewność dotyczy często zarówno liczby wejść i jak i rozkładu tych wejść w czasie. Np. trudno przewidzieć dokładnie liczbę pasażerów, którzy będą zgłaszać się do odprawy przed lotem albo dokładnie określić czas kiedy przybędą na lotnisko. Wszystkie te czynniki muszą być określone w kategoriach rozkładu prawdopodobieństwa.

*Ze względu na relację systemu z otoczeniem*

\* Otwarty – wymieniający materię, energię i informację z otoczeniem np. rośliny, systemy ekologiczne, przedsiębiorstwa itp. Wykazują one charakterystyczny stan równowagi gdzie dynamiczne oddziaływanie elementów systemu dostraja się do zmian w otoczeniu. Przyczyną stanu stabilnego jest samo-regulacja i nierzadko samo-adaptacja. Istotną rolę odgrywa tutaj pojęcie ujemnego sprzężenia zwrotnego.

\*Zamknięty – bez istotnego oddziaływania z otoczeniem. Otoczenie stanowi tylko kontekst dla systemu. Systemy takie wykazują charakterystyczną równowagę będącą rezultatem wewnętrznej „sztywności” która utrzymuje system pomimo wpływu z zewnątrz. Np. równowaga chemiczna osiągnięta w zamkniętym naczyniu po zmieszaniu różnych czynników, systemy abstrakcyjne (w termodynamice) służące poznaniu właściwości materii. Tak więc systemy zamknięte charakteryzują się zdeterminowanymi oddziaływaniami.

## Cykl życia systemu

Cykl życia systemu (produktu) rozpoczyna się wraz z początkową identyfikacją potrzeb, poprzez planowanie, badania, projektowanie, produkcję, ocenę, użytkowanie, serwisowanie i ostateczne wycofanie produktu tzw. consumer- consumer cycle (cykl rozpoczyna się na użytkownika i na nim kończy).

W ogólności, inżynierowie kładą nacisk głównie na fazę wstępnego i ostatecznego projektowania oraz produkcji. Ważniejszym celem są osiągnięcia (parametry techniczne) produktu *niż całościowe rozwijanie systemu z uwzględnieniem ekonomicznych czynników*. Jednakże doświadczenia ostatnich dekad wykazują że właściwie funkcjonujący system, który jest konkurencyjny na rynku, nie może zostać zrealizowany w dużej mierze poprzez wysiłki zastosowane już po powołaniu systemu do życia. W związku z tym jest rzeczą zasadniczą aby inżynierowie byli wrażliwi na podejście systemowe *podczas wczesnych etapów rozwoju systemu i powinni przyjmować odpowiedzialność za cały cykl życia systemu*.

Każdy produkt (np. telewizor, samochód itp.) nie może funkcjonować poprawnie bez użytkownika, potencjału produkcyjnego, potencjału serwisowego itp.. Zajmując się podejściem systemowym nie wolno rozważać samego produktu ale proces jego wytwarzania, eksploatacji przez użytkownika, utrzymania, serwisowania itp...

### **Cykl życia systemu**

I. **Identyfikacja potrzeb** (faza wartościowania) - początek formułowania systemu odbywa się u użytkownika przez artykulację jego potrzeb, pragnień, upodobań, preferencji. Jednostka lub organizacja identyfikuje potrzebę lub funkcję która ma zostać spełniona, a następnie nowy lub zmodyfikowany system zostaje produkowany aby wykonać tę funkcję. Cykl życia systemu i proces inżynierii systemów rozpoczyna się wraz z identyfikacją potrzeb pojawiającą się na skutek braku, niedoboru (niedostatku), postrzeganego lub rzeczywistego.

Bardzo ważne jest aby:

\*natura występującego niedostatku była dobrze zidentyfikowana (brak produktu o właściwej charakterystyce, niewłaściwy potencjał wspomagania systemu, rosnące koszty użytkowania itp.),

\*była określona data kiedy nowy system musi zostać zainstalowany i działać.

Na tym etapie nie jest identyfikowane rozwiązanie problemu, nie jest proponowana konfiguracja systemu. Celem tego etapu jest ustalenie ponad wszelką wątpliwość, że oto jest faktyczna zidentyfikowana potrzeba. Mimo iż wydaje się to być rzeczą podstawową to jednakże często rozpoczyna się proces projektowania czegoś bez uzasadnionej takiej potrzeby.

## **II. *Planowanie i projektowanie koncepcyjne systemu***

Faza koncepcyjna - proces twórczy, intelektualny, gdzie obiekt techniczny znajduje się w stanie poczęcia. Można go ukształtować w sposób dowolny i zależny od preferencji i etyki.

Analiza systemowa na tym etapie związana jest z oceną różnych alternatywnych podejść które są wykonalne w kontekście zidentyfikowanych potrzeb.

Tak więc mając wyartykułowane potrzeby można:

- zidentyfikować wszystkie alternatywy które spełniają wymagania,
- sprawdzić i ocenić najbardziej prawdopodobne rozwiązania w kategoriach osiągnięć, efektywności i kryteriów ekonomicznych,
- wybrać najbardziej preferowane podejście. Nie zawsze będzie to rozwiązanie optymalne ale będzie najlepsze z pośród wielu rozpatrywanych przy danych ograniczeniach. Wybrana konfiguracja systemu musi być zdefiniowana w kategoriach technicznych charakterystyk wydajnościowych, współczynników efektywności, celów ekonomicznych itp...

Na podstawie zidentyfikowanych potrzeb musimy zdefiniować podstawowe wymagania dla systemu w kategoriach kryteriów *wejściowych do projektowania*. Aby je sformułować powinniśmy odpowiedzieć na następujące pytania:

\*Co system ma osiągnąć w kategoriach funkcjonalnych charakterystyk np. zasięg, dokładność, prędkość działania, moc wyjściowa itp. ? Jeżeli pożądany system jest podobny do któregoś z istniejących, to które własności dotychczasowego systemu związane z działaniem, konserwacją itp. należy zastosować ?

\*Kiedy system będzie potrzebny ? Jakie są wymagania odbiorcy ? Jaki jest spodziewany czas życia systemu ? Czy istnieje jakieś pierwszeństwo w doborze funkcji i urządzeń potrzebnych do zrealizowania pożądanych cech ?

\* Czy istnieją jakieś wymagania normowe którym należy się podporządkować ?

\*Jak system będzie używany w kategoriach godzin pracy dziennie, liczby włączeń na miesiąc, cykli pracy itp..?

\*Jak system będzie dystrybuowany i dostarczany ? Gdzie są zlokalizowane zmienne elementy systemu i na jak długo ?

\*Jaką wymaganą efektywność powinien wykazywać system ? Efektywnościowe postacie miar mogą zawierać współczynniki oparte o efektywność kosztową, niezawodność, dostępność itp.

\*Które z upodobań użytkowników należy zaspokoić (rozmiary, stylizacja, jakość, materiały itp.). Jakie są żądania i uprzedzenia potencjalnych użytkowników dotyczące bezpieczeństwa, możliwości dostosowania projektu do mniejszych zmian, prostoty konstrukcji, czasu eksploatacji itp. ?

\*Jakie są wymagania środowiskowe systemu: temperatura, wilgotność, dopuszczalne poziomy drgań i wymuszenia uderzeniowe itp. Czy system ma działać w obszarach podbiegunowych, tropikalnych, górzystych czy na płaskim terenie oraz jaki jest przewidywany sposób transportu, składowania, załadunku itp..

\*Czy należy zaprojektować system, aby dopasować go do pewnych szczególnych własności rynku (istnienie zapotrzebowania masowego bądź też określonej grupy ludzi) ?

\*Jak system będzie obsługiwany, utrzymywany podczas jego życia ? Czy będzie eksploatowany w trybie planowo-zapobiegawczym, czy od naprawy do naprawy, czy będzie diagnozowany i eksploatowany zgodnie z bieżącym stanem technicznym ? Jakie składniki będą potrzebne do obsługi (części zapasowe, części do napraw, urządzenia do testowania i diagnostyki, wymagania środków transportu, wymagania co do personelu, szkolenia personelu, oprogramowania, pomieszczeń itp.). W jakim zakresie potrzebna będzie obsługa i konserwacja urządzeń?

\*Kiedy system stanie się przestarzały i/ lub kiedy zostanie usunięty ze stanu, jakie są wymagania co do pozbycia się systemu. Czy możemy system utylizować ? Jakie mogą być efekty dla środowiska ?

Odpowiedzi na te pytania z reguły pochodzą z techniczno - ekonomicznej analizy wykonalności, koncepcji sposobu utrzymania i wspomaganie, przygotowania specyfikacji systemu.

## *II.1. Wymagania operacyjne systemu*

### 1. Definicje misji systemu

Co system ma realizować ? Jak system będzie realizował cele ? Misja systemu może być zdefiniowana poprzez jeden albo zbiór scenariuszy lub profili działania systemu. Np. w projektowaniu samolotu mogą być wyartykułowana pewna liczba profili lotu (np. wysokość w funkcji czasu lotu). Mimo iż nie wszystkie możliwości będą mogły być na tym etapie rozważone powinno się wyartykułować kilka reprezentatywnych podejść (można wyartykułować górne i dolne granice).

### 2. Wydajność i parametry fizyczne

sprecyzowanie charakterystyk operacyjnych (działaniowych) lub funkcji systemu (np. rozmiar, ciężar, prędkość, dokładność, pojemność). Jakie są krytyczne osiągi systemu ?

### 3. Wymagania co do użytkowania

planowane użytkowanie systemu i jego elementów np. ile godzin działania dziennie, ile włączeń i wyłączeń, ilość cykli działania na miesiąc itp.) Jak system będzie używany ? Celem jest powiązanie określonych osiągow i charakterystyk użytkowych z profilami działania (uzyskanymi na etapie definiowania misji). Prowadzi to do identyfikacji faktycznych wymagań systemu.

### 4. Rozmieszenie i dystrybucja

identyfikacja ilości wyposażenia, personelu, pomieszczeń itp. i geograficzna lokalizacja precyzująca wymagania co do środków transportu i mobilności. Jak wiele wyposażenia i np. oprogramowania będzie dystrybuowane i gdzie będzie ono zlokalizowane ? Kiedy one są potrzebne ? Kiedy system stanie się w pełni funkcjonalny ?

### 5. Cykl życia (horyzont)

przewidywanie czasu kiedy system będzie w eksploatacji. Kto będzie posługiwał się systemem i jak długo? Analiza ta ustanawia podstawy dla identyfikacji trwania cyklu życia i oceny kosztów cyklu życia.

### 6. Współczynniki efektywności systemu

- wymagania systemu wyspecyfikowane jako współczynniki kosztowe, współczynniki niezawodnościowe, średni czas pomiędzy obsługiwaniem, tempo uszkodzeń, łatwość użycia, poziom umiejętności operatora, wydajność personelu itp. Jak efektywnie i wydajnie dany system będzie działał.

### 7. Środowisko -

definicja środowiska w którym system ma działać (temperatura, wilgotność itp.). Ten etap powinien zawierać zakres dopuszczalnych wartości i powinien obejmować wszystkie środki transportu, manipulacji i przechowywania (warunki środowiskowe tych procesów).

Należy uwzględnić jak system będzie rozmieszczony i utylizowany (wycofywany) przez użytkownika.

*II.2. Koncepcja utrzymania systemu* – W artykułowaniu wymagań co do systemu istnieje tendencja planowania w pierwszym podejściu tych elementy systemu, które są związane bezpośrednio z osiągnięciami i wydajnością systemu (spełnienie misji). Małą uwagę poświęca się problemowi utrzymania systemu. Nacisk kładzie się więc tylko na część systemu, a nie na cały system. W praktyce system nie wyartykułowany w całości może być kosztowny.

Utrzymanie (wspomaganie) systemu musi być rozpatrywane na zintegrowanych podstawach od samego początku jeśli końcowy produkt ma być efektywny kosztowo.

Koncepcja utrzymania, która rozwija się z definicji wymagań operacyjnych systemu określa:

1. przewidywane poziomy wspomaganie utrzymania,
2. podstawą odpowiedzialność za utrzymanie,
3. ogólną politykę remontową,
4. główne elementy wsparcia logistycznego jakie zostaną zastosowane do nowego systemu (np. filozofia badań, testów, klasa aparatury testującej itp.)
5. wymagania efektywnościowe związane z potencjałem utrzymania systemu (np. wydajność personelu, kwalifikacje personelu, niezawodność wyposażenia testowego itp.).

#### 6. środowisko utrzymania

Opracowanie takiej koncepcji zapewnia podstawy do ustanowienia wymagań utrzymywalności (niezawodność, gotowości, charakterystyki ergonomiczne) w projektowaniu systemu i wyposażenia oraz identyfikacji zadań utrzymania (np. obsługowych), częstotliwości zadań i czasów obsługowych, kwalifikacji personelu związanego z utrzymaniem, potrzeb szkolenia, wyposażenia do badań i naprawy, części zapasowych, zamiennych, udogodnień montażowych i wymiany elementów itp.

Przykładowo jeżeli polityka remontowa wskazuje że nie planuje się realizacji utrzymania systemu u użytkownika projekt wyposażenia nie musi zabezpieczać badań testowych czy diagnostycznych. Z drugiej strony jeśli zdecydowano że pewna liczba obsługowań powinna być wykonana na miejscu wtedy być może należy rozważyć wbudowane samo- testujące zabezpieczenia, zadbać o dostęp do poszczególnych elementów, przewidzieć łatwo usuwalne funkcjonalne moduły. Koncepcja utrzymania pomaga w ustanowieniu *kryteriów projektowych* związanych z wspomaganie systemu.



### \*Poziom I utrzymania

Zabiegi związane z utrzymaniem systemu mogą być wykonane – na miejscu użytkownika (eksploatacji). Zwykle zadania te wykonywane przez jednostkę użytkownika za pomocą jego własnego wyposażenia. Na tym poziomie personel ma minimum czasu na szczegółowe zabiegi związane z utrzymaniem systemu.

Utrzymanie na tym poziomie jest zwykle ograniczone do okresowego sprawdzania wyników (osiągów) systemu, inspekcji wizualnych, konserwacji, czyszczenia, przeglądu, regulacji usuwania i zastępowania pewnych elementów. Personel *ogólnie* nie naprawia usuniętych elementów ale przesyłania je do serwisu (średni poziom utrzymania). Personel o względnie najniższych kwalifikacjach jest przydzielony do tej funkcji. Projekt wyposażenia musi ten fakt wziąć pod uwagę. (Projektowanie dla prostoty)

### \*Średni poziom

Zadania realizowane są przez mobilne albo stacjonarne specjalizowane jednostki. Na tym poziomie końcowym punktem może być naprawa poprzez usunięcie i zastąpienie ważniejszych modułów, zespołów lub części. Personel jest zwykle bardziej biegły i lepiej wyposażony niż w poprzednim poziomie i jest odpowiedzialny za wykonanie bardziej szczegółowych zabiegów obsługowych.

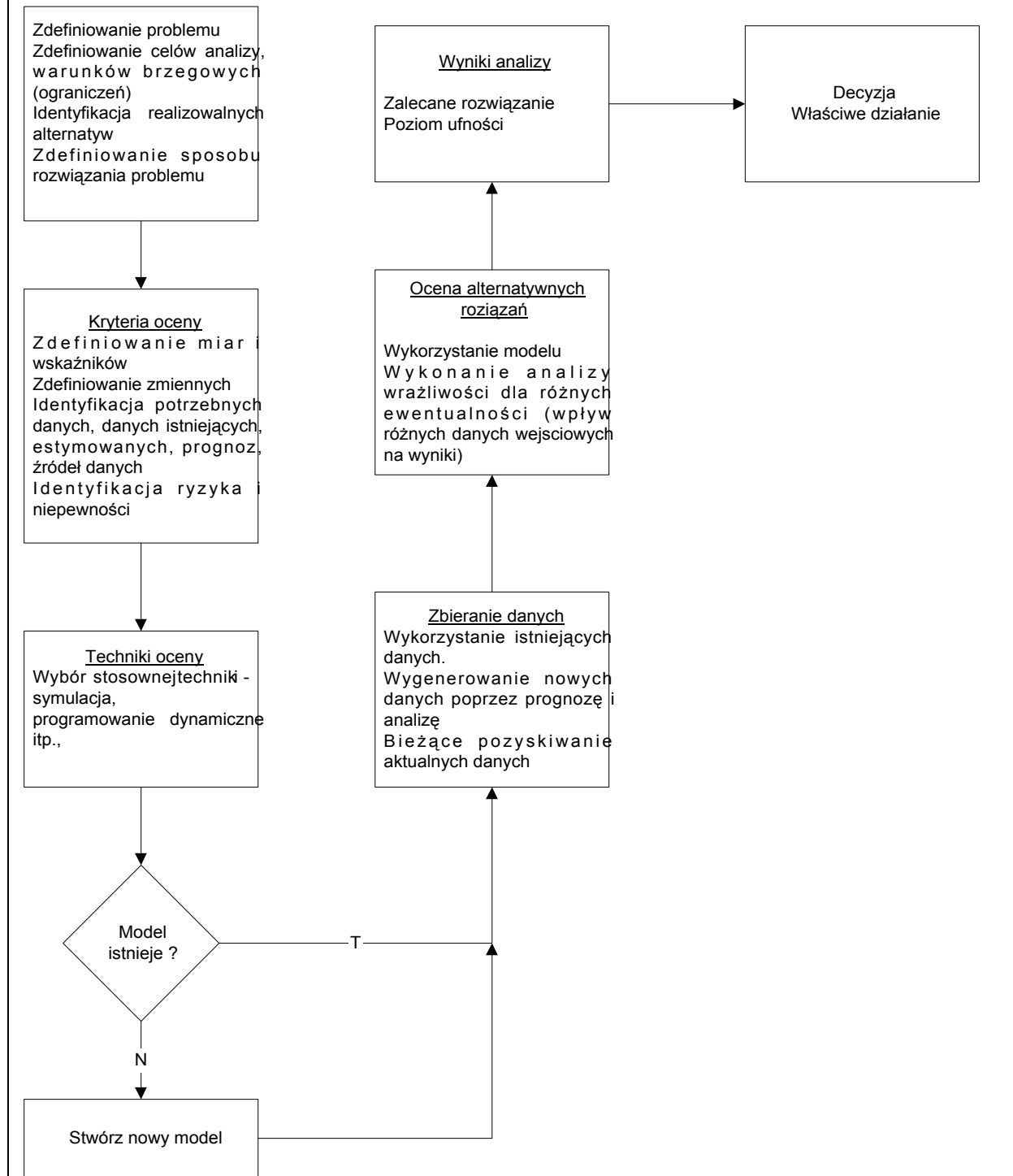
### \*Poziom III

Stanowi najwyższy typ utrzymania i pozwala na osiąganie zadań poza potencjałem dostępnym średniemu poziomowi. Fizycznie może to być specjalizowany zakład naprawczy, może to być dostawca wyposażenia lub fabryka producenta. Można zastosować złożone i nieporęczne wyposażenie, charakterystyczne są duże ilości zapasów, możliwość kontroli środowiska, itp.

### II.3. Wstępna analiza systemowa

Definicja operacyjnych i związanych z utrzymaniem wymagań systemu jest punktem startowym w dalszym procesie.

#### Algorytm analizy systemowej



*Zdefiniowanie problemu* – wyjaśnienie celów, sprecyzowanie problemu, ograniczenie problemu tak aby mógł być studiowany w sprawny, wydajny sposób. W wielu przypadkach natura problemu jest oczywista, podczas gdy w innych precyzyjna definicja problemu może być najtrudniejszą częścią całego procesu. Jednakże jeżeli problem nie jest jasno i precyzyjnie zdefiniowany jest wątpliwe czy analiza jakiegokolwiek typu będzie sensowna.

*Identyfikacja wykonalnych rozwiązań alternatywnych* – wszystkie możliwe podejścia muszą być początkowo wzięte pod uwagę . Tak więc wskazane jest wykonać listę wszystkich możliwych propozycji rozwiązania problemu aby zabezpieczyć się przed nieumyślnym pominięciem, a następnie eliminacja tych które są jawnie nieatrakcyjne, pozostawiając tylko najbardziej obiecujące do dalszej oceny.

*Wybór kryteriów oceny* – kryteria użyte w procesie oceny mogą różnić się znacznie, w zależności od danego problemu i poziomu złożoności analizy. Np. na poziomie systemu najważniejsze parametry obejmują osiągi systemu, koszty itp.\*

*Zastosowanie techniki modelowania* – Następny krok w procesie analizy dotyczy zastosowania analitycznych technik w postaci modelu lub kilku modeli. Model może być prosty lub złożony, wysoce matematyczny i nie matematyczny, zaimplementowany komputerowo lub nie itp. Szczegółowość modelu zależy od natury problemu w stosunku do liczby zmiennych, relacji pomiędzy parametrami wejściowymi, liczbą alternatyw które są oceniane, złożoności operacji itp.

*Wyspecyfikowanie wymagań co do właściwych danych wejściowych i generowanie danych wejściowych do analizy.* Dane muszą być zbierane w czasie i prezentowane we właściwej formie. Wymagania co do danych są identyfikowane z kryteriów oceny i z wymagań wejściowych modelu stosownego do celu oceny systemu.

Manipulowanie modelem (symulacja) - Po zgromadzeniu danych i wykorzystaniu modelu otrzymane wyniki będą prowadzić do zalecenia pewnego typu działania. W danej analizie może być wiele kluczowych parametrów wejściowych których jesteśmy bardzo niepewni. Należy przeanalizować czułość rezultatów analizy na zmienność tych niepewnych parametrów. To będzie prowadzić do wskazania rozwiązania wraz z identyfikacją obszarów potencjalnego ryzyka.

Wstępna analiza systemów jest iteracyjna z natury.

#### *II.4. Zaawansowane planowanie systemowe*

Po wybraniu konkretnego rozwiązania należy przygotować specyfikację systemu (opis techniczny), ułożyć harmonogram, i przygotować wstępne plany związane z pozyskaniem produktu (projektowaniem i produkcją), testowaniem i oceną, użyciem i wspomaganie oraz usunięciem, wycofywaniem, utylizacją produktu.

*Specyfikacja systemu* obejmuje następujące obszary:

- \*ogólny opis systemu i jego funkcji
- \*wymagania operacyjne
- \*definicja koncepcji utrzymania
- \*charakterystyki osiąarów i fizyczne charakterystyki
- \*charakterystyki projektowe – niezawodność, sposób transportu itp..
- \*charakterystyki konstrukcyjne – materiały, komponenty, jakość wykonania itp..
- \*wspomaganie logistyczne – wyposażenie diagnostyczne, testowe, personel, szkolenia,
- \*zabezpieczenie jakości – badania i ocena.

### **III Etap wstępnego projektowania systemu**

#### *Analiza funkcjonalna systemu*

Podstawowym elementem wstępnego projektowania jest zastosowanie funkcjonalnego podejścia jako podstawy do identyfikacji potrzeb dla każdego hierarchicznego poziomu systemu. Funkcja stanowi określone działanie konieczne do osiągnięcia danego celu. (np. działanie które system musi wykazywać aby realizować swoją misję, działania obsługowe które są konieczne do odzyskania zdolności użytkowej).

*Analiza funkcjonalna* pomaga zapewnić:

- \* że wszystkie aspekty dalszego tworzenia systemu, działania i wspomaganie są uwzględnione. Obejmuje to projektowanie, produkcję, konstrukcję, badania, rozmieszczenie, transport, szkolenie, obsługę i utrzymanie.
- \* wszystkie elementy systemu są w pełni rozpoznane i zdefiniowane (np. technologie, personel, badania, wyposażenie itp.)
- \* zidentyfikowano wszystkie relacje pomiędzy potrzebami i zasobami
- \* właściwa sekwencja i zależności w procesie projektowania są ustalone.

Analiza funkcjonalna jest logicznym i systematycznym podejściem do projektowania systemów. Stanowi proces przetwarzania wymagań operacyjnych i wspomaganie systemu w specjalne ilościowe i jakościowe wymagania projektowe. Proces ten jest iteracyjny i realizowany poprzez *diagramy funkcyjne*.

Diagramy te pozwalają wykryć podstawową organizację systemu i zidentyfikować obszary wzajemnego oddziaływania. Bloki funkcyjne dotyczą tego co ma być osiągnięte w kontekście realizacji jak ma coś zostać zrobione.

Diagramy mogą być konstruowane na wielu poziomach. Diagramy pierwszego poziomu prezentują z grubsza funkcje działaniowe. Kolejne poziomy pokazują rozwój indywidualnych funkcji poprzedniego poziomu. Diagramy przygotowywane są w dół do poziomu koniecznego do ustalenia potrzeb (hardware, software, technologie, personel, dane) systemu.

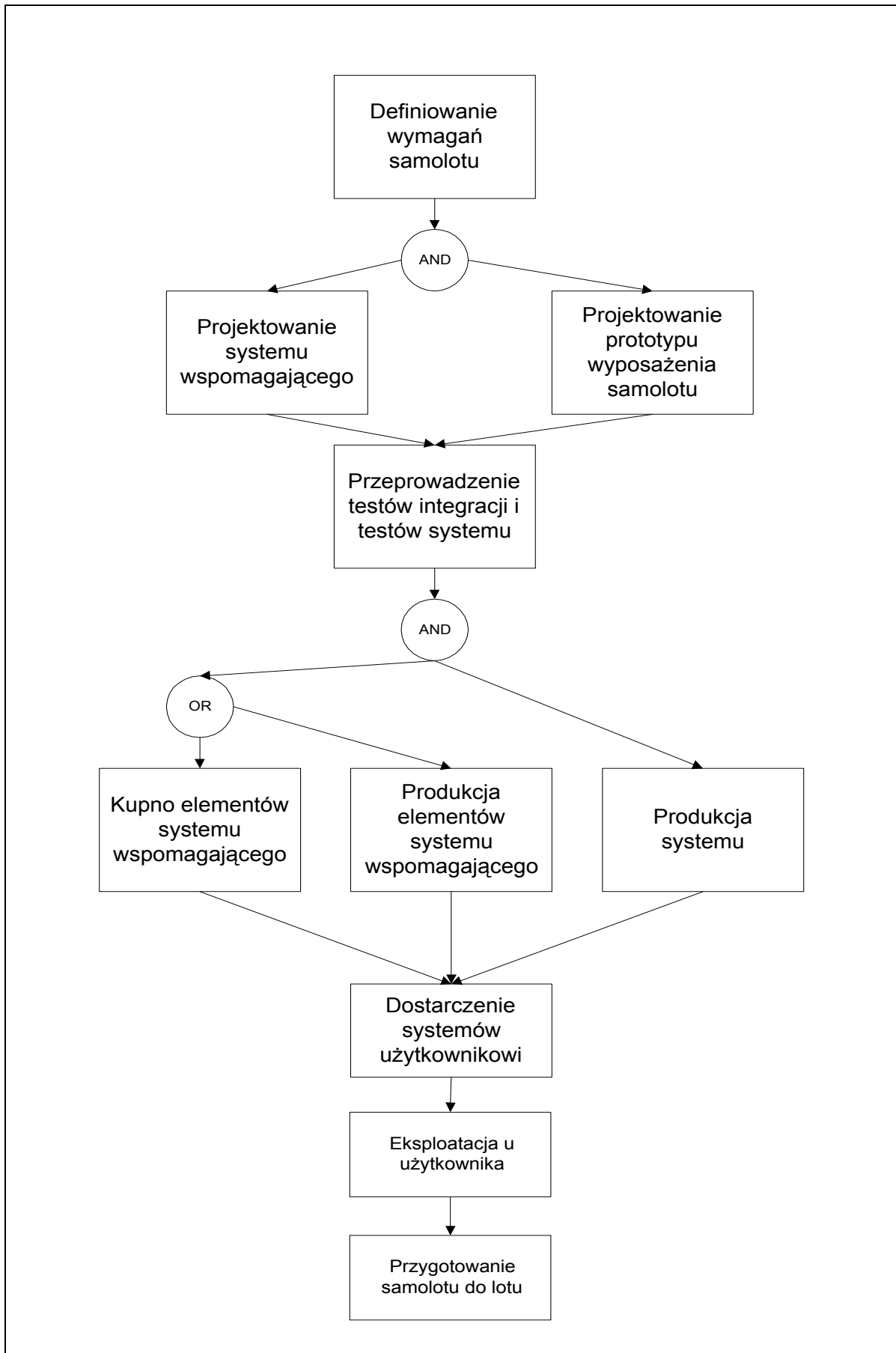
Zyski ze stosowania diagramów:

\*proces pozwala inżynierowi na podejście do projektu z logicznego i systematycznego punktu

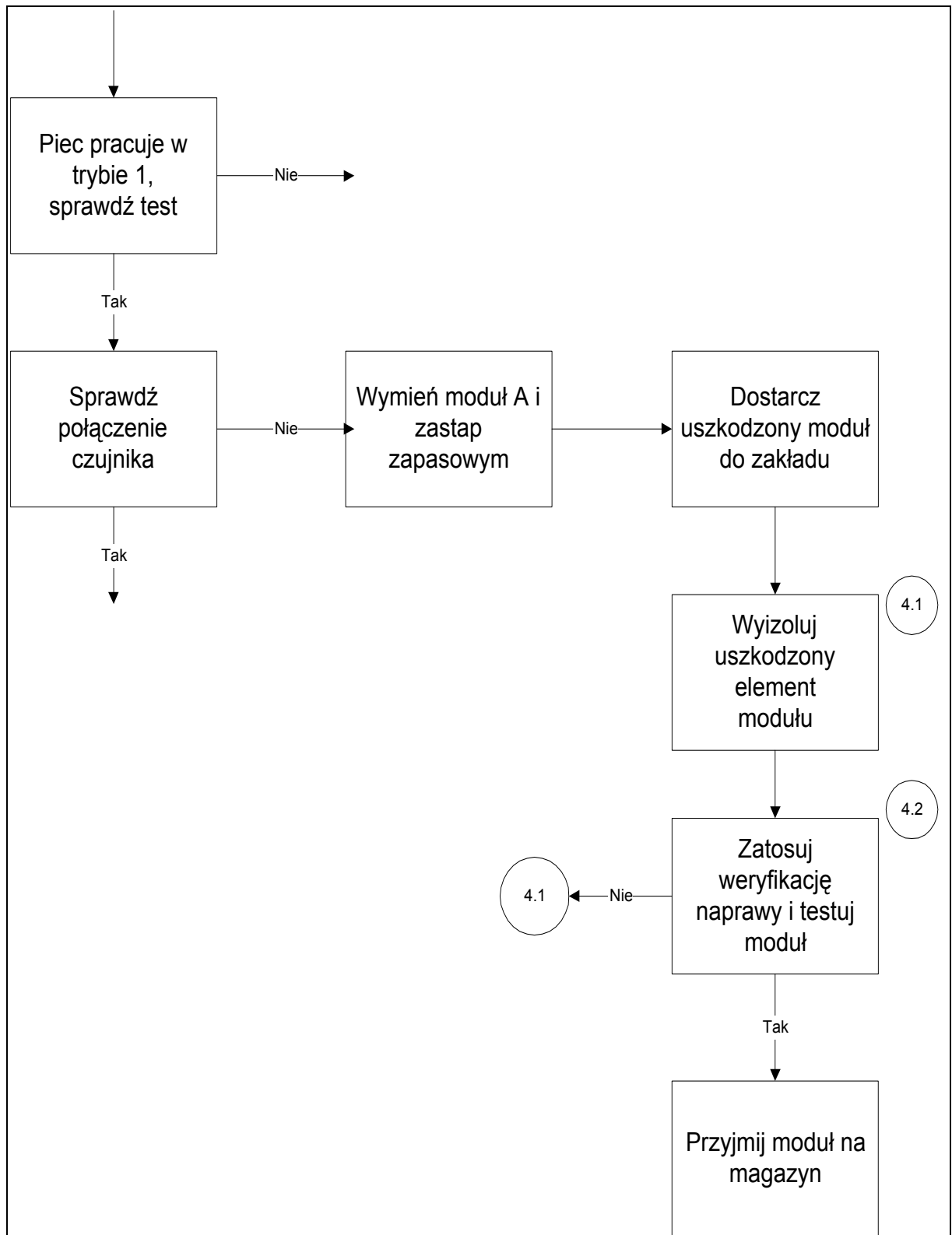
\*właściwe sekwencje i zależności projektowe stają się czytelnie

\*ewentualne problemy mogą zostać szybko zidentyfikowane już na wczesnym etapie cyklu życia

Buduje się dla funkcji operacyjnych (działaniowych) jak i utrzymania



Przykład takiego schematu dla funkcji utrzymania



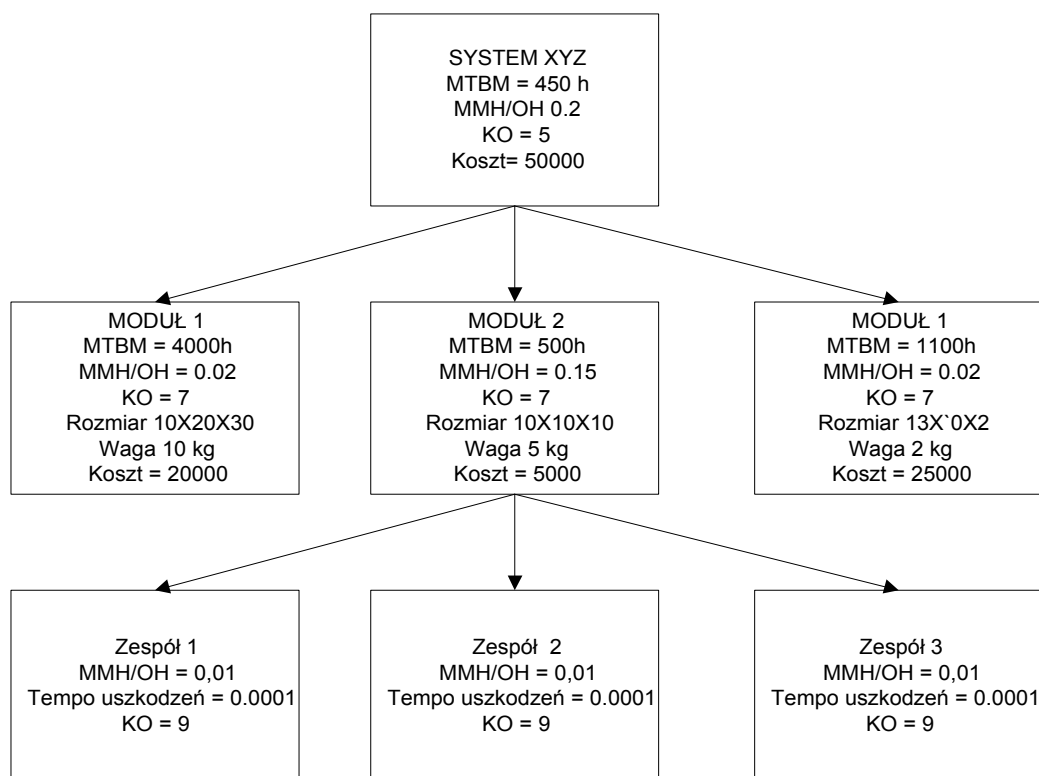


AF służy jako baza dla sprecyzowania późniejszych wymagań co do wyposażenia, personelu, oprogramowania, wspomagania logistycznego, utrzymania itp.

AF odnosi się w pierwszym kroku procesu przetwarzania wymagań operacyjnych i obsługowych w właściwe kryteria projektowe dla różnych elementów systemu. Zapewnia opis głównych funkcji systemu i prowadzi do pierwszej syntezy całej konfiguracji systemu.

Następnym krokiem jest alokacja czynników systemu najwyższego rzędu do różnych podsystemów i niższego rzędu elementów systemu.

Przykład wymagania funkcjonalne i alokacja czynników



MTBM – Średni czas między-obsługowy

MMH/OH – Ilość godzin obsługi w stosunku do czasu działania

KO – kwalifikacje personelu w stopniach

Wartości te są wstępne z natury gdyż jeszcze nie mamy koniecznych danych aby dokonać ostatecznego oszacowania. W zasadzie alokacja powinna rozważać wszystkie znaczące parametry systemu podane w formie minimum – maksimum wymagań (jeśli trzeba z obszarami tolerancji).

Parametry systemu uwzględniane tutaj to:

Współczynniki efektywności –np. niezawodność , gotowość.

Wydajność systemu i fizyczne parametry – prędkość, zasięg, pojemność, ciężar, objętość, rozmiar itp.

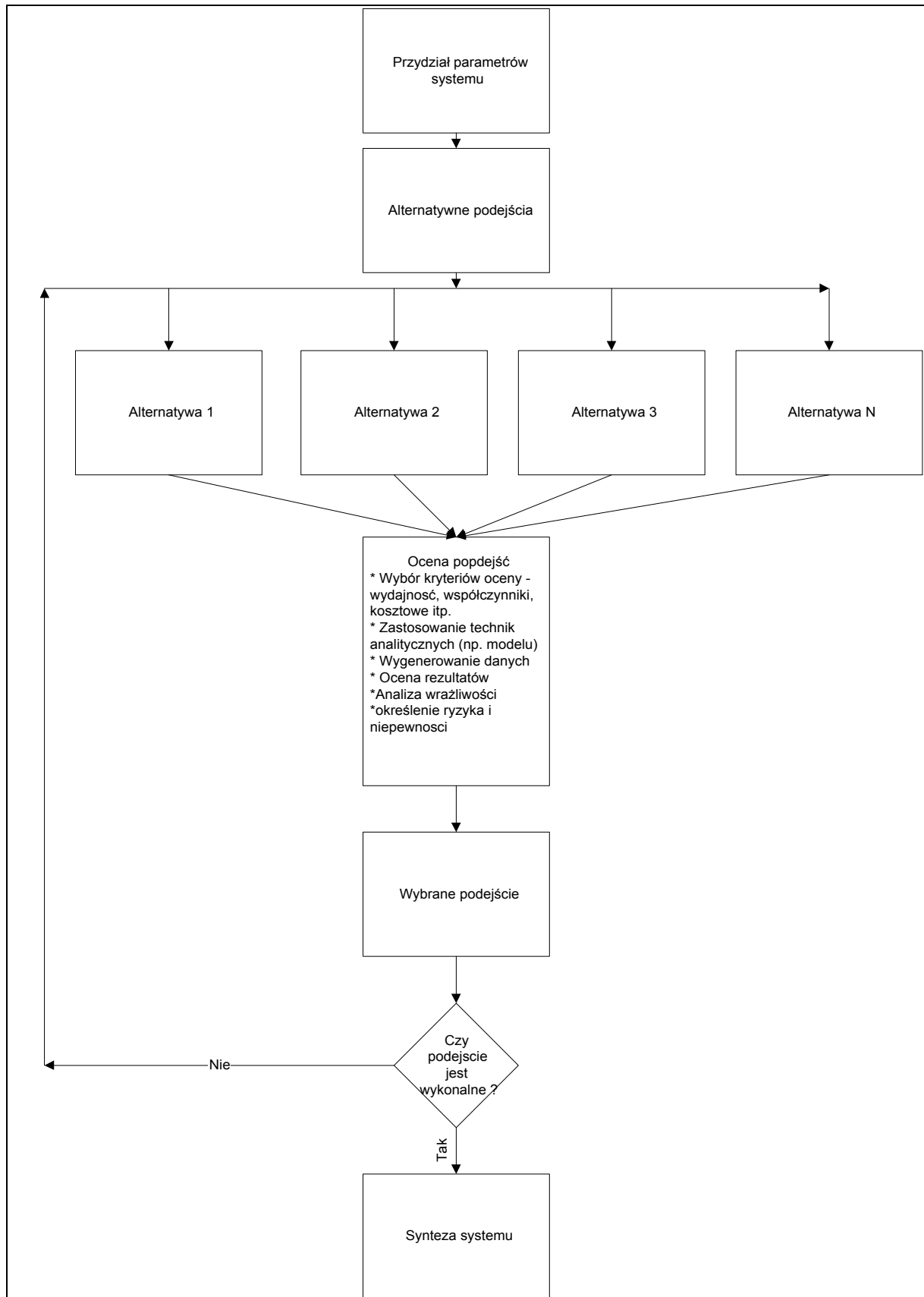
Współczynniki stanowiące możliwości wspomaganie systemu np. transport, dostępność części, wyposażenie do badań i obsługi – użycie i dostępność, efektywność personelu, tempo transportu, łatwość manipulowania, itp.

Współczynniki kosztowe cyklu życia, które obejmują koszty badań i rozwoju, inwestycje i koszty produkcji, koszty działania i utrzymania, oraz wycofywania i utylizacji.

Celem alokacji jest zapewnić pewne wstępne wskazówki dla inżyniera projektującego aby pomóc mu w rozwijaniu produktu aby ten był zgodny z wymaganiami systemu. Wskazówki mogą być podane jakościowo i ilościowo.

### *Obszary dopuszczalnych rozwiązań i optymalizacja*

Proces alokacji ustanawia granice i ograniczenia dla projektu systemu (max i lub min wartości do których projekt musi się dostosować. W ramach tych granic i ograniczeń inżynier systemowy może przewidywać *pewną liczbę konfiguracji projektu*, która będzie spełniać sprecyzowane wymagania. Problemem jest jak wybrać najlepsze podejście ?



Użyte kryteria ocen użyte mogą zmieniać się znacząco w zależności od danego problemu i poziomu oraz złożoności analizy. Np. na poziomie systemu najważniejsze parametry zawierają: efektywność kosztową, efektywność systemu, koszt cyklu życia, osiągi.

Na poziomie szczegółowym (podsystem, moduł, element) parametry wybrane jako kryteria oceny powinny być bezpośrednio związane z postawionym problemem.

Np. problem może pociągać wybór najlepszego z pośród alternatywnych dostawców wyposażenia uwzględniając charakterystyki w projekcie np. normalizacja komponentów, wspomaganie diagnostyczne, zamienność itp. (czyli czynniki niskiego rzędu).

Występuje wiele możliwych różnych poziomów optymalizacji ale ostatecznym kryterium jest jakaś wersja efektywności kosztowej. Efektywność kosztowa związana jest z pomiarem systemu w kategoriach wypełnienia misji (efektywność systemu) i całkowitego kosztu cyklu życia. Prawdziwa efektywność – kosztowa jest niemożliwa do pomiaru ponieważ występuje wiele czynników których wpływ na działanie systemu nie może być realistycznie oceniony np. efekt wzajemnego oddziaływania innych systemów, implikacje polityczne, pewne czynniki środowiskowe. Można stosować się następujące wskaźniki efektywności systemu:

$FOM = \text{Zysk z systemu} / \text{koszt cyklu życia}$

$FOM = \text{Gotowość systemu} / \text{koszt cyklu życia}$

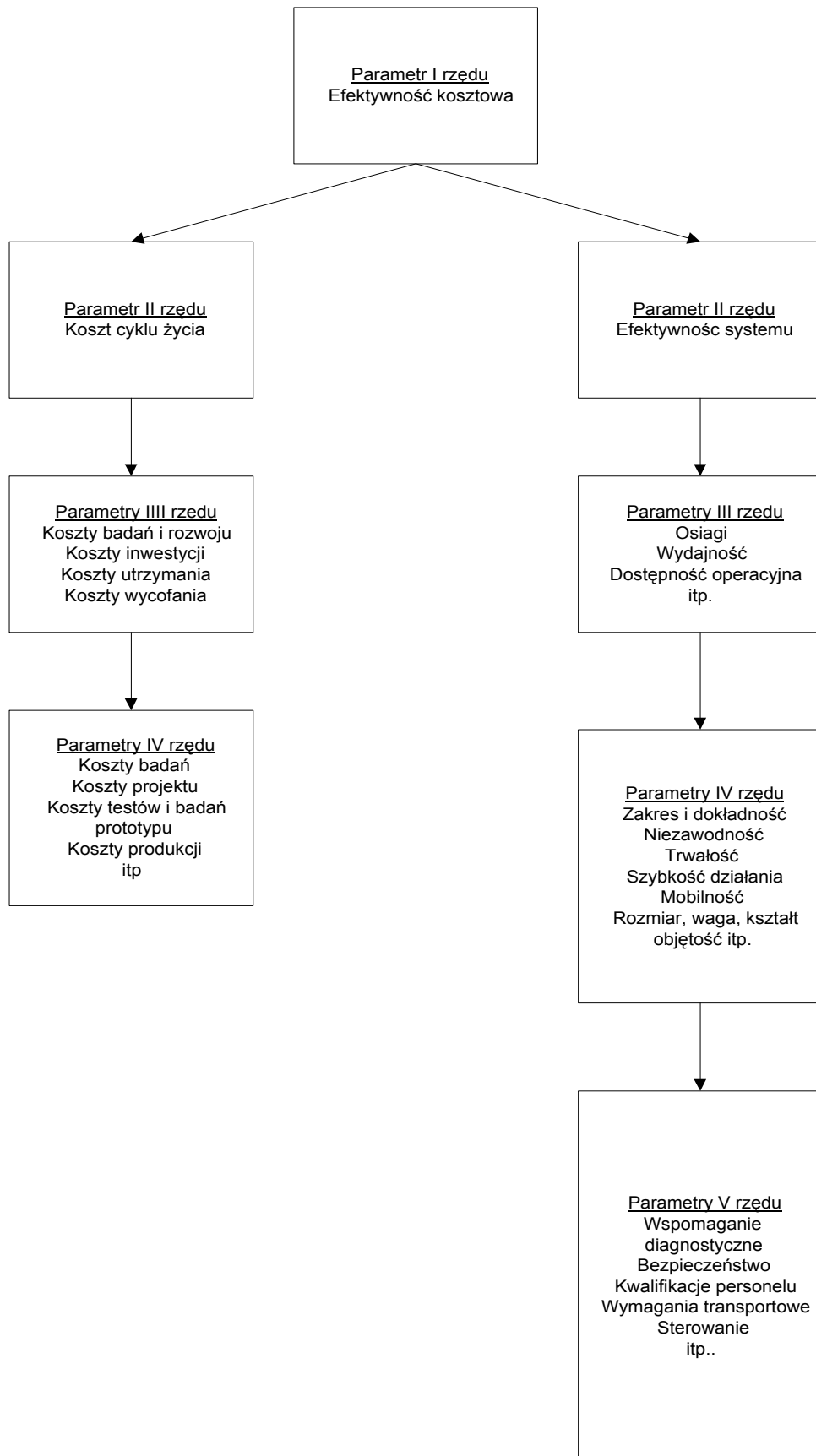
$FOM = \text{Wydajność systemu} / \text{koszt cyklu życia}$

Te współczynniki jak i inne mogą służyć do porównania alternatyw.

Na składniki związane z efektywnością kosztową ma wpływ wiele czynników i zależności. Atrybuty projektowe wpływają zarówno na efektywność systemu – jak i koszt cyklu życia. Np. złożoność wyposażenia do obsługi systemu wpływa na poziom wymagań co do personelu obsługującego i szkoleń, które mogą mieć znaczący wpływ zarówno na efektywność działania systemu jaki i koszt utrzymania.

*Ogólnie więc wiele charakterystyk systemu oddziałuje wzajemnie na siebie i konsekwencje tego oddziaływania muszą być ocenione i dokładnie zrozumiałe.*

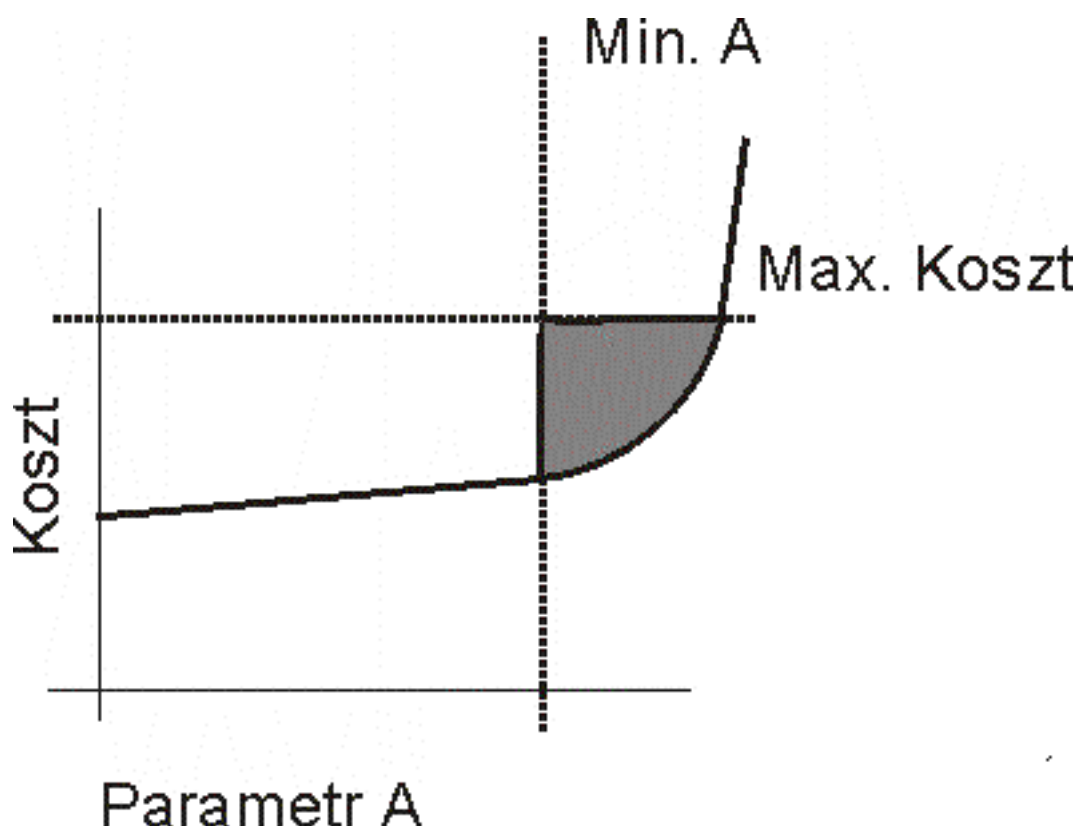
## Wybór kryteriów oceny



Liczba czynników oceny i różne parametry powinny być rewidowane z punktu widzenia stopnia ważności. Stopień ważności może być zrealizowany przez zastosowanie parametrów wagowych (najbardziej znaczące czynniki otrzymują najwyższe wagi liczbowe). Zastosowanie współczynników wagowych będzie zależało od zastosowanej techniki oceny.

Proces oceny może być związany z analizami obszarów dopuszczalnych rozwiązań gdzie analizowane są dwa lub więcej parametrów systemu we wzajemnej zależności w kategoriach ich wzajemnej relacji.

Możliwe realizowalne rozwiązania wypadają w obszarach dopuszczalnych rozwiązań. Obszary te mogą dotyczyć (przykładowo): różnych parametrów w kategoriach kosztów, osiągnięć jako funkcje niezawodności, ciężaru jako funkcję zasięgu, wydajności jako funkcje rozmiaru i kosztu itp.



Proces oceny może być ułatwiony lub wymagać użycia różnych matematycznych technik w postaci modelu lub serii modeli.

*Model jest uproszczoną realizacją rzeczywistego świata* który wychwytuje cechy sytuacji związanej z analizowanym problemem. Jest to narzędzie zatrudniane przez analityków w celu oszacowania prawdopodobnych konsekwencji różnych alternatywnych działań które są porównywane. Model musi być przystosowany do problemu a wynik musi być zorientowany na wybrane kryterium oceny.

Użycie modelu matematycznego daje wiele znaczących korzyści. W kategoriach zastosowań systemowych istnieje pewna liczba czynników - czynników operacyjnych, projektowych, produkcyjnych, związanych z badaniami itp. Występuje więc wiele elementów wzajemnie zależnych które muszą być scalone jako system, a nie traktowane na indywidualnej bazie. Model matematyczny czyni to możliwym.

Korzyści płynące z zastosowania modelu matematycznego:

1. Matematyczny model będzie odkrywał relację pomiędzy różnymi aspektami problemu, które nie są oczywiste w opisie werbalnym.
2. Matematyczny model umożliwia porównanie wielu możliwych rozwiązań i pomaga w wyborze najlepszego z pośród nich szybko i wydajnie
3. Matematyczny model często wyjaśnia sytuacje które były nie wyjaśnione w przeszłości przez wskazanie zależności przyczynowo-skutkowej.
4. Model matematyczny czytelnie wskazuje typ danych które powinny być zgromadzone dotyczące problemu w sposób ilościowy.
5. Model matematyczny ułatwia prognozę zdarzeń w przyszłości takich jak współczynniki efektywności, parametry niezawodności, wymagania logistyczne itp.
6. Model matematyczny pomaga w identyfikacji obszarów ryzyka i niepewności.

Analizując problem w kategoriach wyboru modelu matematycznego dla celów oceny powinniśmy na początku poszukiwać narzędzi które są aktualnie dostępne. Jeśli model już istnieje i jest zweryfikowany wtedy może być łatwiejsze adoptować taki model zamiast tworzyć własny.

Z drugiej strony może być jednak konieczne zbudowanie nowego modelu. W tym wypadku powinno się wygenerować pełną listę *parametrów systemu* która będzie opisywać sytuację podlegającą symulacji. Następnie należy rozpatrzyć *powiązania parametrów*, (każdy parametr podlegający analizie w odniesieniu do każdego innego parametru) co do charakteru i wielkość związków. Należy wyznaczyć *parametry wejściowe i wyjściowe* oraz sprzężenia *zwrotne które mają być ujęte modelu*.

Model podlega weryfikacji która jest trudna do wykonania ponieważ problemy wyartykułowane pierwotnie dotyczą działań w przyszłości, które są niemożliwe do dokładnego przewidzenia. Jednakże w niektórych przypadkach istnieje możliwość wybrania znanego systemu, który egzystował wiele lat i skorzystać z nowego modelu używając ustalonych parametrów i danych ze znanego systemu. Dane i związki są znane i wyniki symulacji mogą być porównane z doświadczeniem historycznym.

Na etapie budowy modelu analityk może próbować odpowiedzieć na następujące pytania:

Czy model może opisać znane fakty i sytuacje dostatecznie dobrze?

Kiedy główne parametry wejściowe się zmieniają wyniki pozostają spójne i są one realistyczne ?

Czy powiązanie przyczynowo-skutkowe może być ustalone ?



Ostatecznie wyniki ogólnej oceny systemu prowadzą do wyboru preferowanego podejścia. Jeśli wybrana konfiguracja jest znacząco lepsza niż inne opcje decyzja może być jasna.

Następujące pytania mogą się jednak pojawić:

Jak dużo lepsze jest wybrane podejście od innych alternatyw. Czy jest istotna różnica pomiędzy wynikami oceny porównawczej ?

Czy wszystkie wykonalne alternatywy były porównane ?

Jakie są obszary ryzyka i niepewności ?

### *Synteza i definicja*

Synteza odnosi się łączenia części i elementów w taki sposób żeby stworzyć funkcjonalną całość. Synteza systemu zostanie osiągnięta w wyniku przeprowadzenia kroków projektowania wstępnego w celu zapewnienia kompletności systemu i spełnienia wymogów projektowych.

Proponowany ostatecznie system uważa się zsyntetyzowany gdy rezultaty zawierają właściwą specyfikację (materiały, specyfikacje procesu technologicznego, produktu itp.). Te specyfikacje są użyte jako wejściowe do projektowania szczegółowego różnych elementów systemu.

#### ***IV. Projektowanie szczegółowe***

Konieczne jest dalsze precyzowanie prowadzące do realizacji hardware, software i elementów wspomagania. Proces ten zawiera:

\*Opis podsystemów - elementów i komponentów niższych poziomów oraz elementów wspomagania logistycznego (części zamienne, dane techniczne, personel i szkolenia, przyrządy do badań i testów, do naprawy)

\*Przygotowanie dokumentacji projektowej (specyfikacja, analiza rezultatów, opis analizy optymalizacyjnej, prognozy, rysunki elementów, bazy danych) opisującej cały system.

\*Sprecyzowanie i rozwój software komputerowego (jeśli trzeba)

\*Rozwój prototypu, modelu serwisowego – testowego i jego elementów dla testów i oceny aby zweryfikować projekt. Test i ocena fizycznego modelu systemu który został stworzony

\*Przeprojektowanie i przetestowanie systemu i jego elementów jeśli potrzeba do poprawy niedostatków dostrzeżonych podczas początkowych badań systemu.

#### *Wymogi projektowania szczegółowego*

Funkcja projektowa musi rozważyć następujące cele:

\*projektowanie z uwzględnieniem potencjału funkcjonalnego i osiągnięć (projektowanie funkcjonalne) -charakterystyka projektowania która zajmuje się osiągnięciami technicznymi systemu. Zawiera ona takie charakterystyki jak wielkość, ciężar, objętość, kształt, dokładność pojemność, tempo przepływu, moc wyjściową, i wszystkie techniczne i fizyczne charakterystyki aby działający system mógł wykonać jego zaplanowaną misję.

\* Projektowanie z uwzględnieniem niezawodności - charakterystyczne dla projektowania dotyczącego działania systemu przez cały czas jego planowanej misji. Niezawodność jest często wyrażana jako prawdopodobieństwo sukcesu (np. prawdopodobieństwo że czas poprawnej pracy jest co najmniej t) lub mierzona w kategoriach średniego czasu pomiędzy uszkodzeniami. Celem jest maksymalizacja niezawodności działania.

\* Projektowanie z uwzględnieniem utrzymania ruchu – charakterystyczne dla projektowania systemu jest to, że dotyczy łatwego, ekonomicznego, bezpiecznego utrzymania ruchu. Celem jest minimalizacja czasu obsługi, maksymalizacja charakterystyk wspomagania (dostępność, zabezpieczenia diagnostyczne, standaryzacja), minimalizacja wspomagania logistycznego w zasoby wymagane w utrzymaniu, minimalizacja kosztów utrzymania.

\* Projektowanie z uwzględnieniem czynnika ludzkiego (ergonomia) – charakterystyczne dla projektowania systemu jest to, że jest ono kierowane bezpośrednio ku optimum współdziałania człowiek – maszyna. ( np. zabezpieczenie zgodności pomiędzy cechami funkcjonalnymi i fizycznymi systemu i elementem ludzkim w obsłudze, utrzymaniu (ruchu), obsługiwaniu itp.) Należy też rozważyć cechy estetyczne, dążyć do redukcji w wyszkoleniu personelu i minimalizować potencjalne współczynniki błędu obsługi.

\* Projektowanie z uwzględnieniem technologiczności – celem jest minimalizacja wymagań zasobów np. ludzkich, materiałowych, energii, technologicznych podczas procesu produkcji.

\* Projektowanie z uwzględnieniem ekonomicznej wykonalności – charakterystyczne dla projektu systemu jest to że jest on ukierunkowany w stronę, maksymalizacji korzyści i efektywności kosztowej całościowej konfiguracji systemu. Celem jest opierać decyzje projektowe na kosztach cyklu życia a nie tylko na koszcie pozyskiwania - tworzenia systemu (lub cenie zakupu) .

\* Projektowanie z uwzględnieniem akceptacji społecznej – charakterystyczne dla projektowania systemu jest projektowanie w kierunku zabezpieczeń takich, że system może stać się akceptowalną częścią systemu społecznego. Celem jest znalezienie minimum emisji zanieczyszczeń, łatwość przerobu odpadów, minimum ryzyka bezpieczeństwa pracy, itp.

Wiele różnych istotnych czynników bierze się pod uwagę w projektowaniu systemu (produktu). Osiągnięcie celu projektowego wymaga optymalnej równowagi pomiędzy współczynnikami określającymi osiągi charakterystykami niezawodnościowymi, łatwością utrzymania, ergonomią, kosztem cyklu życia itp. Ta równowaga jest często trudna do osiągnięcia ponieważ *niektóre z ustalonych celów są przeciwstawne innym*. Np. zbyt duża niezawodność może wymagać użycia kosztownych komponentów systemu co podniesie koszt cyklu życia. Ostatecznie celem jest uwzględnić tylko konieczne charakterystyki aby zaspokoić wymagania, nie za dużo i nie za mało.

### *Proces projektowania*

Proces ten zawiera następujące kroki:

- \* projektowanie i precyzowanie podsystemów
- \* projektowanie i precyzowanie zespołów, jednostek, modułów, elementów, specyfikacja komponentów i części.
- \* kompletacja zbioru dokumentacji projektowej (rysunki/ raporty)
- \* tworzenie modeli inżynierskich, modeli do serwisowania i testowania, prototypu, testowanie i ocena.

Jest to proces iteracyjny a po każdym kroku możliwe jest cofnięcie się do tyłu w przypadku niezadowolających rezultatów.

Przygotowanie dokumentacji w tej chwili odbywa się za pomocą technik wspomaganie komputerowego. Informacja może być przechowywana w formie trójwymiarowych prezentacji lub dwuwymiarowych rysunków w formacie cyfrowym.

CAD – komputerowe wspomaganie projektowania (Computer Aided Design), umożliwia realizować analizę projektową projekcje różnych konfiguracji projektowych w kategoriach trójwymiarowej graficznej prezentacji, realizuje predykcję niezawodnościową, generację listy materiałów, rysunki techniczne itp.

CAD/CAM –komputerowo wspomaganie projektowania/  
komputerowe wspomaganie produkcji

CALS – komputerowe wspomaganie logistyki

Korzyści ze stosowania komputerowych systemów wspomaganiania

\* Projektant może rozpatrzyć wiele różnych alternatyw w relatywnie krótkim czasie. Z wzrostem ilości możliwych rozważanych opcji ryzyko związane z podejmowaniem decyzji jest zredukowane.

\*Projektant ma możliwość symulacji i weryfikacji projektu dla większej liczby konfiguracji przez użycie trójwymiarowej projekcji. Zastosowanie elektronicznego modelowania i symulacji może wyeliminować konieczność wybudowania fizycznego modelu co może zredukować koszt.

\*Możliwość uwzględnienia zmian projektowych jest rozszerzona i uproszczona w kategoriach zarówno zmniejszenia czasu ich przeprowadzenia jak i dokładności.

\*Podniesienie jakości projektu w kategoriach zarówno metod prezentacji danych (wyników) jak i powielania (odtworzenia) indywidualnych elementów danych. Informacja projektowa może być prezentowana szybciej, w większych szczegółach i w bardziej opisowy sposób.

\*Dostępność projektu w postaci elektronicznej może ułatwiać szkolenie personelu przydzielonego do projektu. Nie tylko istnieje możliwość lepszego opisu projektu w graficzny sposób ale wspólna baza danych będzie gwarantować, że wszystkie działania projektowe są oparte na wspólnej podstawie.

### *Inne pomoce*

\*dokumentacja normowa pozwalająca na : np. dobór preferowanych części, pasowań, maksymalnych dopuszczalnych wartości naprężeń, drgań itp..

\*makiety i modele fizyczne:

- pozwalają inżynierowi na eksperymentowanie z różnymi rozmieszczeniami elementów, przebiegiem instalacji, panelami wyświetlaczy i kontrolnymi itp. przed przygotowaniem ostatecznego projektu.

- pozwalają na uwzględnienie czynników ergonomicznych. Problemy stają się czytelne i oczywiste.

- ułatwiają pogładowy przekaz formalny projektu (wyjaśnienie osobą trzecim)

- mogą być użyte aby ułatwić szkolenie operatora systemu i personelu obsługi

### *Modele inżynierski i prototypy*

Modele inżynierskie reprezentują pracujący system, albo element systemu, które będzie wykazywał funkcjonalne charakterystyki zdefiniowane w specyfikacji. Nie necessarily musi być reprezentowany system w kategoriach fizycznych wymiarów (model np. statku, samolotu do prób z opływem wody czy powietrza)

Model testowy dla serwisu reprezentuje pracujący system, lub element systemu który jest odbiciem produktu końcowego w kategoriach osiągnięć funkcjonalnych i wymiarów fizycznych (np. model ładownika).

Model prototypu reprezentuje konfiguracje produkcyjnego systemu we wszystkich aspektach kształtu, rozmiarów itp. wyłączając że nie był w pełni sprawdzany w kategoriach eksploatacji i testów środowiskowych.

*Badania (testowanie) i ocena systemu (Testy oparte o prototyp – diagnostyka konstrukcyjna)*

\*Testy osiągow (wydajnościowe) – testy realizowane aby zweryfikować charakterystyki wydajnościowe systemu. Np. testy silnika elektrycznego czy będzie zapewniał konieczny moment, czy instalacja będzie wytrzymywać pewne ciśnienie czynnika, czy samolot będzie wykonywał zaplanowaną misję, weryfikacja bezpieczeństwa produktu itp.

\*Ocena wpływu czynników środowiskowych – testy cyklu temperatury, uderzeń, drgań, wilgotności, wiatru, wpływu środowiska zasolonego, pyłu, piasku, hałasu akustycznego, grzybów, emisja zanieczyszczenia, niebezpieczeństwo wybuchu, testy związane z oddziaływaniami elektromagnetycznymi (np. wpływ zakłóceń na elektronikę samolotu). Testy są zorientowane na te czynniki na które system będzie poddawany podczas działania, obsługi, transportowania i manipulowania.

\*Testy strukturalne – są związane z wyznaczeniem charakterystyk materiałów np. naprężeń, obciążeń, zmęczenia materiału, ugięcia, częstości drgań własnych.

\*Ocena niezawodnościowa – przeprowadzana w celu wyznaczenia np. średniego czasu pomiędzy uszkodzeniami, oceny degradacji itp.

\*Testy związane z utrzymaniem ruchu – związane z wyznaczaniem czasu obsługi, naprawy, konserwacji, zadania obsługowe, sekwencja zadań i czasy, wyposażenie do testów i diagnostyki, jakość i wyszkolenie personelu, procedury obsługi,

\*Testy zgodności – wyposażenia pomocniczego – testy związane są z weryfikacją zgodności wyposażenia, przyrządów do badań i diagnostyki, wyposażenia do transportu itp.

\*Testy i ocena personelu – są często przeprowadzane do weryfikacji relacji pomiędzy ludźmi a wyposażeniem, wymagań co do personelu i potrzeb szkoleń. Zarówno dotyczy to obsługi jak i utrzymania.

\*Weryfikacja software – zawiera testy kompatybilności software i hardware, niezawodność software.

\*Inny typ testu to testy i demonstracje poprzedzające produkcję, które są przeprowadzane na docelowym miejscu przez personel użytkownika (np. okręt na morzu, samolot w powietrzu). Są to testy ciągłe uwzględniające pewną liczbę elementów systemu obejmującą pewną liczbę symulowanych działań eksploatacyjnych.

Rola inżyniera w etapach wstępnego projektowania systemu i dokładnego projektowania systemu:

- \*przeprowadzenie analizy funkcjonalnej i alokacji w celu identyfikacji głównych funkcji operacyjnych, które system wykonuje,
- \*ustalenie kryteriów (jakościowych i ilościowych parametrów technicznych, ograniczeń) dla projektu systemu,
- \*ocena różnych alternatyw projektowych podejść w kategoriach efektywnościowo –kosztowych analiz i studiów optymalizacyjnych,
- \*przygotowanie produkcji systemu i specyfikacji materiałów,
- \*wybór komponentów systemu i rekomendacja źródeł dostawców,
- \*asystowanie w działaniach zakupowych i kontraktowych w przygotowaniu specyfikacji dostawców i dokumentacji kontraktowej,
- \*przygotowanie rysunków inżynierskich, list materiałów i części itd. w celu stworzenia dokumentacji projektowej .
- \*stworzenie modeli inżynierskich i prototypów dla badania systemu i oceny i jego oceny,
- \*stworzenie programów komputerowych, związanych baz danych i odpowiedniej (związanej z tym) dokumentacji koniecznej do testowania, produkcji, obsługi i zarządzania systemem,
- \*stworzenie specyfikacji i procedur badań i testów systemu i jego elementów,
- \*przeprowadzenie modyfikacji projektu (jeśli trzeba) aby usunąć niedoskonałości albo ulepszyć projekt systemu.

*Etap wytwarzania – produkcji*

*Etap eksploatacji*

*Etap wycofywania z użycia*



## **Narzędzia analizy systemowej**

### *Alternatywy w podejmowaniu decyzji*

Lepiej rozważyć wiele nieopłacalnych alternatyw niż przeoczyć jedną, która jest opłacalna. Alternatywy które nie są rozważane nie mogą być zaadoptowane nieważne jak godne pożądaniami mogą one być.

W celu porównania alternatyw jest ważne aby były one przetworzone do wspólnej miary (np. kosztów). Jedynie wtedy podejścia mogą być traktowane równoważnie (ilościowe i jakościowe rezultaty mogą być wtedy porównywane w oparciu o wybrane wspólne kryterium i można podjąć decyzje co do wyboru rozwiązania).

Ilościowe miary powinny być uzyskane za pomocą odpowiednich modeli a decyzje pomiędzy alternatywami powinny być wypracowane na podstawie różnic w wynikach uzyskanych za pomocą symulacji. W ten sposób wszystkie identyczne czynniki znoszą się wzajemnie.

Ponieważ wiadomo, że nie wszystkie czynniki da się uwzględnić lub pewne założenia mogą się nie sprawdzić lub zmienić w czasie ( np. założone oprocentowanie) podejmowanie decyzji i wybór z pośród alternatyw jest często związane z ryzykiem i obarczone niepewnością.

### *Modele w podejmowaniu decyzji*

Modele i działanie na nich (symulacja) jest bardzo użytecznym narzędziem w analizie systemów. Model może być użyty jako reprezentacja powoływanego systemu (kiedy nie jest możliwe manipulowanie rzeczywistością ponieważ system jeszcze nie istnieje) lub do analizy systemu już istniejącego [kiedy manipulacje są bardziej kosztowne (np. powodują zakłócenia złożonych systemów przemysłowych) lub ryzykowne].

### *Przykłady modeli*

Np. model samolotu zrobiony w celu sprawdzenia określonej konfiguracji, opływu powietrza itp., architekt może wykonać model projektowanego budynku, np. szablon rozmieszczenia maszyn w hali fabrycznej itp. *Modele są tworzone po to aby reprezentować system jeszcze na etapie projektowania, przez idealizację rzeczywistości, w celu wyjaśnienia podstawowych zależności.*

### *Klasyfikacja modeli*

Mogą one być sklasyfikowane rozłącznie jako fizyczne analogowe, schematyczne, matematyczne.

Modele fizyczne wyglądają jak to co reprezentują,

Modele fizyczne – są geometrycznie ekwiwalentnymi albo miniaturami, powiększeniami albo kopiami zrobionymi w tej samej skali. Przykładem funkcji demonstracyjnej takiego modelu są : globus, model układu słonecznego, atomu.

Niektóre modele fizyczne mogą służyć do symulacji (np. model samolotu w tunelu aerodynamicznym, statku do badań opływu kadłuba).

Przykład eksperymentowania (symulacji) z modelem fizycznym -

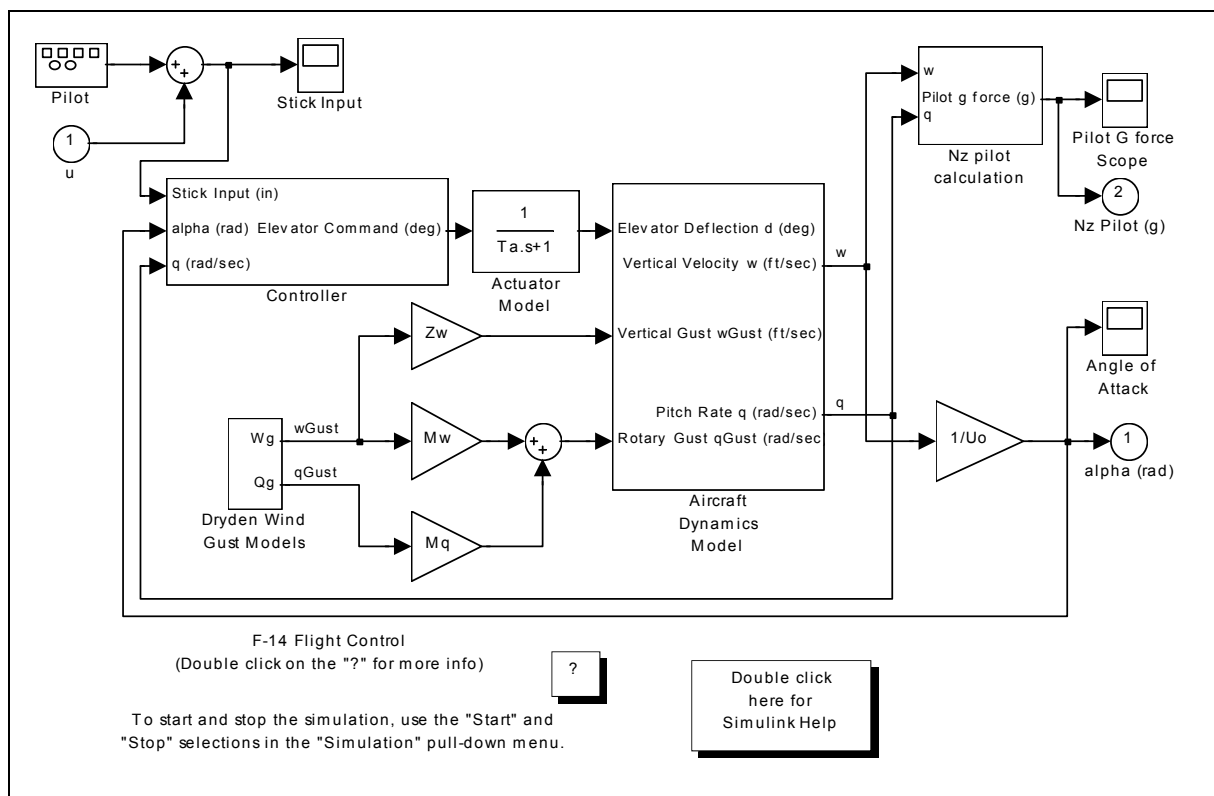
szablony dwu i trójwymiarowe repliki np. maszyn i wyposażenia które są rozmieszczane w modelowym skalowanym obszarze. Istotnym czynnikiem takiej symulacji są tutaj zależności dotyczące odległości i szablony są rozmieszczane dopóki pożądane rozmieszczenie nie będzie osiągnięte. Takie czynniki jak generacja hałasu, drgań czy oświetlenia stanowisk są ważne ale nie są częścią eksperymentu i muszą być rozpatrywane osobno.

Modele analogowe (funkcjonalne) zachowują się jak oryginał.

Nazwa pochodzi od greckiego słowa analogia które znaczy proporcja. Nacisk kładziony jest tutaj na podobieństwo w relacjach. Bez znaczenia jest ich wygląd. Modele analogowe mogą być fizyczne z natury jak np. obwody elektryczne użyte do reprezentacji układów mechanicznych, systemów hydraulicznych, a nawet systemów ekonomicznych.

Komputery analogowe (maszyny analogowe) używają komponentów elektronicznych do modelowania systemów dystrybucji mocy, procesów chemicznych, dynamicznego obciążenia konstrukcji itp.

Analogia jest tutaj reprezentowana za pomocą fizycznych elementów. Kiedy wykorzystamy komputer cyfrowy i odpowiednie oprogramowanie jako model systemu, model analogowy jest bardziej abstrakcyjny. Jest on reprezentowany symbolicznie w programie komputerowym, a nie przez fizyczną strukturę komponentów komputerowych.



Schematyczne modele graficznie opisują sytuację albo proces.

Modele schematyczne – są przejściem przez redukcję stanu lub zdarzeń do diagramu albo schematu blokowego.

Dzięki zastosowaniu takiego modelu jest zwykle możliwe osiągnięcie lepszego zrozumienia rzeczywistego systemu opisywanego przez model poprzez użycie czytelnego procesu kodowania wykorzystanego w konstruowaniu modelu. Np. schemat ustawienia i rozwoju sytuacji w taktycznej w grze zespołowej przedstawiony na tablicy w postaci prostego kodu.

Schemat organizacyjny - reprezentacja stanu formalnej zależności występującej pomiędzy różnymi członkami organizacji.

Schemat procesu przepływu jest modelem schematycznym który opisuje kolejność wystąpienia pewnej liczby zdarzeń które stanowią cel, tak jak montaż samochodu z mnóstwa części składowych.

W każdym przypadku znaczenie modeli schematycznych leży w ich możliwości opisu istotnych aspektów występujących sytuacji. Model taki nie zawiera wszystkich ubocznych zdarzeń i zależności ale raczej koncentruje się na pojedynczych aspektach. Tak więc schematyczny model nie jest sam w sobie rozwiązaniem, ale tylko ułatwieniem rozwiązania. Jednakże po dokładnej analizie modelu pewne rozwiązanie może zostać sprecyzowane.

Matematyczne modele symbolicznie reprezentują zasady sytuacji podlegającej modelowaniu.

Model matematyczny wykorzystuje język matematyki i jak inne modele może być opisem i następnie wyjaśnieniem systemu, który reprezentuje. Mimo że jego symbole mogą być trudniejsze do pojmowania niż symbole werbalne, zapewnia on wyższy stopień abstrakcji i precyzji w swoich zastosowaniach. Ponieważ zawiera on logikę (opiera się na logice) model matematyczny może być przetwarzany (manipulowany) w zgodności z ustalonymi matematycznymi procedurami. (np. fizycy byli w stanie przewidzieć pewne nie odkryte aspekty manipulując na modelach matematycznych w sposób zgodny z zasadami matematyki).

Prawie wszystkie modele matematyczne są używane zarówno do prognozy (predykcji) jak i kontroli. Np. takie prawa jak prawo Ohma, prawa ruchu Newtona sformułowane matematycznie mogą być użyte do prognozowania pewnych wyników na podstawie znajomości parametrów modelu.

Za pomocą takich modeli można przewidzieć wyniki alternatywnych kierunków działań. Np. model programowania liniowego może prognozować zysk związany z różnymi wielkościami produkcji w procesie produkcji wielu możliwych produktów.

Matematyczne modele skierowane na studia systemów różnią się od tych tradycyjnie używanych w naukach fizycznych:

- system z reguły zawiera społeczne i ekonomiczne czynniki stąd modele muszą często uwzględniać elementy prawdopodobieństwa aby wyjaśnić zachowanie losowe (nie deterministyczne).

- modele matematyczne sformułowane w celu wyjaśnienia występującej lub planowanej operacji zawierają dwie klasy zmiennych: te które są pod kontrolą wydających decyzję i te które nie są bezpośrednio pod kontrolą (nie są sterowane).

Przykładowo w optymalizacji celem jest wybór wartości dla zmiennych sterowalnych natomiast czynników nie sterowalnych nie da się zmieniać.

## Przykłady modeli matematycznych

Przykład modelu matematycznego opisującego system złożony (model teoretyczny).

Np. model ujmujący populację świata –  $x$ , konsumpcję –  $z$  i zanieczyszczenie środowiska –  $y$

$$\dot{x} = b \frac{xz}{y} - dxy \qquad \dot{z} = cyz(1 - kyz)$$

jeżeli  $y > 0$

$$\dot{y} = exz - a$$

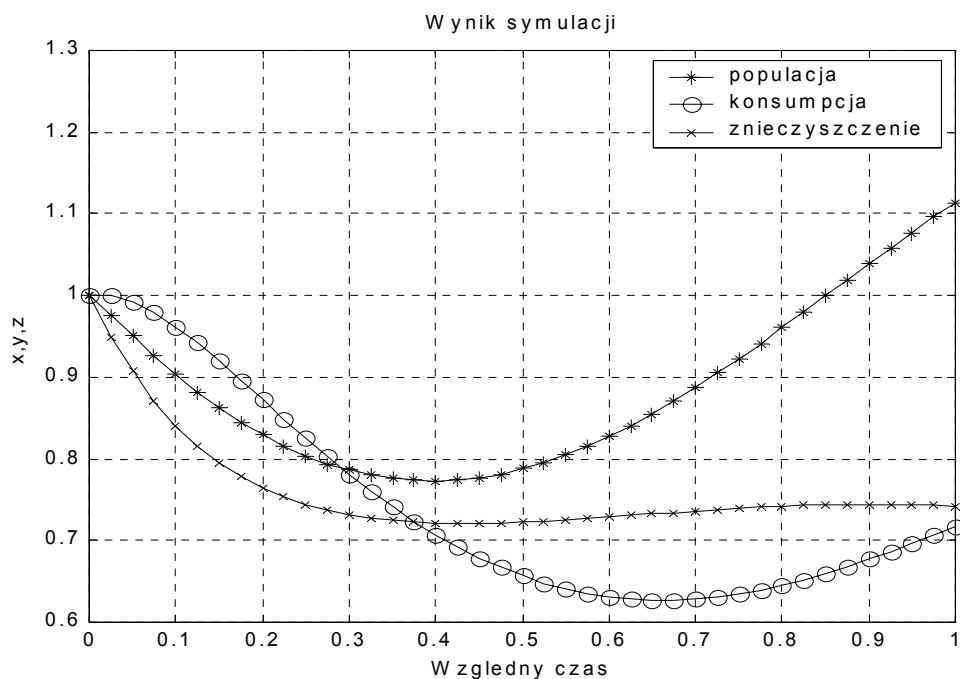
inaczej

$$\dot{y} = exz - ay$$

Współczynniki

- a- odnowy środowiska,
- b- urodzeń,
- c- konsumpcji,
- d- śmiertelności,
- e- zanieczyszczenia środowiska,
- k- ograniczenia zasobów.

## Symulacja



*Model regresyjny – doświadczalny (wykorzystanie do prognozowania)*

$$Y_t = x_{1t}c_1 + x_{2t}c_2 + \dots x_{nt}c_n + \varepsilon_t$$

gdzie:  $Y_t$  - zmienna zależna (np. populacja),  $\mathbf{X}_t = [x_1, \dots, x_n]^T$  -  $n$  wymiarowy wektor wielkości znanych (zmienne regresji, zmienne niezależne, np. czas, miara zanieczyszczenia środowiska, konsumpcja),  $\mathbf{c} = [c_1, \dots, c_n]^T$  -  $n$  wymiarowy wektor parametrów,  $x_{nt} \equiv 1$  - jest zmienną występującą przy wyrazie wolnym (jeżeli taki występuje),  $\varepsilon_t$  - składnik losowy o rozkładzie normalnym  $N(0, s)$ ,  $t = 1, 2, \dots, N$ .

Oszacowanie parametrów modelu:

$$\hat{\mathbf{c}} = (\mathbf{X}^T \cdot \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{Y}$$

lub numerycznie

$$V(c) = \frac{1}{2} \sum_{t=1}^N \varepsilon_t^2, \quad \text{gdzie: } \varepsilon_t = Y_t - \mathbf{X}_t^T \mathbf{c}$$

Modele nieliniowe sprowadzalne do problemu regresji liniowej

$$Y_t = c_1 e^{c_2 t} \varepsilon_t$$

$$\ln Y_t = \ln c_1 + c_2 t + \ln \varepsilon_t$$

Przykład (na podstawie: M. Cieślak. Prognozowanie gospodarcze, Wydawnictwo Naukowe PWN S.A. Warszawa 2001)

Konieczne jest zbudowanie modelu i prognoza wielkości sprzedaży w roku 1999 produktów pewnego przedsiębiorstwa produkującego rury wodociągowe, kanalizacyjne i gazowe. Prognoza ta ma być wstępnie wykorzystana do tworzenia planów produkcji i ustalenia wielkości zatrudnienia.

Przyjęto że na wielkość tej sprzedaży mogą wpływać następujące czynniki:

- nakłady na badania i rozwój – polepszenie jakości produkcji
- przyrost długości sieci kanalizacyjnej – popyt
- przyrost długości sieci wodociągowej
- przyrost długości sieci gazowej

Rok	Sprzedaż (tyś. mb)	Nakłady na badania i rozwój (tyś. zł)	Przyrost długości sieci kanalizacyjnej w Polsce (km)	Przyrost długości sieci wodociągowej w Polsce (km)	Przyrost długości sieci gazowej w Polsce (km)
	$Y_t$	$X_{1t}$	$X_{2t}$	$X_{3t}$	$X_{4t}$
1986	800	200	802	5523	2119
1987	870	480	567	4724	2475
1988	919	320	573	4965	3185
1989	942	471	685	4383	3350
1990	988	760	753	4885	4652
1991	1077	760	1292	7498	6206
1992	1233	698	1008	11926	8719
1993	1385	719	1272	13916	7229
1994	1501	950	1281	15652	6614
1995	1728	815	2143	12509	4757
1996	1915	1127	2355	14191	4347
1997	2113	1100	3357	14474	3845
1998	2240	1200	3739	11358	3745
1999	?				



$$\hat{Y}_t = c_0 + x_{1t-1}c_1 + x_{2t-1}c_2 + x_{3t-1}c_3 + x_{4t-1}c_4$$

Współczynnik korelacji

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\left[ \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2 \right]^{0,5}}$$

Macierz korelacji

	Y	X1	X2	X3	X4
	1.0000	0.8971	0.9296	0.8931	0.3063
	0.8971	1.0000	0.7901	0.7903	0.4327
R=	0.9296	0.7901	1.0000	0.7230	0.0761
	0.8931	0.7903	0.7230	1.0000	0.5783
	0.3063	0.4327	0.0761	0.5783	1.0000

$$Y=[870, 919, 942, 988, 1077, 1233, 1385, 1501, 1728, 1915, 2113, 2240]^T$$

$$X= \begin{bmatrix} 1 & 200 & 802 \\ 1 & 480 & 567 \\ 1 & 320 & 573 \\ 1 & 471 & 685 \\ 1 & 760 & 753 \\ 1 & 760 & 1292 \\ 1 & 698 & 1008 \\ 1 & 719 & 1272 \\ 1 & 950 & 1281 \\ 1 & 815 & 2143 \\ 1 & 1127 & 2355 \\ 1 & 1100 & 3357 \end{bmatrix}$$

$$\hat{Y}_t = 450,5 + 0,73x_{1t-1} + 0,33x_{2t-1}$$

Prognoza (tyś. mb)

$$\begin{aligned} \hat{Y}_{13} &= 450,5 + 0,73 * 1200 + 0,33 * 3739 \\ &= 2560 \end{aligned}$$

Najczęściej stosowane modele doświadczalne (także do celów prognozy)

- modele regresji wielorakiej i prostej, liniowe i nieliniowe
- modele wyrównywania wykładniczego (z sezonowościami i bez, z trendem i bez)
- modele autoregresyjne i średniej ruchomej (scałkowane i nie scałkowane, z sezonowościami i bez)
- modele sieci neuronowych

*Modele, bezpośredni i pośredni eksperyment*

Modele i proces symulacji (eksperymentowania z modelem) zapewniają dogodnie środki uzyskania informacji o systemie dając niższe koszty w porównaniu z eksperymentowaniem na samym systemie.

*W bezpośrednim eksperymentowaniu* obiekt, stan, zdarzenia środowisko jest przedmiotem manipulacji natomiast obserwacji podlegają rezultaty. Np. próbujemy zaaranżować umebłowanie pokoju. Przesuwamy meble i obserwujemy rezultaty. Proces może być powtarzany wielokrotnie do póki wszystkie logiczne alternatywy nie zostaną wypróbowane. Jedno z ustawień jest ocenione jako najlepsze i meble wracają do tego położenia i eksperyment jest zakończony. Taka procedura jest czasochłonna i kosztowna.

Zamiast takiego podejścia można dokonać symulacji i eksperymentu pośredniego używając szablonów reprezentujących przemieszczane wyposażenie.

Bezpośredni eksperyment w konstrukcji samolotu wiąże się z pełnoskalowym prototypem, który mógłby być testowany w locie w warunkach rzeczywistych (jest to zasadniczy krok w ewolucji nowego projektu w jego końcowej fazie) jednak kosztowny i nie do przyjęcia w pierwszym etapie projektowania. Taniej jest ocenić wiele zaproponowanych konfiguracji poprzez budowę modelu każdej z nich i testowanie w tunelu powietrznym.

Proces pośredniego eksperymentowania lub symulacji jest szczególnie używany w sytuacjach gdzie bezpośredni eksperyment jest ekonomicznie niewykonalny. Najważniejszym celem symulacji w inżynierii systemów jest poznać wpływ alternatywnych podejść (rozwiązań) na osiągi systemu bez wyprodukowania i testowania każdego kandydującego systemu.

W celu eksperymentu pośredniego można użyć wszystkie modele z przedstawionej klasyfikacji. Użyty typ będzie zależał od postawionych pytań na które ma odpowiedzieć symulacja. W pewnych przypadkach będą wystarczające proste diagramy w innych model matematyczny deterministyczny lub probabilistyczny. W wielu przypadkach potrzebna będzie symulacja z pomocą analogowego albo cyfrowego komputera.

Na początku projektowania systemu wiedza o systemie jest skąpa. W procesie szczegółowego projektowania wiedza o systemie staje się bardziej dokładna w detalach i konsekwentnie modele użyte do symulacji powinny być udokładniane – proces iteracyjny.

### *Teoria decyzji – ocena decyzji*

Posiadamy szereg alternatyw, każdej przypisujemy pewną miarę w wyniku zastosowania modelu i przeprowadzenia symulacji (czyli potrafimy zmierzyć jej jakość) - pozostaje pytanie- *którą alternatywę wybrać ?*

Ocena decyzji jest ważną częścią Inżynierii Systemów. Ocena jest potrzebna jako podstawa dla wyboru z pośród alternatyw, które powstają z działalności projektowej jak i optymalizacji działającego już systemu.

Podjmując decyzję w IS szukamy zawsze rozwiązania lub zbioru rozwiązań maksymalizujących użyteczność wybranego działania. Jeżeli działanie (decyzja) X w okolicznościach Y przyniesie użyteczność (miarę oceny decyzji wyboru jakiejś alternatywy) E to:

$E = f(X_i, Y_j)$  wybór powinien być zgodny z regułą  $\text{Max}\{E_{ij}\}$  gdzie  $i, j=1, 2, \dots, N$ .

Obliczenie użyteczności działania nie jest jednoznaczne. Istnieje zatem wiele podejść do teorii i praktyki decyzji:

- podejście deskryptywne, opisujące sposób i podejmowania decyzji przez decydentów sytuacjach rzeczywistych,
- podejście normatywne – aksjomatyczne, czysto sformalizowane matematycznie,
- preskryptywne podejście do analizy i oceny decyzji – mieszanina obu powyższych.

Decyzje można także podzielić na :

- decyzje w stanie pewności co do wyników każdego działania (deterministyczne)
- decyzje o znanym ryzyku (np. prawdopodobieństwo) w relacji akcja - użyteczność
- decyzje w stanie niepewności co do ryzyka w relacji akcja- użyteczność

## Macierz oceny decyzji

Podjęta decyzja może dawać wynik jeden z pośród kilku w zależności od przyszłych zdarzeń, które będą miały miejsce. Np. decyzja wybierać się na żagle może powodować wysoki stopień zadowolenia jeśli dzień okaże się słoneczny lub niski stopień zadowolenia jeśli będzie padać. Te poziomy zadowolenia powinny być odwrócone jeśli podjęta decyzja to pozostać w domu. Tak więc dla dwóch stanów natury słońce i deszcz, występują różne opłacalności w zależności od wyboru alternatywy.

Macierz oceny decyzji jest formalną drogą wyrażenia wzajemnego oddziaływania skończonego zbioru alternatyw i skończonego zbioru możliwych przewidywań lub stanów natury. Stany natury normalnie nie są zdarzeniami jak deszcz, śnieg itp. ale są szeroko rozumianymi wartościami przewidywanych wyników nad którymi decydent nie ma bezpośredniej kontroli.

Ogólnie macierz oceny decyzji jest modelem przedstawiającym dodatnie lub ujemne wyniki które będą zachodzić dla każdej alternatywy pod wpływem każdego z możliwych czynników niezależnych.

	<b>P<sub>j</sub></b>	P1	P2	.	.	Pn
	<b>F<sub>j</sub></b>	F1	F2	.	.	Fn
<b>A<sub>i</sub></b>						
A1		E11	E12	.	.	E1n
A2		E21	E22	.	.	E2n
.		.	.	.	.	.
A <sub>m</sub>		E <sub>m1</sub>	E <sub>m2</sub>	.	.	E <sub>mn</sub>

gdzie:  $A_i$  – alternatywa dostępna przez wybór decydenta gdzie  $i=1,2,\dots,m$

$F_j$  – stan „natury”, czynnik nie kontrolowany przez decydenta

$P_j$  – prawdopodobieństwo że  $j$ -ty niekontrolowany czynnik zajdzie

$E_{ij}$  – miara oceny (dodatnia lub ujemna) stowarzyszona z  $i$ -ta alternatywą i  $j$ -tym czynnikiem niezależnym (naturalnym)

## Założenia i uwagi

- domniemanie że wszystkie realne alternatywy zostały rozpatrzone
- domniemanie, że wszystkie czynniki niezależne zostały zidentyfikowane (możliwe czynniki niezależne niezidentyfikowane mogą znacząco wpływać na uzyskiwane wyniki)
- występowanie jednego czynnika zależnego wyklucza inny czynnik (czynniki te są wzajemnie wykluczające się)
- występowanie pewnego czynnika niezależnego nie zależy od wyboru alternatywy
- występowanie pewnego czynnika niezależnego nie jest znane z pewnością pomimo że pewność jest często zakładana dla analizy celowo
- miary oceny w modelu macierzy są związane z wynikami które mogą być obiektywne lub subiektywne. W najbardziej powszechnym przypadku są to miary obiektywne wyrażone we wspólnej (dla wszystkich alternatyw) formie np. opłacalność może być profitem wyrażonym w dolarach, plon w tonach, koszt w dolarach.
- miary te mogą być także wartościami w skali rankingowej. Przykładami są wyrażenia lub preferencje takie jak: wizerunek firmy (dobry może być bardziej preferowany), wyższa jakość produktu (wysoka może być bardziej preferowana niż niższa jakość itp.).

### Decyzje deterministyczne – przy założonej pewności

Podejmowanie decyzji projektowych dotyczących wyboru wariantu systemu przewidzianego do realizacji w warunkach deterministycznych tzn. gdy sam system i otoczenie zachowuje się ściśle przewidywalnie) nie jest trudne, jeżeli cechy pożądanego systemu są w pełni kwantyfikowalne.

Macierz oceny dla podejmowania decyzji staje się wektorem składającym się z pojedynczej kolumny - specjalny przypadek macierzy. Jedyne czynniki niezależne występują z całą pewnością (prawdopodobieństwo 1 w macierzy). Inne czynniki nie występują (prawdopodobieństwo 0)

#### Reguła decyzyjna

Jeśli alternatywy są równe we wszystkich innych aspektach wybrać należy tę która minimalizuje koszt lub maksymalizuje zysk.

$\text{Min} \{ E_i \}$  – dla kosztu

$\text{Max} \{ E_i \}$  – dla zysku.

Niekiedy nie jest możliwe zaakceptowanie przesłanki tylko na podstawie kosztów czy zysków. Nie kwantyfikowalne i nie monetarne czynniki mogą być wystarczająco znaczące by przeważać obliczone koszty lub zyski. Aby dokonać racjonalnego wyboru z pośród wielu nie ilościowo ocenianych alternatyw można posłużyć się oceną punktową wyznaczoną przez opinie eksperta lub wyznaczoną przez porównanie podobnych przypadków występujących w przeszłości (ustalenie rankingu). Każdy wynik może być porównany z powszechnymi standardami lub wyniki mogą być porównywane między sobą .



Przykład - rozpatrujemy 4 możliwe podejścia (bez niepewności) prowadząc do 4 wyników E1, E2, E3, E4.

$E1 > E3$      $E2 > E3$

$E2 > E4$      $E3 > E4$

$E2 > E1$

$E1 > E4$

Gdzie znak  $>$  oznacza że wynik po lewej stronie znaku jest bardziej preferowany od jego konkurenta.

W tym porównaniu E2 wygrywa 3 razy E1 dwa razy, E3 raz a E4 w ogóle, tak więc ranking jest  $E2 > E1 > E3 > E4$ .

### *Decyzje w warunkach ryzyka*

Podejmowanie decyzji w warunkach ryzyka zachodzi kiedy decydent nie ukrywa niewiedzy wobec przyszłości, ale wyraża ją jasno przez wyznaczenie prawdopodobieństw. Takie prawdopodobieństwa mogą być wyznaczone eksperymentalnie, opierać się na opinii ekspertów, subiektywnym poglądzie albo ich kombinacji.

Przykład.

Firma dostarczająca kompleksowo systemy komputerowe (hardware i oprogramowanie) ma sposobność zaoferować dwa powiązane kontrakty. Pierwszy odnosi się do wyboru i instalacji hardware dla centrum komputerowego wraz z odpowiednim oprogramowaniem. Druga związana jest z poszerzeniem możliwości istniejącej sieci komputerowej w zakresie wyboru i instalacji hardware i software (dla tego samego odbiorcy). Firma może być nagrodzona zarówno kontraktem C1 lub C2 jak i obydwoma kontraktami C1 i C2. Są to możliwe czynniki niezależne. Rozważenie możliwych podejść prowadzi do identyfikacji pięciu alternatyw.

1. Firma zleca wybór i instalacje hardware ale tworzy oprogramowanie sama.
2. Firma podzleca wykonanie oprogramowania ale wybiera i instaluje hardware we własnym zakresie.
3. Firma zatrzymuje dla siebie zarówno wykonawstwo w zakresie wyboru i instalacji sprzętu jak i wykonania oprogramowania.
4. Podjęcie współpracy z inną firmą (partnerem) w obu zakresach hardware i software.
5. Wystąpienie tylko w roli koordynatora i managera projektu i podzlecić wszystkie zadania innym.

Po wyspecyfikowaniu możliwych alternatyw następnym krokiem jest określenie wartości wypłat. Należy także wyznaczyć prawdopodobieństwo wystąpienia każdego z trzech czynników niezależnych. Suma prawdopodobieństw musi być równa 1.

Przykładowo macierz oceny decyzji (zysk w tyś. dolarów)

		<b>P<sub>j</sub></b>		
		0.3	0.2	0.5
		<b>F<sub>j</sub></b>		
		C1	C2	C1+C2
<b>A<sub>i</sub></b>				
A1		100	100	400
A2		-200	150	600
A3		0	200	500
A4		100	300	200
A5		-400	100	200

Przed zastosowaniem kryteriów wyboru z pośród alternatyw macierz powinna być sprawdzona pod względem dominacji. Alternatywa która jest w sposób oczywisty nie preferowana bez względu na to jaki czynniki niezależny wystąpi może być usunięta z rozważań.

Jeśli wyniki dla alternatywy x są lepsze niż wyniki dla y dla wszystkich możliwych przypadków F<sub>j</sub> alternatywa x jest nazywana dominującą nad y i y może być usunięta jako potencjalny wybór.

W naszym przypadku może zostać wyeliminowana alternatywa A5 gdyż jest ona zdominowana przez inne. Oznacza to że ustawienie się tylko na pozycji managera projektu jest najgorszym z wszystkich możliwych rozwiązań bez względu na sposób w jaki projekt będzie realizowany. Taki zabieg pozwala zredukować macierz i rozważać tylko alternatywy od A1 do A4

	Pj	0.3	0.2	0.5
Ai	Fj	C1	C2	C1+C2
A1		100	100	400
A2		-200	150	600
A3		0	200	500
A4		100	300	200

### *Kryterium poziomu aspiracji*

W większości przypadków podejmowania decyzji istnieje jakaś forma uwzględniania poziomu aspiracji.

Poziom aspiracji jest pewnym poziomem chęci (pożądania) osiągnięcia zysku albo uniknięcia strat. W podejmowaniu decyzji w warunkach ryzyka kryterium poziomu aspiracji związane jest z wyborem pewnego poziomu który musi być osiągnięty.

Np. minimalny poziom zysku do przyjęcia będzie 400, a maksymalny poziom strat na które się godzimy to 100. Warunek osiągnięcia zysku 400 mogą spełniać alternatywy A1,A2,A3 ale A2 naraża nas na straty które są dla nas nie do przyjęcia . Stąd pod uwagę możemy wziąć tylko A1 i A3. Wybór pomiędzy A1 i A3 powinien odbyć się za pomocą jakiegoś innego kryterium gdyż przyjęty poziom aspiracji nie rozstrzyga tutaj jednoznacznie naszego wyboru.

### *Kryterium najbardziej prawdopodobnego stanu*

Podstawową tendencją człowieka jest zwrócić uwagę na najbardziej prawdopodobne wyniki z pośród kilku które mogą zajść. Taka decyzja sugeruje, że wszystko z wyjątkiem najbardziej prawdopodobnych czynników niezależnych jest do zlekceważenia.

Wielu podejmujących decyzję stara się maksymalizować zyski i minimalizować spodziewane straty. To jest zwykle uzasadnione w powtarzalnych sytuacjach gdzie wybór podejmowany wielokrotnie, zwiększa zaufanie, że kalkulowane spodziewane wyniki będą się powtarzać. Takie podejście jest rozważane także gdy konsekwencje możliwych wypłat są dysproporcjonalnie duże tworząc rezultat który odbiega od wartości średniej.

$$\text{Max}_j P_j \{ \text{max}_i E_{ij} \}$$

Najbardziej prawdopodobne jest zdarzenie że oba kontrakty C1+C2 będą realizowane ( $P=0.5$ )

Preferowana alternatywa to A2 ( $E_{ij}=600$ ).

### *Kryterium wartości oczekiwanej*

Obliczenie wartości oczekiwanej wymaga ważenia wszystkich wypłat przez prawdopodobieństwo ich występowania. Te ważone wypłaty są sumowane po stanach  $F$  dla każdej alternatywy.

$$\text{Max}_i \sum P_j E_{ij}$$

$$A1: 100*0.3+100*0.2+400*0.5=250$$

$$A2: -200*0.3+150*0.2+600*0.5=270$$

$$\underline{A3: 0*0.3+200*0.2+500*0.5=290}$$

$$A4: 100*0.3+300*0.2+200*0.5=190$$

Porównanie decyzji.

Decyzja jest zależna od kryterium decyzyjnego użytego przez podejmującego decyzję.

W naszym przykładzie

Poziom aspiracji - A1 lub A3

Kryterium najbardziej prawdopodobnego stanu - A2

Kryterium wartości oczekiwanej – A3

Można zasugerować się faktem że A3 występuje najczęściej.

### *Decyzje w stanie niepewności*

Niestety może się okazać niemożliwe uzyskanie informacji o prawdopodobieństwie występowania poszczególnych stanów (czynników niezależnych). Czasami istnieje niechęć do ustanowienia subiektywnych wartości prawdopodobieństwa zwłaszcza, że może się to wiązać z przykrymi konsekwencjami. Jeśli informacja o prawdopodobieństwie zdarzeń jest niedostępna to mówimy że podejmujemy decyzję w stanie niepewności.

Kryterium Laplace'a (niewystarczającej przyczyny)

W tym kryterium należy przyjąć, że z racji nie wiedzy należy przyjąć, dla wszystkich  $F$  równe prawdopodobieństwa tzn. że każdy możliwy stan jest równie możliwy jak pozostałe.

Racjonalna podstawa sprowadza się tutaj do tego, że przy braku innej informacji, nie istnieje żadna podstawa, że jeden stan jest bardziej prawdopodobny od innego.

Tak więc  $P_j = 1/n$  ( $n$  - liczba możliwych stanów natury, czynników niezależnych)

$\text{Max}_j \sum P_j E_{ij} = \text{Max}_j (1/3 \sum E_{ij})$  – średnia arytmetyczna  $E$  z wiersza  $i$

A1:  $(100+100+400)/3 = 200$

A2:  $(-200+150+600)/3 = 183$

A3:  $(0+ 200+500)/3 = 233$

A4:  $(100 +300 +200)/3 =200$

*Kryterium maximin*

Bazuje na ekstremalnie pesymistycznej ocenie wpływu czynników niezależnych. Użycie tego kryterium mogłoby być uzasadnione jeżeli oceniamy że może nastąpić najgorsze. Zapewniamy najlepszy wybór z pośród najgorszych możliwych wyników.

$\text{Max}_i (\text{min}_j E_{ij})$

Algorytm:

- poszukujemy wartości minimalnych w każdym wierszu
- szukamy wartości maksymalnej wartości z pośród otrzymanych
- identyfikujemy alternatywę związaną z preferowaną wartością

<b>A<sub>i</sub></b>	Min <sub>j</sub> E <sub>ij</sub>
A1	100
A2	-200
A3	0
A4	100

Proponujemy A1 i A4 jako równoważne ze względu na przyjęte kryterium (ponieważ jednak A1 może dać większy zysk niż A4 możemy zasugerować ostatecznie A1).

### *Kryterium Maximax*

Bazuje na ekstremalnie optymistycznym poglądzie na czynniki niezależne. Użycie tej reguły jest usprawiedliwione jeżeli oceniamy że czynniki niezależne ułożą się pomyślnie.

Szukamy takiej alternatywy która zapewnia najlepszy z najlepszych możliwych wyników.

$$\text{Max}_i (\text{max}_j E_{ij})$$

Algorytm:

- Znajdujemy maksima  $E_{ij}$  w każdym wierszu
- Szukamy maksymalnej wartości z pośród znalezionych
- Identyfikujemy alternatywę która jest związana z tą wartością.

<b>A<sub>i</sub></b>	Max <sub>j</sub> E <sub>ij</sub>
A1	400
A2	600
A3	500
A4	300

Możemy otrzymać maksymalnie 600 zysku co odpowiada decyzji podjęcia działań A2.

### *Kryterium Hurwicza*

Wymagane jest obranie preferencyjnego wskaźnika optymalności  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

Większość ludzi ma pewien stopień optymizmu i pesymizmu gdzieś pomiędzy ekstremami. Reguła Hurwicza zakłada pewien współczynnik względnego optymizmu i pesymizmu.

Kiedy  $\alpha = 0$  podejmujący decyzję jest skrajnie pesymistyczny jeżeli chodzi o przyszłość (o stany natury) podczas gdy  $\alpha = 1$  wskazuje na optymizm co do czynników niezależnych.

$$\max_i \{ \alpha [\max_j E_{ij}] + (1 - \alpha) [\min_j E_{ij}] \}$$

Przykład  $\alpha = 0,2$

$$\underline{A1 : 0,2*400+0,8*100= 160}$$

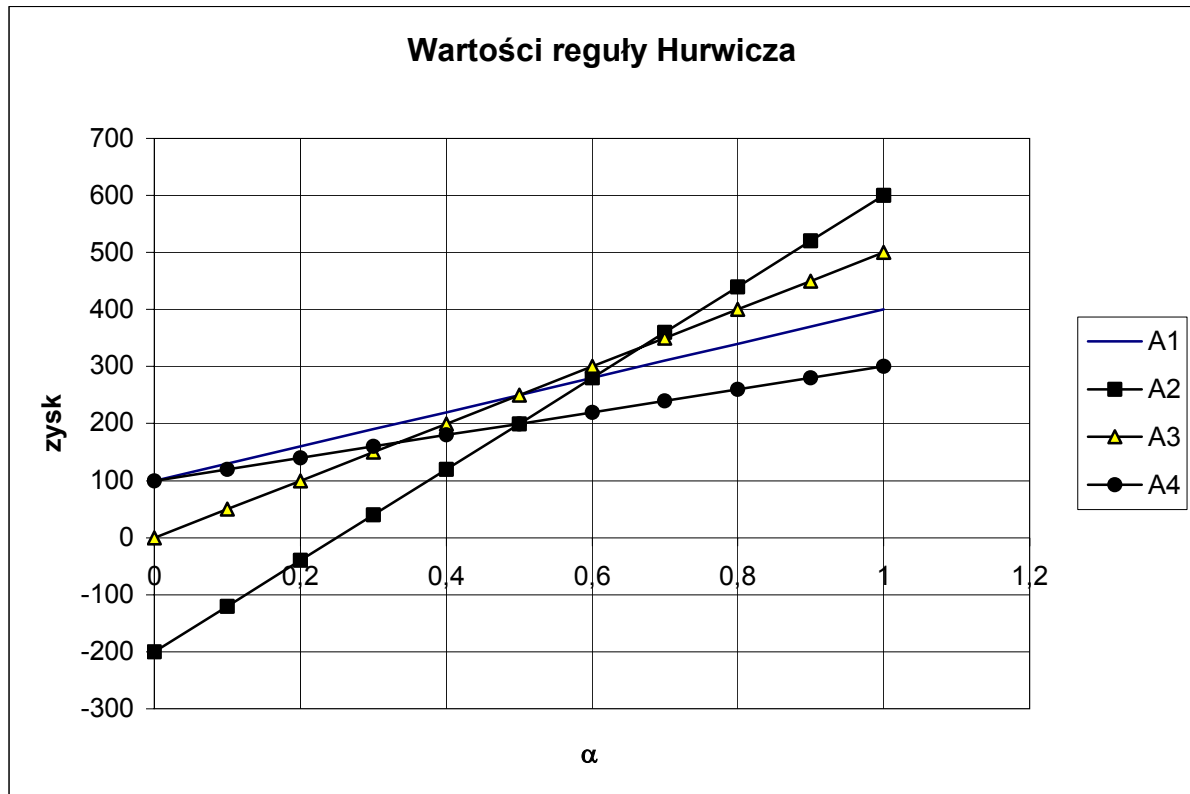
$$A2: 0,2*600+0,8(-200)=-40$$

$$A3: 0,2*500+0,8 *0 =100$$

$$A4: 0,2*300+0,8*100=140$$



Dodatkowa możliwość spojrzenia na regułę Hurwicza może być osiągnięta przez ilustrację graficzną każdej alternatywy dla wszystkich wartości  $\alpha$  z zakresu od 0 do 1. Pozwala to na identyfikację wartości  $\alpha$  dla których każda alternatywa mogłaby być faworyzowana.



Jak widać propozycja A4 w ogóle nie będzie brana pod uwagę bez względu na stopień pesymizmu czy optymizmu, natomiast np. dla  $\alpha < 0,5$  (czyli umiarkowany pesymizm) dominować będzie A1. By wybrać A2 należy być optymistą ale nie skrajnym ( $\alpha > 0,75$ ).

Nie ma jednej najlepszej kryterium do podejmowania decyzji w warunkach niepewności.

Podjęta decyzja zależy od przyjętego kryterium. Wybór reguły decyzyjnej dla danej sytuacji musi bazować na subiektywnym osądzie.

W naszym przykładzie w warunkach niepewności: kryterium Lapace'a: A3; maximin: A1 lub A4; maximax: A2; kryterium Hurwicza ( $\alpha = 0,2$ ): A1