

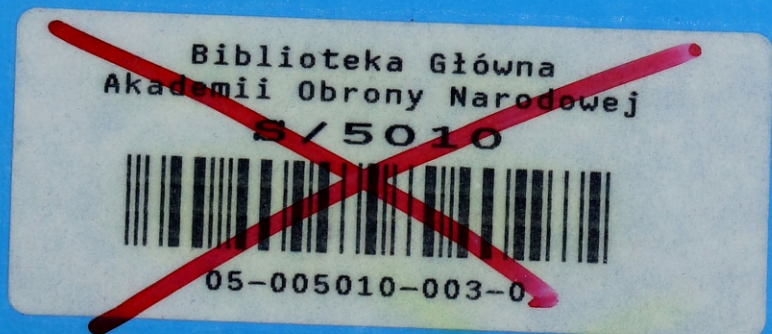


AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ

WYDZIAŁ LOTNICTWA I OBRONY POWIETRZNEJ

Ppłk dr inż. Jerzy KOZIOŁ

ZARZĄDZANIE RYZYKIEM W SIŁACH POWIETRZNYCH 4.21.2.0



WARSZAWA

2002

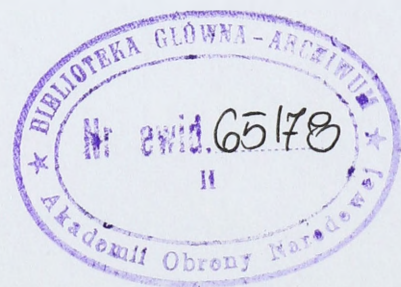
65178



AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ
WYDZIAŁ LOTNICTWA I OBRONY POWIETRZNEJ

Pplk dr inż. Jerzy KOZIOL

**ZARZĄDZANIE RYZYKIEM
W SIŁACH POWIETRZNYCH**



WARSZAWA

2002

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Stefan ANTCZAK

WYBIAŁA ŁÓDZKA I OBRONA POWIETRZNA
KATEDRA OBRONY POWIETRZNEJ



Spis treści

Wstęp.....	5
Wprowadzenie.....	13
Informacja w procesie decyzyjnym	20
Niepewność i ryzyko	36
Modelowanie ryzykownych sytuacji decyzyjnych	44
Porównanie cech wariantów decyzyjnych	61
Zarządzanie ryzykiem w praktyce dowodzenia siłami powietrznymi.....	78
Wybór efektywnego wariantu działania lotnictwa.....	78
Wybór ugrupowania bojowego wojsk obrony powietrznej	84
Wykorzystanie ocen rozmytych w hierarchicznej analizie problemów	92
Zakończenie	112
Załącznik	113
Koncepcja zbiorów rozmytych	113
Relacje rozmyte.....	124
Bibliografia.....	132

Wstęp

Podjęcie decyzji jest podstawowym przejawem aktywności ludzkiej. Podjęcie jakiegokolwiek decyzję, zawsze wiąże się z ryzykiem. Ryzyko staje się jednym z najbardziej popularnych pojęć pojawiających się w dzisiejszej rzeczywistości. Ze względu na znaczenie teoretyczne jak i praktyczne, problem podejmowania decyzji w warunkach ryzyka jest obszarem aktywnych badań naukowych. Szczególne zainteresowanie tym obszarem wykazują przedstawiciele nauk wojskowych, chcąc określić stopień racjonalności podejmowanych decyzji przez decydentów zajmujących się użyciem sił zbrojnych.

W ostatnich latach, (o czym świadczą doświadczenia konfliktu bałkańskiego, „Pustynnej Burzy” i wojny w Afganistanie), kiedy działania zbrojne zostały zdominowane działaniami sił powietrznych, zapotrzebowanie na opracowania dotyczące ryzyka związanego z użyciem tych sił zostało zwielokrotnione. Chcąc wyjść naprzeciw takiemu zapotrzebowaniu została napisana niniejsza praca, której celem jest opracowanie podstaw teoretycznych zarządzania ryzykiem w podejmowaniu decyzji o użyciu sił powietrznych.

Rozwój sił powietrznych – nie tylko w sensie technicznym ale może przede wszystkim organizacyjnym - może mieć charakter ewolucyjny. W takim przypadku przedmiotem zainteresowania dowództwa (kierownictwa) powinna być identyfikacja zmian (organizacyjnych) oraz ustalenie zasad, które te zmiany kształtują. Można zatem przypuszczać, iż możliwe jest wyznaczenie dla przyszłych etapów rozwoju sił powietrznych takich wewnętrznych procedur, które w zasadniczy sposób ograniczą niepewność i związane z nią ryzyko.

Jednakże ryzyko dające się identyfikować w organizacji determinują również a może przede wszystkim dynamiczne zmiany otoczenia. Dlatego we współczesnych rozważaniach na temat funkcjonowania sił powietrznych coraz częściej odchodzi się od teorii zmian ewolucyjnych na rzecz uwzględnienia zmian gwałtownych wynikających ze zmian w ich otoczeniu.

Siły powietrzne reprezentują jeden z trzech podstawowych komponentów sił zbrojnych obok sił morskich i lądowych. Siły powietrzne posiadają specyfikę, która je zdecydowanie wyróżnia spośród pozostałych komponentów sił zbrojnych - mają szczególną zdolność użytkowania przestrzeni powietrznej.

Podstawowymi atrybutami sił powietrznych świadczącymi o ich specyficie to:

Prowadzenie działań w szerokim spektrum wysokości, co daje możliwość obserwacji i dominowania nad działaniami na lądzie i morzu;. Wykorzystywanie statków powietrznych mogących uzyskiwać duże prędkości, powoduje, że czas przeciwdziałania środków naziemnych jest minimalizowany, a zatem zwiększa się prawdopodobieństwo zachowania żywotności podczas realizacji zadań bojowych; Ten sam atrybut pozwala na szybsze przemieszczanie sił i wypełnianie większej liczby zadań w krótszym czasie a to daje możliwość uzyskania efektu zaskoczenia.

Zasięg działania sił powietrznych jest zdecydowanie większy od możliwości oddziaływania pozostałych komponentów sił zbrojnych. Samoloty mogą zwiększyć zasięg działania sił zbrojnych we wszystkich kierunkach bez względu na przeszkody terenowe takie jak łańcuchy górskie lub akweny wodne.

Wysokość, prędkość i zasięg użycia sił powietrznych zezwalają na wypełnianie różnorodnych zadań i dają zdolność dostosowywania do zmieniających się okoliczności. W wyniku tego siły powietrzne cechuje wyjątkowa elastyczność. Siły powietrzne mogą dodatkowo koncentrować swój potencjał o dowolnej porze nawet na bardzo odległych rubieżach i realizować tam zadania o charakterystykach dostosowanych do potrzeb sytuacji bez względu na rodzaj celów.

Podstawową zasadą wykorzystania sił powietrznych jest uzyskanie i utrzymanie swobody działań. W ten sposób uzyskana przewaga w powietrzu zezwala na efektywne wykorzystanie środowiska powietrznego, a tym samym kontrolę przestrzeni powietrznej i ograniczenie możliwości działania w tym środowisku innym niepożądanym użytkownikom. Zdobycie i utrzymywanie przewagi w powietrzu jest przedsięwzięciem niezwykle trudnym organizacyjnie i kosztownym ale koniecznym dla zapewnienia bezpiecznej realizacji zadań stojących przed siłami powietrznymi.

Zatem musi zaistnieć kompromis pomiędzy kosztami ekonomicznymi łożonymi na utrzymanie kontroli przestrzeni powietrznej a potrzebą bezpieczeństwa.

W przypadku kiedy globalna przewaga powietrzna nie może być osiągnięta, celem sił powietrznych będzie uzyskanie i utrzymanie takiego stopnia przewagi ograniczonej, czasem i przestrzenią, który będzie określony wymaganym stopniem bezpieczeństwa wynikającym z aktualnych celów politycznych, sytuacji militarnej, zagrożeń i podjętego ryzyka.

Należy również zauważyć, że w okresach kryzysu i początkowych etapach jakiegokolwiek konfliktu, które miały miejsce w ostatnich kilku dziesięcioleciach głównym elementem rozstrzygającym były siły powietrzne. Zatem problematyka użycia sił powietrznych ich organizacji oraz dowodzenia nimi w aktualnych uwarunkowaniach zaczyna odgrywać pierwszoplanową rolę w strategii obronnej każdego państwa.

Podjęcie prac badawczych w tym zakresie może stanowić próbę analizy jednego z podstawowych zagadnień, które można określić jako problem przepływu informacji decyzyjnych między poszczególne szczeble hierarchii dowodzenia siłami powietrznymi. Jego rozwiązanie (zdaniem autora), należy do zadań podstawowych. Dowodzenie siłami powietrznymi bowiem jest zbiorem czynności planowania (podejmowania decyzji na temat użycia sił powietrznych), organizowania (grupowania ludzi i rzeczy oraz ustalania reguł postępowania), motywowania (ustalania i uruchamiania norm) oraz zasilania w środki działania (niezbędne do zapewnienia stanu bezpieczeństwa w przestrzeni powietrznej). Prace badawcze powinny dotyczyć również procesów myślowych w dziedzinie dowodzenia z uwzględnieniem sprzężenia zwrotnego między informacją a socjopsychicznymi uwarunkowaniami człowieka (podmiotu decyzyjnego - dowódcy), który informację tworzy i nią się posługuje. Autor starał się będzie dać odpowiedź na pytanie, „jak podnieść efektywność działań sił powietrznych uwzględniając ryzyko wynikające z niepełnej informacji”.

Wielu przedstawicieli współczesnych nauk i dyscyplin naukowych próbuje w swych pracach wyjaśnić przyczyny, przebieg i skutki różnorodnych postaw ludzkich. Ich uwaga skupia się przy tym zwykle na człowieku jako jednostce, jego kontaktach z innymi ludźmi i funkcjonowaniu w grupie. Taki charakter mają przede wszystkim prace z zakresu filozofii, socjologii i psychologii. Przedmiotem tych nauk jest głównie

osoba człowieka, wydaje się zatem zrozumiale, że w naukach społecznych właśnie należy szukać wyjaśnienia występowania i następstw zjawisk, których realizację w dużej mierze determinuje ludzkie istnienie.

Wśród tematów, jakie zostały podjęte w pracach naukowych w wyżej wymienionych obszarach, problem niepewności człowieka i jego zachowania w warunkach niepewności, jest jedynie wzmiankowany, nie doczekał się wyczerpującej analizy i jasnego rozwiązania. Bardzo długo filozofowie uważali niepewność za sytuację beznadziejną, zaś celem najwyższym miało być zapewnienie sobie pewności jutra, jako niezbędnego warunku spokoju ducha. Postulowano próbę opanowania zjawisk, które cechował brak wszystkich potrzebnych parametrów opisowych. Narzędziami wpływu miały być rozum i logika. Traktowano niepewność jako stan niepożądany i dla człowieka wielce szkodliwy, bowiem angażujący jego umysł dla często próżnych i ogromnych wysiłków intelektualnych, w celu zapewnienia względnej pewności jutra.

Obok tak pesymistycznych poglądów pojawiły się jednak symptomy konstruktywnego optymizmu, a ludźmi, którzy je wnieśli, byli Pascal¹, Kierkegaard i w okresie późniejszym Peter Wust². Wszyscy trzej myśliciele pozostali w zgodzie z poprzednim nurtem w jednym aspekcie, to jest w pozytywnym znaczeniu dążenia do zapewnienia pewności jutra. Odrzucili jednak negatywne nastawienie do sytuacji pozbawionych absolutnej pewności i do podejmowania ryzyka przez człowieka. W momencie odkrycia rachunku prawdopodobieństwa przez Fermata i Pascala stało się oczywiste, że martwe wzory matematyczne ożyją i będą istotnym elementem przewidywania przyszłości. W świetle nowych zastosowań matematyki pojęcie niepewności, a wraz z nim ryzyka, nabrało zatem innego wymiaru.

Termin konstruktywny optymizm rozumiany jest jako akceptacja istnienia niepewności i ryzyka, poparta wskazaniem środków postępowania w warunkach ograniczonej pewności. Definiowanie jako przeciwieństwo pewności zostało zastąpione terminami szansa, zagrożenie, prawdopodobieństwo. Ryzyko uznano za przedmiot (element) na stałe przypisany do człowieka, tak jak trwanie, czy

¹ Jako pierwszy podjął się problematyki przewidywania przyszłości, na prośbę kawalera deMere obliczał prawdopodobieństwo wygranej w grach hazardowych. Por. Berstein P.L. Przeciw bogom. Niezwykłe dzieje ryzyka.

² Przedstawicielami tej myśli są przede wszystkim Heidegger i Jaspers. Por. P. Wust, Niepewność i ryzyko, Warszawa 1995

przemijanie. Podejmowanie ryzyka okazało się niezbędne dla samodoskonalenia oraz osiągnięcia życiowych korzyści i satysfakcji.

Aktywna postawa wobec ryzyka może wszakże przybrać dwie zasadniczo odmienne formy, w postaci uzasadnionych wyborów lub samowoli³. Wśród tak sprecyzowanych możliwości podejmowania ryzyka wybór powinien być tylko jeden. Ryzyko podjęte musi mieć logiczne uzasadnienie. Aktywna i logiczna postawa wobec ryzyka poparta koncepcją rachunku prawdopodobieństwa jest głównym dorobkiem humanistycznego nurtu ryzyka.

Tymczasem podejmowanie decyzji przez człowieka w warunkach niepewności wymaga sformułowania bardziej szczegółowych metod i instrumentów postępowania z ryzykiem poprzez wybór i interpretację potrzebnych informacji i przewidywania następstw możliwych rozwiązań. W tym obszarze z pomocą koncepcjom humanistycznym przyszła matematyczna teoria decyzji, wyjaśniająca mechanizmy wyboru w różnych aspektach działalności człowieka, która znajduje się pod wpływem czynników pochodzących z różnych źródeł w postaci podmiotowej i pozapodmiotowej⁴.

Często pojęcie niepewności odnosi się do efektów i wyraża, w jakim stopniu zamierzone przedsięwzięcie jest w realizacji wątpliwe - prawdopodobne. Takie ujęcie problemu sugeruje fakt występowania elementu niepewności w momencie obserwacji efektów podjętych decyzji i jego powiązania z końcowym etapem procesu decyzyjnego.

Powyższe stwierdzenie w odniesieniu do człowieka i jego niepewności, jak również innych zdarzeń o podobnym charakterze wydaje się błędne. Istnienie niepewności jest bowiem początkiem problemu decyzyjnego człowieka i towarzyszy mu w sposób ciągły. Źródła niepewności upatrywać należy wśród wielu elementów i zjawisk, z którymi człowiek styka się na co dzień i na które posiada mniej lub bardziej istotny wpływ. Do najważniejszych źródeł niepewności dotyczących człowieka należą:

- niedostępność informacji potrzebnych do podjęcia decyzji,
- podejmowanie działań na wielu płaszczyznach,

³ Nosal Cz. Psychologia myślenia i działania menedżera, Akade, Kraków 2001.

⁴ Podział na źródła podmiotowe i pozapodmiotowe jest związany z oddziaływaniem ludzi bądź zjawisk na kształt i wielkość następstw decyzji.

- działania innych podmiotów decyzyjnych, które w sposób świadomy lub nieświadomy ograniczają dostęp do informacji oraz wypaczają jej końcowy kształt,
- indywidualne cechy podmiotu decyzyjnego, pozwalające na lepsze lub gorsze wykorzystywanie informacji dostępnych⁵.

Wymienione wyżej czynniki wpływające na charakter i rozmiar niepewności w zasadniczy sposób kształtują warunki decyzyjne, w jakich człowiekowi przychodzi działać. W związku z tym warto wprowadzić do rozważań nad niepewnością pojęcie decyzji jednostkowej, które oznaczać będzie zespół czynników i warunków związanych z rozwiązaniem jednego problemu. Ogólny obraz niepewności decyzji jednostkowej kształtować zatem będzie określony udział wymienionych wyżej czynników wpływu, w wielkości, w jakiej będą tej decyzji dotyczyć. Sformułowany w ten sposób wizerunek niepewności implikuje wniosek, że każda decyzja jednostkowa będzie obciążona innym bagażem niepewności.

Skutkiem opisanej wyżej sytuacji, a więc występowania niepewności w procesie decyzyjnym, będzie wobec tego brak kompletnego zbioru kryteriów dla podjęcia decyzji. Niepewność jednak pojawiać się będzie aż do zaistnienia efektów podjętych działań, a ich wystąpienie nie zdoła zweryfikować całkowicie słuszności decyzji. Stanie się tak dlatego, ponieważ efekty rozwiązań alternatywnych (nie podjętych) nie będą znane.

Można spotkać się z poglądem, że ryzyko jest skutkiem niepewności, zaś działanie w warunkach niepewności równoznaczne jest z działaniem ryzykownym. Potwierdzając ten pogląd konsekwentnie należałoby się zgodzić z twierdzeniem, że niepewność jest warunkiem koniecznym, ale również wystarczającym wystąpienia ryzyka. Tymczasem niepewność, która dotyka człowieka w wielu obszarach, wcale nie oznacza, że podejmuje on ryzyko. Aby tak się stało, musi bowiem zaistnieć potrzeba realizacji określonych działań, które mogą przybrać charakter ryzykowny. Podział na źródła podmiotowe i pozapodmiotowe jest związany z oddziaływaniem ludzi bądź zjawisk na kształt i wielkość następstw decyzji człowieka. Wyjątkiem w tym przypadku będzie sytuacja braku możliwości wyboru, która jednak znacznie upraszcza podejmowanie decyzji.

⁵ Nosal Cz. Umysł menedżera. Przecinek, Wrocław 1993.

Obszarów podejmowania ryzyka przez człowieka jest niezmiernie dużo. Dla uporządkowania warto je podzielić na grupę obszarów o charakterze powszechnym oraz grupę obszarów o charakterze indywidualnym. Pierwsza z wymienionych grup obejmuje te wszystkie czynności, które wynikają z podmiotowości człowieka i są mu nieodłączne. Druga grupa z kolei nawiązuje do sytuacji partykularnych, a więc cechujących poszczególne podmioty decyzyjne. Tego typu podział prowadzi do następujących wniosków:

- każdy podmiot decyzyjny działa na określonych obszarach w obu wymienionych grupach,
- istnienie drugiej grupy obszarów ogranicza możliwość stosowania rachunku prawdopodobieństwa dla pomiaru prawdopodobnych skutków podejmowanych decyzji,
- w określonych przypadkach może zaistnieć wspólnota decyzji (wspólnota ryzyka)⁶.

Podejmowanie decyzji przez dowódcę – decydenta jest zwykle związane z ponoszeniem odpowiedzialności za jej następstwa⁷. W przypadku ograniczonego wpływu decydenta na decyzję (podjęcie ryzyka), wydawałoby się słuszne uczestniczenie w jej efektach w stopniu równym wielkości tego wpływu. Tymczasem w rzeczywistości taka sytuacja nie zdarza się często, a jeśli wystąpi, to z reguły w przypadku podjęcia ryzyka w obszarze indywidualnym.

Na tle rozważań nad niepewnością i ryzykiem człowieka nie można pominąć ujęcia ekonomicznego, którego rola w kształtowaniu postaw w warunkach ryzyka jest niepodważalna. Wymienić należy tu przede wszystkim teorię kosztu alternatywnego, która do zagadnień niepewności i ryzyka wniosła element optymalizacji. Według tej teorii rezygnacja z działania obarczonego ryzykiem nie oznacza uniknięcia ryzyka, ponieważ działania i decyzje alternatywne również nie są pozbawione ryzyka. W takich warunkach wybór powinien stanowić rozsądną równowagę pomiędzy potencjalną szansą (zagrożeniem) a prawdopodobieństwem jej zaistnienia. Wybór parametrów opisujących kryteria szansy (zagrożenia) i prawdopodobieństwa zależy od

⁶ Zdyb M. Istota decyzji UMCS Lublin 1993.

⁷ Kozioł J. Metody podejmowania decyzji o obronie powietrznej AON Warszawa 1996.

decydenta i ma zasadniczy wpływ na jakość podjętej decyzji .

Ukazane wcześniej rozważania na temat występowania niepewności i ryzyka w różnych obszarach działalności człowieka wskazują wyraźnie fakt, że podejmowanie ryzyka jest nieodłącznym elementem ludzkiej egzystencji. W działalności Sił Powietrznych jak również poza nią funkcjonuje podział zachowań podmiotu decyzyjnego (dowódcy) w odniesieniu do ryzyka, który uwzględnia indywidualne cechy decydenta wyrażające się chęcią lub niechęcią podejmowania ryzyka. Cechami, o których mowa, są awersja oraz skłonność do ryzyka. W przypadku awersji zachowanie człowieka odbierane jest jako bezwzględna niechęć do ryzyka, która jest czynnikiem ograniczającym rozwój jednostki, a również społeczeństwa. Przez skłonność do ryzyka rozumie się natomiast lekkie podejście do ryzyka, czasami niedostrzeżenie zagrożeń. Człowiek w obu przedstawionych sytuacjach jawił się zatem albo jako nadmiernie ostrożny, albo jako lekkomyślny. Powyższy podział nie przewidział miejsca dla osób rozsądnych w kontaktach z ryzykiem. Manipulacja ryzykiem i jego kontrola wydają się być niezbędnymi determinantami sukcesu w podejmowaniu decyzji. W odniesieniu do tego typu działań użyte zostało pojęcie zarządzania ryzykiem, które w przypadku człowieka można utożsamić z racjonalnym postępowaniem w kontaktach z ryzykiem. Postulat racjonalności w działaniach człowieka oznaczał będzie dążenie do poznania istotnych czynników ryzyka i praw rządzących ich zmianami, tak by postępowanie na etapie decyzyjnym miało charakter racjonalny.

Wprowadzenie

Każda organizacja wchodząca w skład Sił Powietrznych powołana jest do życia w celu wykonywania określonych postawionych przed nią zadań. Realizacja tych zadań odbywa się w dwojakiej formie — przez przepływ rzeczy i przepływ informacji. Ostatecznym celem działania każdej organizacji jest niewątpliwie przepływ rzeczy o określonej postaci. Przepływ informacji kieruje przepływem rzeczy (np. plan działania) i jest w tym sensie wobec nich pierwotny, a jednocześnie go odzwierciedla (sprawozdawczość, ewidencja), czyli jest również wobec przepływu rzeczy - przepływem wtórnym.

Używając terminu „przepływ rzeczy” należy mieć m. myśli zarówno materię jak i energię, gdyż obie te formy otaczającej nas rzeczywistości podlegają ludzkiemu działaniu. W praktyce militarnej przez pojęcie „przepływ rzeczy” rozumie się przepływ materii i energii w celu zniszczenia (destrukcji) przeciwnika lub postawienia go w takiej sytuacji, w której to zniszczenie mu grozi⁸ (w ten sposób zniechęcić go do prowadzenia dalszej walki). Należy zwrócić uwagę, że przepływ rzeczy jest realizowany w sposób bezpośredni tylko przez niektóre elementy struktury organizacyjnej te mianowicie, które znajdują się na szczeblu najniższym wykonawczym (drużyny, załogi, obsługi). Natomiast treścią działania pozostałych szczebli jest dowodzenie (kierowanie) szczeblem wykonawczym.

Pojęcie dowodzenia można rozumieć jako ciągły proces podejmowania decyzji⁹. Można, zatem powiedzieć, że o ile działanie szczebla wykonawczego polega na realizacji przepływu rzeczy o tyle działanie wszystkich szczebli dowódczych (kierowniczych) polega na podejmowaniu decyzji w celu

⁸ Konieczny J., *Cybernetyka walki PWN*, Warszawa 1970.

⁹ W. Sadowski pisze, że „...wszelkie zarządzanie sprowadza się w gruncie rzeczy do problemu podejmowania decyzji określonego typu. Każde działanie (zbiorowe lub indywidualne) jest prowadzone po to aby zrealizować z góry ustalone cele. Cele te mogą być zrealizowane przy użyciu określonych środków. Kierowanie to nic innego, jak po dojmowanie decyzji określających, w jaki sposób użyć stojące do dyspozycji środki, aby zrealizować postawione cele” (W. Sadowski *Współczesna nauka, o zarządzaniu*, PWE Warszawa 1987. Podobnego zdania jest A. M. Zawiślak, który pisze: „Zarządzanie przejawia się przede wszystkim w podejmowaniu różnego rodzaju decyzji...” *Użyteczność cybernetyki dla teorii organizacji i zarządzania*, „Problemy Organizacji” 1981, nr 12;

Koziol J. „Dowodzenie to podejmowanie decyzji (kreacja zamierzeń) i urzeczywistnianie ich przy pomocy innych osób (podwładnych) dla osiągnięcia celów walki zbrojnej, przy pełnej odpowiedzialności za skutki tych decyzji.” *Podejmowanie decyzji o obronie powietrznej*, AON 1996.

wykonania postawionych przed daną strukturą zadań. Proces podejmowania decyzji jest realizowany przez przepływ informacji. Innymi słowy działanie Sił Powietrznych polega na podejmowaniu pewnych decyzji, a następnie ich wykonywaniu. Ponieważ interesuje nas podejmowanie decyzji w warunkach ryzyka, a to jest domeną szczebli dowódczych (kierowniczych), zatem w centrum uwagi znajdzie się ten zakres działalności. Takie postawienie zagadnienia wynika z faktu, iż proces ostatecznego wykonywania decyzji jest jednoznacznie przypisany szczeblowi wykonawczemu, natomiast podejmowanie decyzji może występować na różnych szczeblach dowódczych których z zasady jest więcej niż jeden. Toteż można stwierdzić, że działanie dowolnej struktury dowodzenia Sił Powietrznych polega na podejmowaniu decyzji dowódczych. Oczywiście konkretna struktura ma za zadanie podejmowanie konkretnych, określonych decyzji.

Jeśli przez D_j oznaczmy decyzję rodzaju j , to zakres działania np. rodzaju sił zbrojnych w celu zachowania stanu bezpieczeństwa państwa – nazwijmy go r - będzie określony przez pewien ograniczony zbiór decyzji Z_r

$$\bigcup_{j=1}^n D_j = Z_r \quad (j=1,2,\dots, n) \quad (1)$$

gdzie:

Z_r — zakres działania r -tej struktury dowodzenia (np. zakres planowania i realizacji działania sił powietrznych na rzecz zachowania bezpieczeństwa państwa).

Powyższe sformułowanie odnosi się do wszystkich struktur organizacyjnych działających na rzecz bezpieczeństwa państwa (w różnych dziedzinach), od najmniejszej komórki organizacyjnej do całego systemu obronnego państwa. Wszędzie bowiem treścią działania struktury kierowania (dowodzenia) jest proces decyzyjny. Gdyby istniała taka organizacja w której nie podejmuje się żadnych decyzji jej istnienie nie miałoby sensu. Z powyższego stwierdzenia wynika m. in. oczywisty wniosek, że najpierw, musi zaistnieć konieczność bądź potrzeba podejmowania określonych decyzji, a dopiero potem należy stworzyć organizację która będzie je podejmować. Inaczej mówiąc, w procesie tworzenia organizacji wstępną czynnością powinno być sformułowanie celu, jakiemu tą organizacja ma służyć. Postawienie celu pozwoli, bowiem określić zbiór decyzji, jakie należy podjąć, aby go osiągnąć. Jest to

uznawane za powszechną zasadę zorganizowanego działania i choć teoria nie ma w tej kwestii wątpliwości, to w praktyce spotyka się jednak odstępstwa od tej zasady. Tworzy się niejednokrotnie komórki organizacyjne bez dokładnego sprecyzowania celu ich działania, czyli, zgodnie z tym co zostało powiedziane powyżej, bez określenia zakresu działania, mierzonego zbiorem podejmowanych decyzji. Niejasne lub niepełne sformułowanie celu oznacza nieznaną konkretnych wartości zmiennych równania (1). Taka sytuacja może prowadzić do pewnych zakłóceń działalności zarówno danej organizacji, jak i jej otoczenia.

Jeśli założymy, że działania związane z zachowaniem określonego stopnia bezpieczeństwa w przestrzeni powietrznej realizowane są przez zbiór organizacji składający się na tę strukturę (militarnych i pozamilitarnych) i oznaczymy je przez S , oraz że należy podjąć pewną określoną liczbę decyzji zmierzających do zniesienia zagrożeń powietrznych i osiągnięcia stanu bezpieczeństwa państwa, a zbiór ten oznaczymy przez D , to możemy zapisać, że

$$S_1 \cup S_2 \cup S_3 \cup \dots \cup S_q = S \quad (2)$$

przy czym

$$S_r \in S \quad (r=1,2,\dots,q)$$

oraz

$$D_1 \cup D_2 \cup D_3 \cup \dots \cup D_n = D \quad (3)$$

przy czym

$$D_j \in D \quad (j=1,2,\dots,n)$$

Zakres działania jednej organizacji S_r zapiszemy zgodnie ze wzorem (1) jako

$$\bigcup_{j=1}^n D_j = Z_r \quad (j=1,2,\dots,n) \quad (4)$$

natomiast zakres działania wszystkich organizacji

$$Z = Z_1 + Z_2 + \dots + Z_q = \sum_{r=1}^q Z_r \quad (5)$$

czyli

$$Z = \bigcup_{j=1}^{n_1} D_j + \bigcup_{j=n_1+1}^n D_j + \bigcup_{j=n_2+1}^{n_3} D_j + \dots + \bigcup_{j=n_{q-1}+1}^{n_q} D_j = D \quad (6)$$

dla

$$j = 1, 2, \dots, n_1, n_1 + 1, \dots, n_2, n_2 + 1, \dots, n_{q-1}, \dots, n_q$$

oraz

$$n_1 + (n_2 - n_1) + (n_3 - n_2) + \dots + (n_q - n_{q-1}) = n$$

W przypadku nie jasnego lub niepełnego sformułowania celu działania struktury dowodzenia może zajść sytuacja, że pewne decyzje znajdują się poza zakresami działania poszczególnych organizacji — innymi słowy zostaną pominięte, niejako „zapomniane” lub też pewne decyzje znajdują się w zakresach działania dwóch lub więcej organizacji. Możliwość zakłóceń wystąpią, zatem, gdy $Z \neq D$, czyli albo — $Z > D$, albo $Z < D$. Gdy zakres działań sił powietrznych jest większy od zbioru decyzji potrzebnych, oznacza to, że pewne decyzje „powtarzają się”, tzn. kompetencje ich podejmowania leżą jednocześnie w zakresach działania kilku organizacji.

W drugim przypadku pewne decyzje w ogóle nie są podejmowane, gdyż zakresy działań nie wypełniają całego zbioru potrzebnych decyzji, czyli zbiór Z ze wzoru (6) nie jest zbiorem pełnym. Wniosek, jaki płynie z powyższych rozważań, daje się ująć w formie stwierdzenia, iż dana decyzja D_j może znajdować się w zakresie działania tylko jednej organizacji.

Wzór (6) wyznacza również warunki, jakim powinien odpowiadać zbiór organizacji S , aby zapewnić odpowiedni stan bezpieczeństwa (funkcjonowania obrony powietrznej) pozbawiony zakłóceń wynikłych z niejasnego lub niepełnego sformułowania celów działania poszczególnych organizacji.

Przyjąłem, że działanie dowolnej struktury dowodzenia polega na podejmowaniu decyzji. Oznacza to, że poszczególne części składowe organizacji (ludzie, rzeczy, normy¹⁰) współuczestniczą niejako w wykonywaniu pewnych czynności, będących stadiami procesu decyzyjnego. Elementy te, zatem pozostają wobec siebie we współzależności, określonej przez uczestnictwo w procesie podejmowania decyzji. Ludzie, rzeczy i normy są mianowicie komplementarne względem siebie przy danej technice zbierania i przetwarzania informacji oraz na określonym poziomie rozwoju społecznego. Przez to słuszne jest traktowanie elementu składowego obrony powietrznej państwa (np. sił powietrznych) jako pewnej

¹⁰ Ehrlich S., Dynamika norm, PWN Warszawa 1988.

kombinacji ludzi, rzeczy i norm, wziętych w określonych przez strategię, sztukę operacyjną czy taktykę proporcjach. Jeśli te właśnie elementy składowe systemu obronnego oznaczmy przez e_i całą strukturę przez E , gdzie $e_i \in E$ dla $i = 1, 2, \dots, n$, a działalność elementu e_i przez η_i to możemy zapisać, że

$$\eta_i = f(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n, t) \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

gdzie t oznacza czas.

Jeżeli zależność taka nie istnieje, oznacza to, że system obrony powietrznej nie funkcjonuje w sprecyzowanym wyżej sensie, ale po prostu jest zbiorem elementów niezależnych (jest zbiorem dystrybutywnym). Ponieważ efekt działania całej struktury zależny jest również od działania jej poszczególnych elementów, zatem możemy zapisać także

$$F = \varphi(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n, t) \quad (8)$$

gdzie F oznacza efekt działania całej obrony powietrznej państwa. Wyrażenie $\frac{\partial \eta_i}{\partial t}$ będące pochodną funkcji (7) oznacza wtedy najmniejszą część procesu decyzyjnego realizowanego przez element i , czyli jest decyzją elementarną.

Fakt, że elementy struktury $e_i \in E$ są ze sobą współzależne w działaniu, ma istotne znaczenie dla prawidłowego projektowania obrony powietrznej. Znajomość konkretnych, analitycznych postaci funkcji (7) pozwala szczegółowo określać działalność każdego elementu przedstawionego systemu i była by podstawą do stworzenia matematycznej teorii systemu obrony powietrznej państwa.

Jak podkreśliłem wcześniej, informacja jest niejako nośnikiem różnego rodzaju zależności, służbowej, funkcjonalnej, specjalizacyjnej itp. Bez przepływu informacji nie może zachodzić proces decyzyjny, czyli zbieranie, przetwarzanie i przekazywanie danych, podejmowanie decyzji i przekazywanie ich do wykonania. Bez informacji nie może być, zatem mowy o dowodzeniu. Ponieważ uznałem przepływ informacji za warunek *sine qua non* istnienia i funkcjonowania Sił Powietrznych, w konsekwencji muszę stwierdzić, że istnieje ścisła zależność pomiędzy przepływem informacji a ich efektywnością. Myślę, zatem, że szczególną uwagę należy, również poświęcić przepływom informacji.

Zostało stwierdzone wcześniej, że istotą działania sił powietrznych jest określony przepływ materii, energii i informacji, w celu zapewnienia odpowiedniego stanu bezpieczeństwa w przestrzeni powietrznej. Przepływ rzeczy i przepływ informacji stanowią dwa aspekty działania dowolnej struktury organizacyjnej. Należy jednak zauważyć, że tylko szczebel najniższy w sposób bezpośredni i efektywny realizuje przepływ rzeczy. Szczebel ten stanowi pierwszą linię, pozostałe zaś szczeble zajmują się przepływem szeroko rozumianej informacji, która ma odzwierciedlać proces rzeczowy, a jednocześnie nim sterować. Przepływy informacji mają w pewnym sensie charakter usługowy do przepływów rzeczowych.

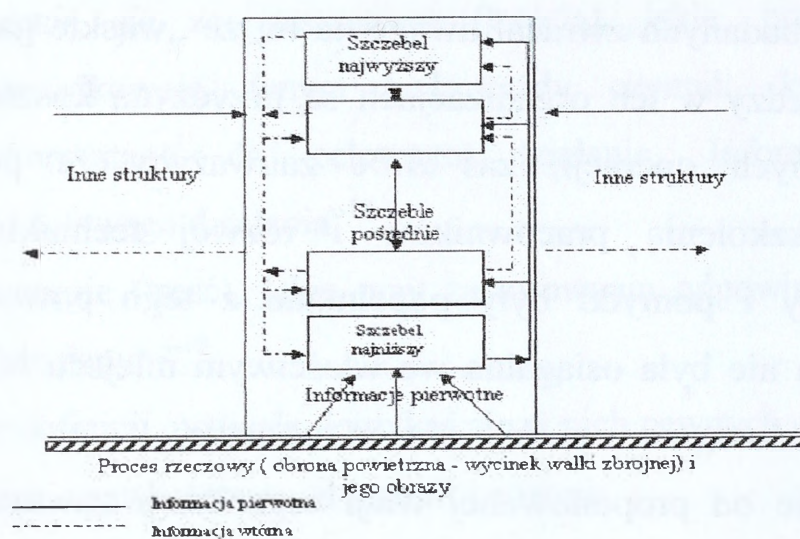
Takie spojrzenie na strukturę sił powietrznych ma bardzo istotne znaczenie przy analizie pojęć: koszt informacji, racjonalność decyzji, ryzyko i in. Ważne jest zrozumienie, że treścią działania wszystkich (oprócz najniższego) szczebli dowolnych struktur organizacyjnych jest proces informacyjny. Szczeble te także wykonują pewne decyzje, ale zachodzi to jedynie wtedy, gdy wykonanie danej decyzji polega na podjęciu innych decyzji, a zatem nie wychodzi poza sferę informacji. Gdy wykonywanie decyzji wychodzi poza tę sferę, wchodząc w sferę rzeczową, oznacza to, że wykonującym daną decyzję jest szczebel najniższy, który nie podejmuje już decyzji kierowniczych (dowódczych).

Następnym aspektem tego zagadnienia jest uświadomienie sobie faktu, że ponieważ procesy informacyjne odzwierciedlają procesy rzeczowe i sterują nimi, zatem informacja o procesach rzeczowych może powstawać generalnie na tym szczeblu, który je realizuje i dzięki temu ma z nimi bezpośredni kontakt. Jak już zaznaczyłem, tym szczeblem jest szczebel najniższy, wykonawczy. Tam, bowiem następuje bezpośrednie zetknięcie z przedmiotem działalności ludzkiej, czyli materią i tam też powstaje informacja o tym przedmiocie. Informację tę można nazwać informacją pierwotną¹¹. Na jej podstawie tworzy się informację wtórną różnego rodzaju. Informacja wtórna może powstawać i powstaje na wszystkich szczeblach kierowania. Jest ona przetworzoną, często bardzo dalece, informacją pierwotną.

¹¹ Zbliżoną definicję informacji pierwotnej daje M. Greniewski:

„Przez -informację (daną) pierwotną w obiekcie kierowanym będziemy rozumieli taką i tylko taką informację, która powstała w wyniku obserwacji (pomiaru) dokonanej przez obserwatora wewnątrz obiektu kierowanego, dotyczącą stanu obiektu lub jego otoczenia, albo która pochodzi spoza obiektu i dotyczy otoczenia obiektu kierowanego” (M. Greniewski. *Automatyczne przetwarzanie danych*, Warszawa 1987, s. S2).

Obieg informacji w dowolnej strukturze, odosobnionej od innych struktur, realizuje się, zatem na podstawie następującego schematu: tworzenie informacji pierwotnej na najniższym szczeblu, przesyłanie jej do szczebli wyższych, przetwarzanie na informację wtórną, podejmowanie decyzji, przesyłanie decyzji do wykonania; (do szczebli niższych) i ostateczna ich realizacja na, szczeblu najniższym, będąca źródłem nowej informacji pierwotnej. Gdy zaś dana struktura ma kontakty rzeczowe i informacyjne z innymi strukturami, wówczas oprócz informacji pierwotnych tworzonych na jej najniższym szczeblu występują inne informacje pierwotne, otrzymywane z zewnątrz, od innych struktur organizacyjnych. Informacja ta, którą możemy nazwać informacją zewnętrzną, może być z punktu widzenia struktury, która ją wysyła, informacją pierwotną lub wtórną, lecz z punktu widzenia struktury, która ją otrzymuje, jest to zawsze informacja pierwotna.



Rysunek. Schemat przepływu informacji

Rysunek jest graficzną interpretacją przepływów informacyjnych w strukturze sił powietrznych, stanowiących układ względnie odosobniony¹² od otoczenia, tzn. mający pewną skończoną liczbę wejść i wyjść, zarówno informacyjnych jak i rzeczowych.

Jak wynika z rysunku, źródłem informacji pierwotnych dla sił powietrznych jest realizowany przez nie proces rzeczowy (realizacja zadań do których realizacji zostały powołane siły powietrzne – ostatecznie walka zbrojna) oraz informacje z zewnątrz. Dana struktura może zaś wysyłać na zewnątrz zarówno informacje wtórne, jak i pierwotne. Informacja pierwotna otrzymywana z zewnątrz może przychodzić do wszystkich szczebli dowodzenia. Informacja pierwotna wewnętrzna jest wysyłana jedynie przez szczebel najniższy.

¹² Pojęcie układu względnie odosobnionego wprowadził do literatury cybernetycznej H. Greniewski por. H. Greniewski, *Informacja w zastosowaniu do planowania i zarządzania*, Warszawa.

Informacja w procesie decyzyjnym

W prowadzonych badaniach¹³ na temat wykorzystywania informacji w funkcjonowaniu organizacji około 92% respondentów podało, że pracują w organizacjach intensywnie wykorzystujących wiedzę (*knowledge intensive*) wynikającą z gromadzonych informacji. Jednak tylko 6% uważa, że posiadaną informację wykorzystuje efektywnie, natomiast 31% przyznaje się do nieefektywnego gospodarowania informacjami. Jako główną przyczynę złego gospodarowania informacjami podają się to, iż członkowie w konkretnej organizacji nie potrafili zinterpretować lub wykorzystać dostępnej informacji. Przy czym zdarza się również, że te same pomyłki są popełniane kilka razy. Prawie każdy z badanych zwracał uwagę na to, że „wąskie gardła” związane z dostępnością wiedzy w ich organizacjach są przyczyną kosztownych pomyłek lub nieefektywnych operacji, zaś 87% zauważyło, że pomimo wielkich nakładów na szkolenia pracowników i rozwój techniki informatycznej, kosztowne błędy i pomyłki były popełniane z tego powodu, iż najlepsza dostępna wiedza nie była osiągalna we właściwym miejscu lub we właściwym czasie, albo była dostępna w niewłaściwym formacie.

Niezależnie od proponowanej wizji organizacji zawsze przewija się w literaturze ten sam motyw przewodni: informacja jest elementem krytycznym, który umożliwia zarówno adaptację (wprowadzanie zmian), jak i przetrwanie organizacji. Potrzeba równoczesnego dowodzenia zarówno z dużą szybkością, jak i w sytuacjach o szczególnej złożoności prowadzi do nowych rozwiązań organizacyjnych, które będą wymagały nowej infrastruktury informacyjnej. W odpowiedzi na wyzwania współczesności kształtuje się nowy paradygmat informatyzacji oparty na koncepcji zarządzania zasobami informacyjnymi¹⁴.

Skoro dostrzega się na świecie korzyści płynące z władania (zarządzania) zasobami informacyjnymi, warto przynajmniej przyjrzeć się bliżej istocie tego

¹³ Wyniki wykorzystania wiedzy w praktyce pochodzą z przeglądu dokonanego przez „Journal of Knowledge Management”, „Benchmarking Exchange” i „Best Practices Club” (Chase, 1998) w okresie od czerwca do sierpnia 1997 r (za Zaliwski A., Korporacyjne bazy wiedzy PWE, Warszawa 2001).

¹⁴ Zasoby informacyjne stanowią wszelkie potencjalnie użyteczne zbiory informacji, zgromadzone i przechowywane w czasie, miejscu oraz przy zastosowaniu technologii i organizacji umożliwiających ich wykorzystanie przez użytkowników finalnych informacji, działających jako podmioty informacyjne.

problemu i starać się wykorzystać jego niektóre elementy na gruncie sił powietrznych. Podstawowym pojęciem, wielokrotnie używanym w literaturze problemu, często intuicyjnie, jest informacja. Istnieje, wiele prób definiowania tego pojęcia, jednakże do tej pory, żadnej nie uznano za wystarczająco zadawalającą. I tak dla przykładu można przytoczyć kilka z nich:

„Informacja – to komunikacja, łączność, w wyniku której likwiduje się nieokreśloność”¹⁵.

„Informacja jest nazwą treści zaczerpniętej ze świata zewnętrznego, nie jest więc ani materią ani energią”¹⁶.

„Jest to przekazywanie wiedzy do odbiorcy informacji, ze względu na jej wartość, umożliwiające zmniejszenie niepewności działania odbiorcy informacji”¹⁷.

„Informację utożsamia się ze znaczeniem (treścią), jakie, przy odpowiedniej konwencji, przyporządkowuje danym [...] każdy czynnik, który może być subiektywnie wykorzystany do celowego działania. Informacje to dane wykorzystywane do celowego działania”¹⁸.

„Informacja to znaczenie (treść), jakie przy zastosowaniu odpowiednich konwencji przyporządkowuje się danym”¹⁹.

Przytoczony wybór definicji, pozwala doszukać się w nich pewnych cech wspólnych:

- informacja jest czymś różnym od materii i energii;
- może być przenoszona w czasie (tzn. przechowywana), w przestrzeni (tzn. przesyłana), za pomocą nośników informacji;
- informacja zmniejsza nieokreśloność (entropia) systemu i otoczenia oraz niepewność odbiorcy;
- bezpośrednio wpływa na zachowanie systemu.

Można by uznać, że przedstawiona charakterystyka jest wystarczająco jednoznaczna. Warto przy tym podkreślić, że istnieje najbardziej chyba związane określenie informacji jako pojęcia równoważnego nowej wiedzy²⁰.

¹⁵ Shannon C., *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, 1945.

¹⁶ Wiener N., *Cybernetyka, czyli sterowanie i komunikacja w zwierzęciu i maszynie*, PWN Warszawa 1971.

¹⁷ Ackoff R.L., *Decyzje optymalne w badaniach stosowanych*, PWN, Warszawa 1969.

¹⁸ Kierzkowski Z., *Elementy informatyki*, PWN Warszawa 1976.

¹⁹ Wierzbicki T., *Informatyka w zarządzaniu*, PWN Warszawa 1986.

²⁰ „Wiedza jest to zebrana i zakumulowana informacja” – Czerniak J., *Informacja i zarządzanie*, PWN Warszawa 1978.

Po przeprowadzonej analizie, możemy się zgodzić z poglądem, wyrażonym mniej lub bardziej wyraźnie w przytoczonych tu definicjach informacji, że jest ona czymś różnym od danych. Konsekwencją takiego poglądu, jest stwierdzenie, że dowolna, pojedyncza dana nie zawiera żadnej informacji!?

Pojęcie danych, podobnie jak informacja, nie doczekało się - jak dotychczas - jednej, powszechnie akceptowanej definicji. W tym zakresie panuje nieporządek, mimo iż często intuicyjnie potrafimy prawidłowo określić, w jaki sposób korzystać, czy wyodrębnić dane w praktyce. Dla przykładu przytoczę niektóre próby określenia tego pojęcia, występujące w literaturze przedmiotu.

„Dana (datum) — niepodzielny semantycznie obiekt będący przedmiotem przetwarzania, identyfikowany przez nazwę i mający pewną wartość, którą może reprezentować symbol cyfrowy (numeryczny), literowy (alfabetyczny), literowo-cyfrowy (alfanumeryczny) i specjalny lub wielkość analogowa”²¹.

„Dana prosta [elementarna] (data item) — najmniejsza nazwana jednostka danych, której można nadawać wartości oraz przyporządkować odpowiednie atrybuty arytmetyczne, tekstowe lub sterujące. Dana złożona [zagregowana] (aggregate) — nazwany zestaw (kolekcja) danych elementarnych...”²².

„Danymi nazywamy reprezentację określonej treści (informacji) nadającą się do przesyłania, przechowywania, wykonywania na nich działań logicznych i matematycznych”²³.

Wobec trudności i licznych niejasności interpretacyjnych pojęcia danej, które powstają przy lekturze przedstawionych definicji, wydaje się konieczne zwrócić uwagę na kilka istotnych spraw.

W każdym systemie informacyjnym możemy wyróżnić pewne sygnały²⁴ praktycznie niepodzielne, czyli takie, których części właściwe nie mogą być sygnałami w tym systemie. Sygnały takie nazywamy *sygnałami elementarnymi*. Zbiór uporządkowany sygnałów elementarnych, będący także sygnałem, czyli nośnikiem pewnej informacji, nazywamy *sygnałem złożonym*. Na przykład sygnałem

²¹ Flakiewicz W., *Informacyjne systemy zarządzania*, PWE, Warszawa 1990.

²² Czerniak J., *Informacja i zarządzanie*, PWN Warszawa 1978.

²³ Kierzkowski Z., *Elementy informatyki*, PWN Warszawa 1976.

²⁴ *Sygnał*: każdy stan fizyczny, który można odróżnić od innego za pomocą nieuzbrojonych zmysłów lub przyrządów pomiarowych, jeżeli jest przenoszony na odległość i może być zinterpretowany w miejscu odbioru.

elementarnym będzie znak graficzny pojedynczej litery alfabetu np. polskiego, a sygnałem złożonym będzie słowo lub zestaw słów tworzący nazwę oddziału, rozkaz lub wskaźnik świadczący np. o wielkości potencjału bojowego.

W systemie informacyjnym sygnałem nie jest jakikolwiek obiekt materialny, lecz tylko taki obiekt, któremu podmiot informacyjny w danym języku przypisuje *pole semantyczne*, zwane także polem znaczeniowym. Pole semantyczne to zbiór obiektów, procesów, zjawisk, stanów wyróżnionych, który dla odbiorcy lub nadawcy sygnału oznacza dany sygnał. Sygnał oraz przypisane do niego pole semantyczne nazywamy *znakiem*²⁵. Znaki według kryterium źródła pochodzenia możemy podzielić na: *znaki pierwotne i wtórne*.

Znak pierwotny — to wszelki przedmiot lub zespół przedmiotów pośredniczących w sposób nieinstrumentalny między podmiotem poznającym a przedmiotem poznawanym w określonym akcie poznania²⁶. Takim znakiem może być każdy przedmiot, jeśli postrzeżenie go umożliwi osobie dostrzegającej uzyskanie wiedzy.

Znakami wtórnymi są słowa (pewne dźwięki), wyrazy (pewne napisy), oraz zwroty i wyrażenia (pewne zestawienia pewnych dźwięków i pewne zestawienia pewnych napisów) [...] stanowiące części zdania wypowiedzianego lub napisanego²⁷.

Wszystkie znaki wtórne są wyrażane przez znaki elementarne, które stanowią alfabet. Sposób, w jaki elementarne znaki (alfabet) pozwalają na stworzenie znaku wtórnego, zależy od syntaktyki języka, w którym są wyrażone znaki wtórne. Znaki wtórne mogą być użyte przede wszystkim do określenia obiektów, czyli tego, czym jesteśmy zainteresowani lub chcemy o tym zbierać informacje. Obiekt (w ujęciu gnoseologicznym) jest pojęciem pierwotnym, a więc formalnie niedefiniowalnym, może on obejmować rzeczy, ludzi, stany, procesy, zjawiska, fakty itp., które nas interesują. Obiekt może jednak zostać zdefiniowany w kategoriach innych obiektów. Jeśli jest on niezdefiniowany w danym procesie obserwacji²⁸, stanowi w nim obiekt pierwotny. Jeśli zaś jest definiowany w kategoriach innych obiektów, staje się obiektem złożonym w danym procesie obserwacji.

W procesie obserwacji możemy być zainteresowani nie tylko obiektem,

²⁵ Oleński J., *Ekonomika informacji*, PWE, Warszawa 2001.

²⁶ Cackowski Z., *Projektowanie systemów informatycznych zarządzania*, WNT, Warszawa 1974.

²⁷ Bojar J., *Zarys językoznawstwa dla informatyków*, UW, Warszawa 1986.

²⁸ W tym ujęciu należy rozumieć nie tylko proces obserwacji wzrokowej, ale proces percepcji.

ale również tym dlaczego chcemy go rozpoznać. W tym wypadku interesują nas takie znaki wtórne, które określają własności obiektu. Oczywiście, zainteresowanie jego własnościami wynika z celu i programu obserwacji. Własności obiektu określają znaki wtórne, które opisują jego cechy oraz relacje, a więc albo charakterystyki obiektu, albo jego związki z innymi obiektami.

Ze względu na nasz aktualny stosunek do obserwowanego obiektu dzielimy je na przedmioty oraz podmioty. Podmiotem nazwiemy tutaj obiekt sprawczy, czyli taki, który potrafi wymuszać procesy na innych całościach. Może to być jednostka organizacyjna, system społeczno – techniczny o celowym działaniu, posiadający zdolność podejmowania decyzji. Zatem każdy podmiot decyzyjny w strukturze sił powietrznych, który możemy nazwać podmiotem informacyjnym, gdyż realizuje jedną lub więcej funkcji informacyjnych, to znaczy generuje, gromadzi, przechowuje, przetwarza, przekazuje, udostępnia, interpretuje lub wykorzystuje informacje.

Przez *elementarny podmiot informacyjny* rozumiemy człowieka lub jednostkę organizacyjną, w której nie da się wydzielić podmiotów informacyjnych będących jego częściami. *Elementarny podmiot informacyjny* dysponuje określonym *językiem*, ma konkretne potrzeby informacyjne, generuje, gromadzi, przechowuje, przetwarza, przekazuje, udostępnia, interpretuje lub wykorzystuje określone zbiory informacji, a do ich przetwarzania stosuje określone procedury. Dobrym przykładem takiego podmiotu jest dowódca (decydent – człowiek) znajdujący się w konkretnej sytuacji decyzyjnej. W pewnych sytuacjach jako elementarny podmiot informacyjny możemy traktować konkretną jednostkę organizacyjną. Jest to dopuszczalne metodologicznie tylko wtedy, gdy dla takiej jednostki organizacyjnej możemy ściśle określić język, potrzeby informacyjne, zakresy informacji, a także gdy takiego podmiotu nie można podzielić na części będące także elementarnymi podmiotami informacyjnymi. Elementarny podmiot informacyjny jest identyfikowalny niezależnie od konkretnego procesu lub systemu informacyjnego.

Pojęcie elementarnego podmiotu informacyjnego jest pożyteczną abstrakcją teoretyczną. W praktyce umiejętność definiowania takiego podmiotu jest niezbędna przy projektowaniu, wdrażaniu i eksploatacji procesów i systemów informacyjnych. Szczególne znaczenie ma to w przypadku wielkich systemów informacyjnych obejmujących bardzo dużą liczbę względnie jednorodnych podmiotów społeczno-technicznych, np. zbiór baz lotniczych lub eskadr w systemie sił powietrznych.

Indywidualnym podmiotem informacyjnym w systemach społeczno-technicznych jest jeden lub kilka elementarnych podmiotów informacyjnych identyfikowanych jako jeden podmiot w ramach danego procesu lub systemu informacyjnego. Indywidualny podmiot informacyjny (*człowiek, zbiór ludzi, jednostka organizacyjna mające zdolność nadawania wartości semantycznej pozyskiwanej wiadomości*) jest definiowany jako część konkretnego procesu lub systemu informacyjnego charakteryzująca się następującymi cechami²⁹:

- 1) ma umiejętność odwzorowania informacji w określonym języku lub zbiorze języków;
- 2) generuje, gromadzi, przechowuje, przetwarza, przekazuje, udostępnia, interpretuje lub wykorzystuje określone zbiory informacji w określonych językach;
- 3) ma określone potrzeby informacyjne, które można zidentyfikować, opisać, a także ocenić stopień ich zaspokojenia w ramach danego systemu informacyjnego;
- 4) ma umiejętność interpretacji wiadomości występujących w danym procesie lub systemie informacyjnym.

Pojęcie indywidualnego podmiotu informacyjnego różni się w istotny sposób od pojęcia elementarnego podmiotu informacyjnego. Elementarny podmiot informacyjny możemy definiować niezależnie od procesu lub systemu informacyjnego, natomiast indywidualny podmiot informacyjny jest ściśle związany z konkretnym systemem informacyjnym, w którym ten obiekt funkcjonuje. Aby zidentyfikować i zdefiniować indywidualny podmiot informacyjny, jego potrzeby, zakresy informacji z nim związane, musimy uprzednio zdefiniować proces lub system informacyjny w którym on funkcjonuje.

Indywidualnymi podmiotami informacyjnymi są: eskadra lub baza

²⁹ Oleński J., *Ekonomika informacji*, PWE, Warszawa 2001.

lotnicza, postrzegana jako jeden podmiot w danym systemie lub procesie informacyjnym.

Badając procesy oraz systemy informacyjne (projektując je i administrując nimi), poprzestajemy na identyfikacji pewnych *zbiorowych podmiotów informacyjnych*, czyli zespołów ludzkich lub zbiorowości jednostek organizacyjnych, które są postrzegane jako *podmioty* działające w systemach informacyjnych w jednakowy sposób. Zbiorowy podmiot informacyjny składa się z wielu podmiotów indywidualnych, które mogą różnić i wyjaśnić rzeczywiste przyczyny i skutki wielu zjawisk informacyjnych.

Podsumowując możemy stwierdzić, że ta sama informacja może przyjąć różną postać wyrażoną w języku danych. Zapis w języku danych jest odpersonalizowany (odpodmiotowiony) i różnie interpretowany. Ta sama wypowiedź może być traktowana jako sygnał prosty (elementarny) lub złożony. Jednocześnie aby z informacji zawartej w danych przejść do informacji *sensu stricte*, potrzebny jest proces interpretacji oraz wnioskowania. W procesie interpretacji otrzymujemy komunikat pojęciowy, wyznaczający sens (zawartość semantyczną), natomiast w procesie wnioskowania zawartość semantyczna opisana jest na tle układu informacyjnego człowieka. W wyniku tego opisu tworzy się zawartość informacyjna danych; oznacza to, że dane mogą mieć sens (stanowią komunikat pojęciowy - wiadomość), albo nie zawierać informacji (istotność komunikatu pojęciowego równa jest zeru). Rozważania te doprowadzają do możliwości formalnego ujęcia informacji³⁰:

$$I = i(D, S, t)$$

Gdzie:

D — reprezentacja informacji *I* w postaci danych,

S — podmiot informacyjny, który postrzega lub generuje informację *I*,

t — czas dostępny dla interpretacji i wnioskowania przez podmiot informacyjny (człowieka) postrzegającego (generującego informację),

I — informacja przenoszona przez zbiór danych *D*,

i — funkcja informacyjna.

³⁰ Flakiewicz W., Informacyjne systemy zarządzania, PWE, Warszawa 1990

Zatem wynika stąd, że nie ma możliwości projektowania informacji I (a tym samym i systemów informacyjnych), jedynie można, projektować dane D , jako reprezentację informacji odwzorowującej rzeczywistość wyrażoną w języku danych.

Podmiot informacyjny (S) - jest układem dynamicznym, a więc te same dane D mogą nieść różne informacje I dla podmiotu informacyjnego (dowódcy) w zależności od czasu i celu ich wykorzystywania. Jak wcześniej wspomniano znaczenie informacji jest funkcją semiozy podmiotu informacyjnego. *Polega to na tym, że w procesie generowania informacji każdej wiadomości (W) będącej skończonym zbiorem danych przypisuje się w ramach przyjętego języka (J) określone pole semantyczne (P), które odwzorowuje realny proces, obiekt lub zdarzenie (R).*

Wynikiem procesu semiozy jest produkt semiotyczny:

$$S = \{W, J, P, R\}$$

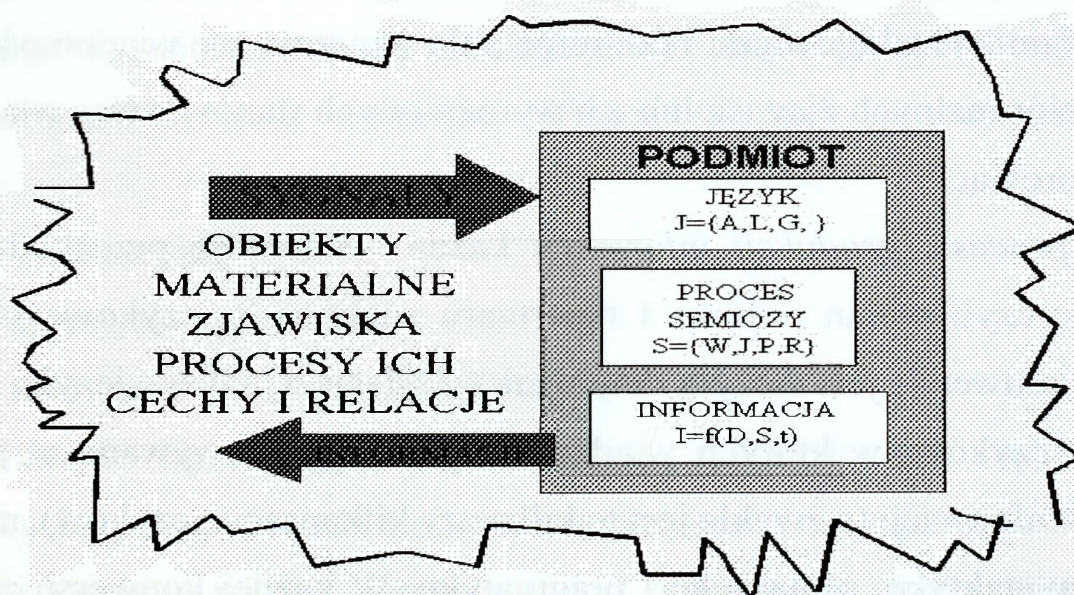
Gdzie:

W – wiadomość, czyli skończony zbiór znaków;

J – język;

P – pole semantyczne, czyli zbiór realnych obiektów, procesów, zdarzeń bądź ich wybranej cechy lub cech,

R – realny proces, obiekt lub zdarzenie.



Rysunek 2. Interpretacja rzeczywistości przez podmiot informacyjny. J – język, A – alfabet (zbiór znaków), L – leksyka, G – gramatyka, S – produkt semiotyczny, W – wiadomość (uporządkowany zbiór znaków), P – pole semantyczne, R – realny proces, obiekt lub zdarzenie, I - informacja przenoszona przez zbiór danych, D - reprezentacja informacji w postaci danych, t - czas dostępny dla interpretacji i wnioskowania przez podmiot informacyjny (człowieka) postrzegającego (generującego informację).

Źródło: Opracowanie własne

Należy wyróżnić następujące rodzaje procesów semiozy:

- a) dokonywane w *fazie generowania informacji* i jej strukturalizacji w formie wiadomości;
- b) dokonywane w *fazach interpretacji* i wykorzystywania informacji zawartej w wiadomości;
- c) dokonywane w fazach gromadzenia, przetwarzania, przekazywania i udostępniania informacji.

W fazie generowania informacji następuje obserwacja realnych procesów i zdarzeń oraz ewentualny pomiar wybranych stanów tych zjawisk. Powstaje więc pierwotne pole semantyczne wiadomości. Pole to jest odwzorowywane za pomocą znaków określonego języka. Konkretnym realnym zjawiskom przypisujemy więc konkretne znaki lub zbiory znaków języka.

W fazie interpretacji informacji zawartej w wiadomości proces semiozy przebiega w odwrotnym kierunku. W procesie produkcji informacji istnieje pewna wiadomość *W*, czyli pewien ciąg znaków. W procesie semiozy dokonuje się przypisania tej wiadomości pola semantycznego. Podmiot informacyjny (człowiek, maszyna) realizujący proces semiozy przyjmuje założenie, że wiadomość jest skonstruowana w określonym języku, zgodnie z jego regułami syntaktycznymi i definiuje pole semantyczne wiadomości, czyli określa zbiór realnych zjawisk lub ich wyróżnionych stanów, które wiadomość ma odwzorować.

W procesie produkcji informacji każda wiadomość przechodzi wiele konwersji, czyli zmian nośnika i repertuaru znaków. Z językowego punktu widzenia konwersja jest niczym innym jak translacją z jednego języka na inny. Każdy z języków, w których wiadomość jest odwzorowywana w procesie produkcji informacji (a zwykle jest to kilka czy kilkanaście języków), ma swoją leksykę, syntaktykę, semantykę i pragmatykę. W każdej konwersji zachodzi definiowanie na nowo pola semantycznego wiadomości w kolejnym języku, na który jest ona tłumaczona. W przypadku gdy między językami nie ma izomorfizmu leksykalnego, syntaktycznego, semantycznego i pragmatycznego, może dochodzić do zmiany pola semantycznego wiadomości.

Dla każdego procesu produkcji informacji powinny być znane i

wyspecyfikowane procesy semiozy dokonujące się w nim. Każdy uczestnik procesu informacyjnego powinien w swoim zakresie znać wszystkie procesy semiozy zachodzące we wszystkich fazach procesu informacyjnego. W szczególności pełną wiedzę o procesach semiozy powinien posiadać finalny użytkownik informacji. W przeciwnym razie może dochodzić do zakłóceń procesów informacyjnych.

W systemach informacyjnych szczególną rolę pełnią sygnały bądź zbiory sygnałów *nadanych* (wysłane, przekazane), czyli sygnały wprowadzone przez konkretnego nadawcę do kanału informacyjnego, oraz sygnały bądź zbiory sygnałów odebrane przez konkretnego odbiorcę, a więc takie, które dotarły do konkretnego odbiorcy. Nadawca sygnału wprowadzający ten sygnał do konkretnego kanału informacyjnego powinien wiedzieć, kto ma być odbiorcą sygnału. Odbiorca sygnału powinien natomiast wiedzieć, kto jest nadawcą tego sygnału w danym systemie informacyjnym, dlaczego i w jakim celu go nadał.

Skończony zbiór znaków wyrażony w określonym języku na nośnikach materialnych istniejący w określonym systemie społeczno-technicznym to wiadomość. Często odbiorca postrzega wiele znaków, które traktuje jak jedną wiadomość. Na przykład doświadczony radiolokator może dokonać prognozy działania przeciwnika powietrznego na podstawie obrazu radiolokacyjnego obserwując sposób ugrupowania, wysokości lotu, stosowane zakłócenia. Wiadomości spełniają trzy podstawowe funkcje³¹:

- funkcje informacyjną,
- funkcje decyzyjną,
- funkcje sterowania.

Funkcja informacyjna wiadomości w systemach społeczno – technicznych, polega na odwzorowaniu rzeczywistości w formie informacji i tworzeniu zasobów wiedzy. Funkcja ta jest realizowana poprzez dostarczenie wszystkim obiektom, elementom systemu sił powietrznych (ludziom, organizacyjnym zespołom ludzkim, niektórym systemom technicznym), informacji niezbędnych do posiadania przez te obiekty wiedzy, a więc zasobów informacji niezbędnych do ich istnienia i funkcjonowania. Wiedzy rozumianej

³¹ Oleński J., *Ekonomika informacji*, PWE, Warszawa 2001.

jako zebrana i zakumulowana informacja. Funkcja informacyjna wiadomości polega więc na tym, że zmienia ona zasoby wiedzy systemu społeczno-technicznego lub jego części. Wiadomość, odebrana przez system, która nie zmienia zasobu wiedzy, nie spełnia funkcji informacyjnej. O tym, czy jakaś wiadomość zawiera informacje zmieniające zasób wiedzy użytkownika, można orzec tylko w przypadku, gdy mamy dobrze zdefiniowany proces informacyjny i system informacyjny, w którym wiadomość jest odbierana przez użytkownika. W sprawnym systemie informacyjnym każdą konkretną wiadomość odbiera użytkownik, który potrafi określić, czy informacja zawarta w tej wiadomości zmienia jego zasób wiedzy, czy nie. Z takimi procesami mamy do czynienia w prostych sytuacjach decyzyjnych. Ale często użytkownik nie wie w momencie otrzymania wiadomości, czy informacja w niej zawarta powiększa zasób jego wiedzy.

W systemach militarnych często nie ma możliwości jednoznacznego określenia, czy jakaś wiadomość odebrana przez użytkownika poszerza jego zasoby wiedzy, czy nie. Jest to szczególnie trudne do stwierdzenia w przypadku podmiotów, w skład których wchodzi wiele systemów informacyjnych. Przekazanie jakiejś wiadomości do systemu organizacyjnego realizującego określone zadanie bojowe nie oznacza, że wszystkie systemy informacyjne, istniejące w ramach takiego podmiotu (np. wszyscy żołnierze), zweryfikują natychmiast zasoby swojej wiedzy tylko dlatego, że do struktury organizacyjnej w której walczą, wpłynął jakiś biuletyn informacyjny bądź dlatego, że została przekazana jakaś publikacja statystyczna. Odwrotnie, możemy być raczej przekonani, że wiadomość zostanie zatrzymana w systemie informacyjnym (w archiwach sztabu). Między innymi z tego powodu w systemach społeczno – technicznych mamy do czynienia z wielką nadmiarowością informacji, jej dublowaniem, a także z przechowywaniem rozpowszechnianiem wielu identycznych leksykalnie i semantycznie wiadomości.

Funkcja informacyjna wiadomości w systemach wchodzących w skład Sił Powietrznych jest realizowana przez procesy informacyjne, czyli procesy generowania, gromadzenia, przechowywania, przekazywania, przetwarzania i użytkowania informacji. Procesy te lub niektóre ich fazy są realizowane przez systemy informacyjne. Dobre, efektywne spełnianie funkcji informacyjnej przez wiadomość wymaga spełnienia kilku warunków, przede wszystkim:

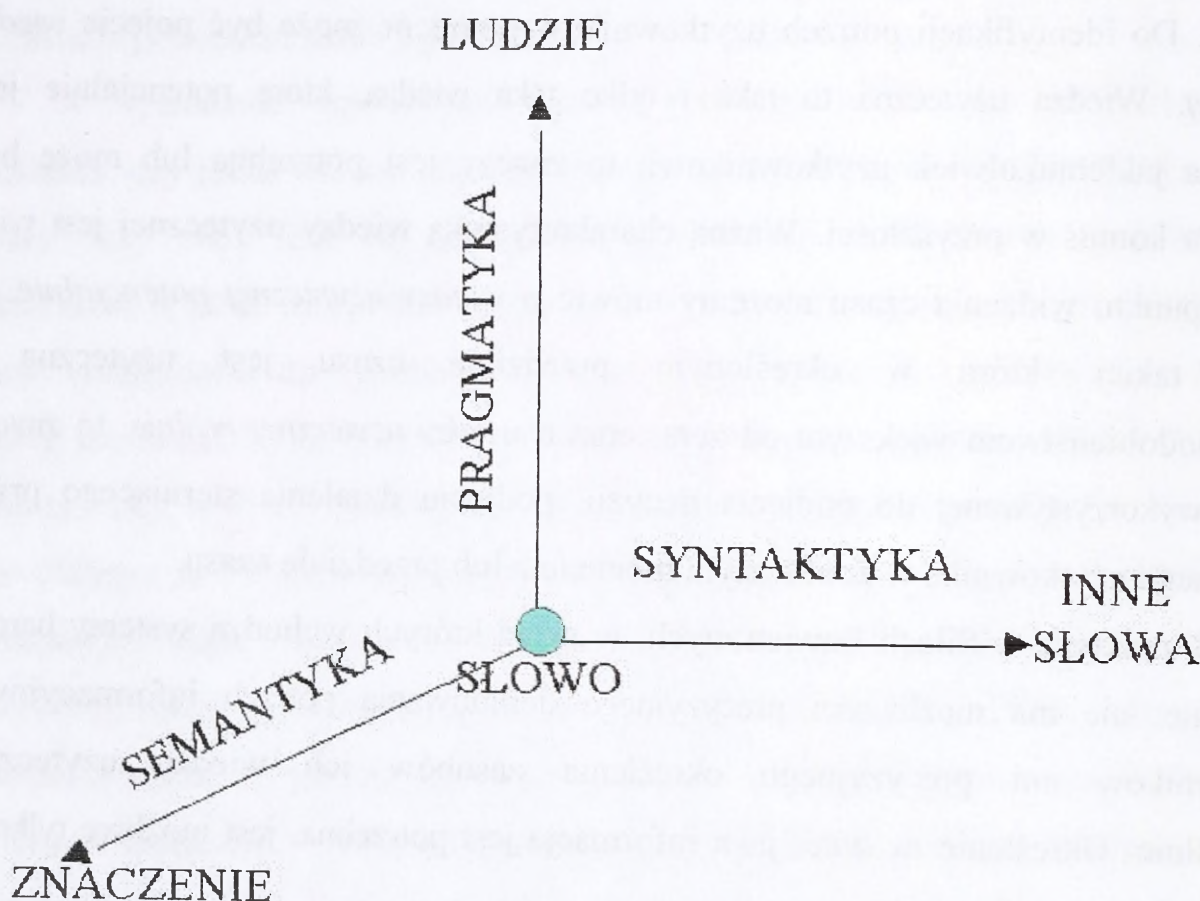
Dobra identyfikacja, dobre rozpoznanie potrzeb informacyjnych użytkowników informacji jest trudne, a nierzadko - w wypadku ludzi i systemów społeczno-technicznych - praktycznie niemożliwie. Aby poprawnie zdefiniować potrzeby informacyjne użytkowników, trzeba przede wszystkim dokonać prawidłowej identyfikacji samych użytkowników, rozpoznać ich sytuacje decyzyjne, opisać modele tych sytuacji oraz poznać posiadane przez użytkowników zasoby informacyjne, czyli wiedzę. Szczególnie trudne jest określenie zasobów wiedzy aktualnie posiadanej przez członków organizacji (pamiętanej) – *potencjalne minimum informacyjne*, oraz zasobów wiedzy systemów społeczno-technicznych wykorzystujących urządzenia techniczne, w tym systemy komputerowe – zasoby wiedzy zmaterializowanej (w bibliotekach, archiwach, bazy danych). Zasoby wiedzy są często opisane w sposób nieostry i niepełny. Do identyfikacji potrzeb użytkowników pomocne może być pojęcie *wiedzy użytecznej*. Wiedza użyteczna to taka i tylko taka wiedza, która potencjalnie jest potrzebna jakimkolwiek użytkownikowi, to znaczy jest potrzebna lub może być potrzebna komuś w przyszłości. Ważną charakterystyką wiedzy użytecznej jest więc czas. Z punktu widzenia czasu możemy mówić o *wiedzy użytecznej potencjalnie*, to znaczy takiej, która w określonym przedziale czasu jest użyteczna z prawdopodobieństwem większym od zera, oraz o *wiedzy użytecznej realnie*, to znaczy wiedzy wykorzystywanej do podjęcia decyzji, podjęcia działania sterującego przez konkretnego użytkownika w konkretnym momencie lub przedziale czasu.

W praktyce w Siłach Powietrznych, w skład których wchodzi systemy bardzo złożone, nie ma możliwości precyzyjnego definiowania potrzeb informacyjnych użytkowników ani precyzyjnego określenia zasobów ich wiedzy użytecznej potencjalnie. Określenie *ex ante*, jaka informacja jest potrzebna, jest możliwe tylko w przypadkach prostych.

W systemach informacyjnych, których funkcją jest zaspokajanie potrzeb informacyjnych użytkowników *informacji*, trzeba uwzględnić, że mogą pojawić się w nich wiadomości zawierające informacje zbędne, że może wystąpić dublowanie informacji, i to wielokrotne, że mogą występować luki informacyjne, brak informacji. Dobry system informacyjny powinien być wyposażony w efektywne metody i narzędzia identyfikacji redundancji, luk informacyjnych, niepełnej relewancji procesów wyszukiwania informacji. Te metody i narzędzia powinny umożliwić

kontrolę i minimalizację rozbieżności między wiedzą użytkownika, jego potrzebami informacyjnymi a dostarczaną mu informacją.

Jednym z mankamentów wielu systemów informacyjnych jest to, że wiadomości są konstruowane w języku lub językach, które są *zbliżone* do języków użytkownika w zakresie leksyki i gramatyki, ale różnią się od niego zwłaszcza w zakresie semantyki i pragmatyki. W praktyce trudno zapewnić pełną identyczność języka użytkownika z językiem, w jakim są konstruowane wiadomości. Aby funkcja informacyjna mogła być względnie dobrze realizowana, użytkownik powinien otrzymać możliwie pełną informację o języku, w jakim daną wiadomość skonstruowano. Warunek ten często nie jest spełniony.



Rysunek 2. Relacje między trzema rodzajami stosunków semiotycznych.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: Bocheński J.M. Współczesne metody myślenia.

Specjalizacja języków informacji stosowanych w Siłach Powietrznych i komplikacja systemów informacyjnych prowadzą do tego, że użytkownik coraz częściej rozumie błędnie lub po prostu nie rozumie wiadomości, jakie otrzymuje, ponieważ nie ma wystarczającej wiedzy o językach, w jakim te wiadomości

skonstruowano. Z kolei systemy, które generują wiadomości, chętnie przypisują sobie nie tylko prawo do ich tworzenia i upowszechniania, ale i do kreowania języka. Wskazuje to, że współczesne systemy militarne zbliżają się do *bariery informacyjnej*, która może ograniczyć możliwości ich skutecznego używania.

Funkcja decyzyjna wiadomości polega na dostarczeniu decydentowi informacji niezbędnych do podjęcia przez niego decyzji. By funkcja ta mogła być spełniona, by można było ocenić, na ile skutecznie jakaś wiadomość spełnia funkcję decyzyjną, potrzebne są informacje opisujące:

- sytuację decyzyjną użytkownika informacji - decydenta,
- procedurę decyzyjną wybraną przez decydenta,
- zasoby wiedzy decydenta, relewantnej względem sytuacji decyzyjnej i procedury decyzyjnej,
- zasób wiedzy relewantnej ze względu na sytuację decyzyjną w ramach danego systemu³².

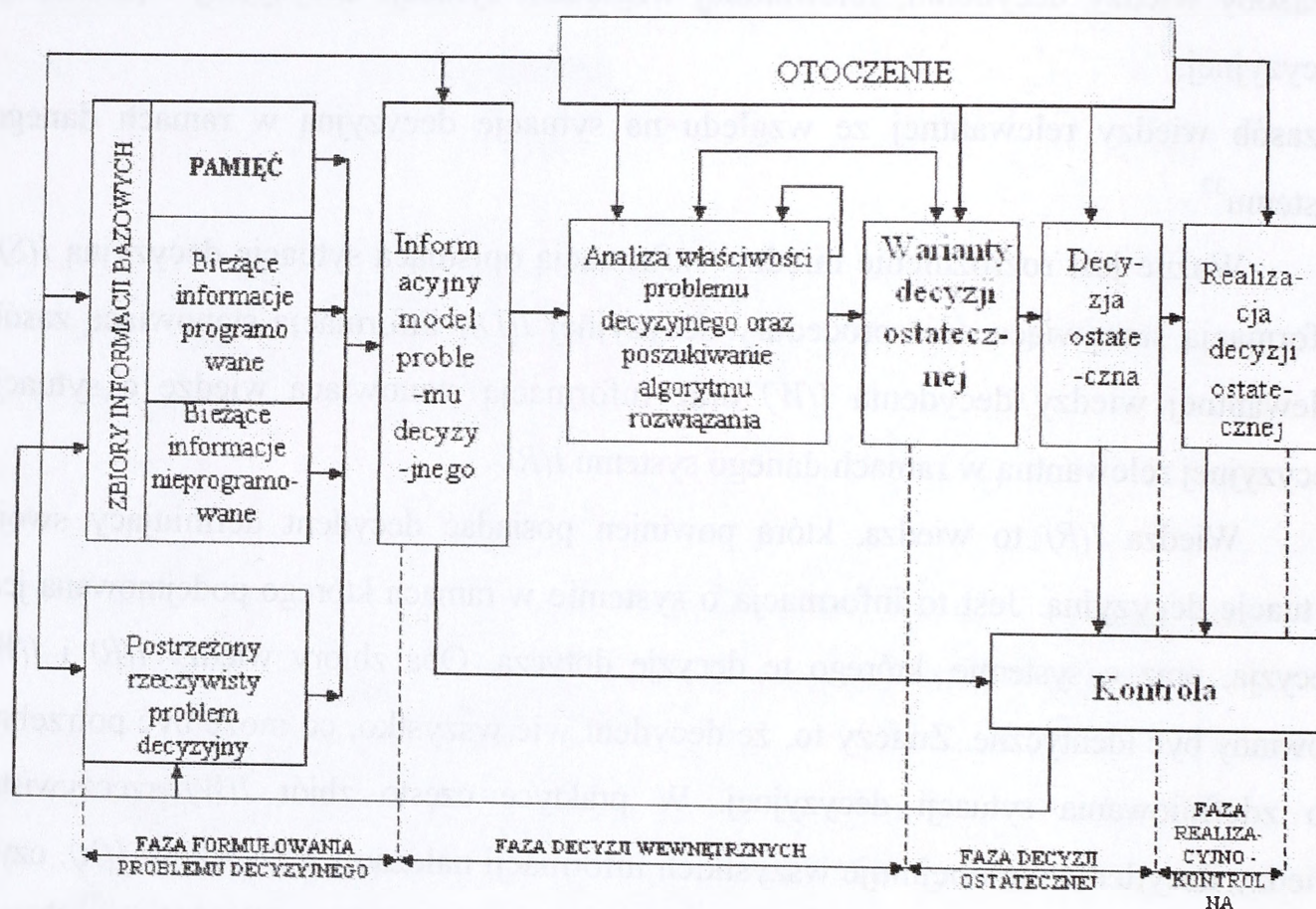
Ważne jest rozróżnienie między: informacją opisującą sytuację decyzyjną $I(S)$, informacją stanowiącą opis procedury decyzyjnej $I(D)$, informacją stanowiącą zasób relewantnej wiedzy decydenta $I(W)$ oraz informacją stanowiącą wiedzę o sytuacji decyzyjnej relewantną w ramach danego systemu $I(R)$.

Wiedza $I(R)$ to wiedza, którą powinien posiadać decydent definiujący swoją sytuację decyzyjną. Jest to informacja o systemie w ramach którego podejmowana jest decyzja, oraz o systemie, którego te decyzje dotyczą. Oba zbiory wiedzy $I(R)$ i $I(W)$ powinny być identyczne. Znaczy to, że decydent wie wszystko, co może być potrzebne do zdefiniowania sytuacji decyzyjnej. W praktyce często zbiór $I(W)$ rzeczywistej wiedzy decydenta nie obejmuje wszystkich informacji należących do zbioru $I(R)$, czyli wiedzy relewantnej, którą powinien posiadać decydent w celu podjęcia prawidłowej decyzji.

Zwykle wiedza posiadana przez decydenta jest węższa od relewantnej wiedzy o systemach, do których odnosi się sytuacja decyzyjna. Może się też zdarzyć, a jest to sytuacja nader częsta, że zbiór wiedzy relewantnej decydenta $I(W)$ zawiera część informacji ze zbioru $I(R)$ oraz informacje nie należące do tego zbioru, które decydent błędnie uznaje za informacje relewantne. Mogą to być na przykład informacje

³² Flakiewicz W. Informacyjne systemy zarządzania. PWN Warszawa 1990

falszywe lub informacje pozornie związane z sytuacją decyzyjną, a faktycznie dezinformujące decydenta. Zbiór informacji I(D) opisujący procedurę decyzyjną jest konstruowany na podstawie wiedzy decydenta I(W). Jeżeli wiedza ta zawiera informacje nierelevantne lub fałszywe, procedura decyzyjna może być błędna. Zdarza się też, że decydent posiada wiedzę I(W) obejmującą tylko część informacji I(R). Jest to więc wiedza niepełna. Z taką właśnie sytuacją spotykamy się często w systemach wchodzących w skład Sił Powietrznych. Podejmowanie decyzji w tych systemach odbywa się w warunkach niepełnej informacji i ryzyka.



Rysunek 3. Informacyjny model podejmowania decyzji.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie W. Flakiewicz, Informacyjne systemy zarządzania.

Luki informacyjne, brak pełnej informacji w procesie podejmowania decyzji, powodują, że informację niepełną przyjmuje się jako wystarczającą albo uzupełnia się luki informacyjne informacjami nierelevantnymi, które decydent uznaje za relewantne (np. informacje nie sprawdzone, subiektywne szacunki dokonywane na wątpliwych podstawach). Jest to jedna z częstych przyczyn błędów w podejmowaniu decyzji.

Porównując zbiory informacji $I(D)$, $I(W)$, $I(S)$ oraz $I(R)$, możemy określić luki informacyjne i informacje, jakie byłyby potrzebne do wypełnienia tych luk. Trudność jednak polega na tym, że zbiory te są w praktyce często słabo zdefiniowane. Dotyczy to zwłaszcza zbioru $I(R)$. Określenie informacji tworzących ten zbiór jest podstawą definiowania dobrych procedur decyzyjnych i podejmowania trafnych decyzji. Procedury decyzyjne bywają zwykle dostosowywane do informacji posiadanej przez decydenta. Decydent znajduje się jak gdyby w klatce informacyjnej. W przypadku działań rutynowych mamy do czynienia z samoograniczającym się oddziaływaniem dostępnych zbiorów informacji i procedur decyzyjnych. Nowe informacje nie są wykorzystywane, bo rutyna decyzyjna ich nie wymaga, i odwrotnie, nie zmienia się procedur decyzyjnych, bo brak jest informacji. Przełamanie *syndromu klatki informacyjnej* przez decydentów i gestorów systemów informacyjnych jest trudnym zadaniem.

Funkcja sterująca wiadomości w systemie społeczno-technicznym polega na tym, że wiadomość przekazana odbiorcy wywołuje określone zachowanie się. Nadawca wiadomości określa odbiorców i kanał informacyjny poprzez który przekazuje wiadomość. W funkcji sterującej użytkownikiem wiadomości jest zarówno jej nadawca, jak i jej odbiorca. To bardzo ważna specyficzna cecha funkcji sterującej. W pozostałych funkcjach kto inny jest jej użytkownikiem, a kto inny generuje informacje. Dla nadawcy wiadomość jest instrumentem sterowania odbiorcą, dla odbiorcy wiadomość może być postrzegana w różny sposób jako narzędzie dowodzenia, jako poszerzenie zasobów wiedzy jako informacja wspomagająca podjęcie decyzji. W zależności od celu nadawcy, wiadomości są przekazywane do konkretnych użytkowników albo do pewnej zbiorowości użytkowników nie identyfikowanych indywidualnie.

Przedstawione wyżej aspekty procesów informacyjnych wskazują, że w rozwiniętych społeczeństwach informacja była i jest jednym z podstawowych elementów infrastruktury społecznej. Infrastruktura informacyjna zależy od poziomu rozwoju społecznego i kulturowego danych sił powietrznych- na zasadzie sprzężenia zwrotnego - ma istotny wpływ na ten rozwój. Poziom systemów i procesów informacyjnych może być czynnikiem stymulującym lub ograniczającym dynamikę oraz rozwój procesów organizacyjnych. Określenie stopnia niepełności informacji i procesów informacyjnych występujących przy podejmowaniu decyzji w warunkach niepełnej informacji a zatem ryzyka, będzie przedmiotem rozważań w następnych rozdziałach tej pracy.

Niepewność i ryzyko

Prowadzenie rozważań na temat zachowań w warunkach braku pewności wymaga możliwie jasnego sformułowania pojęć niepewności i ryzyka. Terminy te są używane w odniesieniu do różnych sytuacji przez ich obserwatorów lub uczestników. Generalnie jednak wypowiedzi o niepewności i ryzyku cechuje brak świadomości co do istoty zagadnienia oraz relacji, jakie zachodzą pomiędzy nimi.

Wyjaśnienie interesujących nas pojęć nie jest łatwe i dlatego, aby opis był możliwie pełny, należy przeprowadzić analizę problemu na różnych płaszczyznach i naświetlić go z wielu stron.

Konieczność wyjaśnienia pojęć niepewności i ryzyka jest różnie formułowana w zależności od podmiotu zainteresowanego ich wyjaśnieniem. Można jednak założyć, że niepewność i ryzyko najczęściej dotyczą sytuacji, które cechuje brak absolutnej pewności co do ich charakteru i ewentualnych skutków realizacji określonych zjawisk. Podmioty decyzyjne obserwujące te zjawiska lub w nich uczestniczące muszą zatem przyjąć stanowisko inne, niż miałyby to miejsce w przypadku pewności.

Przedstawiciele różnych nauk i dyscyplin poruszali niejednokrotnie w swych rozważaniach problemy niepewności i ryzyka. Ich dorobek jednak z reguły jest nieuporządkowany, ponieważ ryzyko często nie było wiodącym tematem prac, natomiast pojawiało się jako element opisowy lub składowy innych głównych zagadnień. W związku z tym charakterystykę omawianych zjawisk należy rozpocząć od sprecyzowania kilku wiodących punktów analizy, których kolejność nie może być przypadkowa, bowiem ich omówienie nie ma charakteru substytucyjnego, lecz powinno przedstawiać ciąg przemyśleń w formie wzajemnych powiązań i wniosków.

Na pierwszy plan wysuwa się kilka problemów związanych z analizą niepewności i ryzyka, których poruszenie wydaje się niezbędne. Dotyczą one: istoty niepewności, relacji pomiędzy niepewnością i ryzykiem, istoty ryzyka, możliwości opisu następstw podjętego ryzyka, oceny opłacalności podjęcia ryzyka i weryfikacji słuszności podjętych decyzji.

W życiu codziennym początkiem wielu przemyśleń i rozważań ludzkich jest niepewność. Chociaż wydaje się ona być kategorią stałą, jednolitą, powszechną i nieskomplikowaną, opisanie niepewności nastrocza wiele trudności. Obserwując charakter niepewności i jej wielopodmiotowy zasięg dochodzimy do wniosku, że jest

ona nieodłącznym elementem istnienia i działania. Wszystkie sytuacje, o których nie możemy mówić w kategoriach pewności, są niepewne. Ich niepewność wyraża się w nieznaności lub braku parametrów opisowych. Przyczyną istnienia niepewności jest zatem występowanie różnorodnych zjawisk, których nie można wyjaśnić w sposób absolutny. Tak rozumiane źródło niepewności nadaje jej jednak formę bierną, czy raczej obiektywną, bowiem zwykle nie kształtowaną poprzez celowe działanie.

Niepewność aktywna (czynna) pojawi się w innym aspekcie. Będzie ona dotyczyła ludzkiego umysłu, który spełniając rolę analityczną i decyzyjną zetknie się z niepewnością wielokrotnie. Niepewność nabierze wtedy czynnego wymiaru, ponieważ ktoś będzie jej przyporządkowany i będzie ją wyjaśniał. Kontakt z niepewnością odbędzie się w kilku etapach, które będą obejmować:

- pojawienie się niepewności,
- analizę niepewności,
- wnioski z analizy niepewności³³.

Pojawienie się niepewności umożliwi proces jej aktywizacji. Niepewność odrzucona stanie się na powrót bierną. Niepewność podjęta zostanie poddana analizie, której przedmiotem będzie badanie charakteru niepewności i elementów, które ją kształtują oraz dążenie do zapewnienia względnej lub absolutnej pewności poprzez wysiłki umysłowe. Efektem przeprowadzonej analizy może być jeszcze większa niepewność, powrót do stanu początkowego lub zmniejszenie niepewności.. Wobec tego całkowite wyeliminowanie niepewności nie wydaje się możliwe.

Umysł człowieka nie jest wyłącznie miejscem kształtowania aktywnej niepewności, ale przede wszystkim spełnia funkcje wartościujące w stosunku do niepewności. Podobne funkcje spełnia otoczenie człowieka, które wywiera istotny wpływ na powstawanie, wizerunek i faktyczny rozmiar niepewności oraz na jej zmiany w określonym przedziale czasowym. Działania, o których mowa, mogą mieć charakter naturalny bądź celowy. W drugim przypadku powstaje szczególnie niebezpieczna forma niepewności, bowiem jej charakter rzeczywisty jest znacznie oddalony od obserwowanego i z takimi sytuacjami spotykamy się najczęściej analizując otoczenie w jakim funkcjonują systemy .Sił Powietrznych.

³³ Wust P., Niepewność i ryzyko, PWN, Warszawa 1995.

Zwracając uwagę na przedmiot analiz umysłowych człowieka można dostrzec, że niepewność znajduje się w każdym obszarze działania czy istnienia. Operowanie terminem pewności w stosunku do niepewności wydaje się niezręczne, można jednak zdecydowanie założyć, że podstawową i główną cechą niepewności jest jej powszechność.

Pojęcia niepewności i ryzyka są często rozumiane jako równoznaczne. Tymczasem wydaje się, że zachodzą pomiędzy nimi znaczne różnice. Jak zauważyliśmy wcześniej, niepewność jest zjawiskiem powszechnym, ryzyko natomiast może tylko częstym. W literaturze spotyka się różne definicje, które próbują ukazać relacje pomiędzy niepewnością i ryzykiem.

Według F. Knighta niepewność oznacza możliwość odchylenia od stanu oczekiwanego, której nie można zmierzyć, ponieważ nie można zastosować rachunku prawdopodobieństwa, ryzyko natomiast jest również możliwością odchylenia od stanu oczekiwanego, ale można go wyrazić prawdopodobieństwem³⁴. Zgodnie z tą definicją należałoby przypuszczać, że każdy z istniejących w Siłach Powietrznych podmiotów będzie spotykał w swej działalności zarówno niepewność, jak i ryzyko. Zjawiskiem bardziej skomplikowanym będzie jednak niepewność, bowiem znalezienie jej miary jest niezwykle trudne. Niepewność i ryzyko są zatem ukazane jako elementy różne, które jednak łącznie składają się na całość sytuacji i działań ludzkich, które cechuje brak absolutnej pewności.

Inaczej relacje pomiędzy niepewnością i ryzykiem rozumie W. Grzybowski, który uważa, że pojęcie niepewności da się zastosować do każdej sytuacji, której nie da się opisać w sposób absolutnie dokładny, bez względu na stopień tej dokładności oraz bez względu na to, czy opisywana sytuacja grozi powstaniem odchylenia różnokierunkowych, czy tylko odchylenia ujemnych. Pojęcia ryzyka z kolei nie można rozumieć tak szeroko, ponieważ może być ono odnoszone do sytuacji, które grożą zaistnieniem odchylenia ujemnego, bądź dla których odchylenie ujemne jest jedną z możliwych alternatyw³⁵. Istnieją zatem zasadnicze różnice pomiędzy niepewnością i ryzykiem, które uwidaczniają się szczególnie w zasięgu i możliwych skutkach obu wymienionych pojęć.

³⁴Moor P.G. Ryzyko w podejmowaniu decyzji. PWE, Warszawa 1985

³⁵Grzybowski W., Ryzyka i decyzje gospodarcze PWN, Warszawa 1995.

Ukazane powyżej przykłady definicji niepewności i ryzyka zwracają uwagę na elementy odróżniające obydwie pojęcia. Jeśli zechcemy poszukać wspólnych cech niepewności i ryzyka, to dojdziemy do wniosku, że ryzyko jest skutkiem niepewności. Jednym ze źródeł pochodzenia ryzyka jest zatem niepewność. podejmowanie działań, których skutki mogą być różne. Jest ono w przeciwieństwie do niepewności elementem dynamicznym, bo związanym z ludzką aktywnością. Aktywność ludzka jest jednak czymś powodowana. Ryzyko zatem musi stwarzać pewne możliwości, tak by ludzkie działanie mogło być inspirowane. Popularnie ryzyko rozumie się jako możliwość zaistnienia stanu niekorzystnego. Czy w takim razie podejmowano by ryzyko mając świadomość, że osiągnie się wynik ujemny? Ryzyko powinno zatem stwarzać również możliwość zysku. W praktyce spotkać można zarówno ryzyko jednokierunkowe (strata), jak również różnokierunkowe (strata, zysk). Podjęcie ryzyka w tym świetle może przybrać formę konieczności bądź swobodnego wyboru. Konieczność w podejmowaniu ryzyka jest często związana z jego jednokierunkową odmianą i wówczas przedmiotem zainteresowania powinno być możliwie największe zredukowanie potencjalnych strat.

Skoro podejmowanie ryzyka stwarza możliwość zysków, jest zatem często koniecznym warunkiem rozwoju i jawi się jako jego główny wyznacznik. Także inicjatywa jest związana z podejmowaniem ryzyka. Ryzyko jest w gruncie rzeczy czymś pozytywnym i powoduje, że człowiek próbuje doskonalić swą wiedzę, tak aby działania i decyzje, które podejmuje, były nowatorskie i efektywne.

W świetle pozytywnego wymiaru ryzyka, niepewność cechować może charakter obojętny bądź negatywny, ponieważ w sytuacji podejmowania ryzyka stopień niepewności, który go dotyczy, w dużej mierze utrudnia podjęcie właściwych działań. Dążeniem każdego podmiotu decydującego (decydenta), który podejmuje ryzyko, jest zapewnienie sobie możliwości opisu potencjalnych następstw podjętych decyzji. Następstwa, o których mowa, mogą być różne i przybierają charakter scenariuszy zdarzeń lub zdarzeń określonych pewną miarą (wektorem cech).

Pierwszy przypadek jest związany z wyjaśnianiem potencjalnych skutków podjęcia ryzyka za pomocą opisowej formy ukazania zależności i następstw określonych działań.

W drugim przypadku następuje nadanie elementom ryzyka matematycznej miary, co jest szczególnie wskazane z punktu widzenia podejmowania decyzji w warunkach badania rozwiązań alternatywnych, jak również oceny własnego potencjału (bojowego, ekonomicznego) w kontaktach z ryzykiem. Zmierzenie możliwych skutków powinno być oczywiście dążeniem i głównym celem działań w kontaktach z ryzykiem, bowiem informacje liczbowe dają zwykle najbardziej istotne podstawy podejmowania lub unikania konkretnych działań.

Przedmiotem rozważań w przypadku pomiaru ryzyka powinno być przede wszystkim:

- określenie przedmiotu pomiaru,
- przyjęcie możliwych do zastosowania miar ryzyka,
- przyjęcie standardów pomiaru i pomiar właściwy³⁶.

Określenie przedmiotu pomiaru oznaczać będzie wyodrębnienie czynników determinujących badane zjawisko (potencjalne ryzyko), których ewentualny pomiar będzie pomocny przy podejmowaniu decyzji.

Przyjęcie miar ryzyka to znalezienie określonych procedur, za pomocą których elementy ryzyka będzie można kwantyfikować w postaci liczbowej. Postulowanymi miarami ryzyka są prawdopodobieństwo oraz wagowe znaczenie poszczególnych czynników. Pierwsza z miar pozwala określić możliwość lub brak możliwości zaistnienia określonego skutku. Waga z kolei nadaje elementom ryzyka wymiar ekonomiczny. Łącznie potraktowane miary prawdopodobieństwa i wagi dają końcowy obraz znaczenia konkretnego elementu ryzyka dla decydenta i pozwalają na selekcję ryzyka. Zadaniem selekcji ryzyka jest uszeregowanie opisowych elementów ryzyka, tak by elementy nieistotne można było wyłączyć z przedmiotu rozważań.

Aby pomiar ryzyka był jednolity, należy przyjąć określone standardy pomiaru. Przykładem w tym przypadku może być ocena prawdopodobieństwa przez wyodrębnienie kilku standardowych elementów wpływu jako kryterium oceny, bądź powierzenie oceny jednemu podmiotowi (zespółowi osób łącznie) dla częściowego uniknięcia efektu subiektywności.

Przedstawione powyżej postulaty pomiaru elementów ryzyka wydają się słuszne, jednak w praktyce dokonywanie pomiarów ryzyka jest niezwykle trudne.

³⁶ Wust P., *Niepewność i ryzyko*, PWN, Warszawa 1995.

Szczególną barierę stanowi w tym przypadku niedostatek informacji. Dlatego właśnie w kontaktach z ryzykiem należy wykazać się intuicją i elastycznością, przyjmując często wiele uproszczeń. Wówczas dojdzie do szacowania ryzyka, które jest w praktyce najczęściej stosowanym pomiarem ryzyka.

Kontakty z ryzykiem i konieczność dokonywania wyboru wymagają przyjęcia kryterium podjęcia lub odrzucenia ryzyka (kryterium opłacalności). Kryterium takie powinno uwzględniać wszystkie czynniki wpływające na jakość podejmowanej decyzji. Spotkania z ryzykiem odbywają się na wielu płaszczyznach i dotyczą wielu problemów. Dlatego też kryterium opłacalności ryzyka powinno mieć możliwie jednolity charakter dla wszystkich decyzji. Przez jednolity charakter rozumieć należy wspólną dla różnych sytuacji technikę postępowania w obszarze konstruowania kryterium ze specyficznych dla tych sytuacji elementów składowych.

Formułowanie kryterium opłacalności ryzyka będzie inne w sytuacji o jednokierunkowej możliwości skutku (strata), a inne w przypadku możliwości wystąpienia skutku wielokierunkowego (zysk, strata).

Dla pierwszej sytuacji głównym kryterium opłacalności ryzyka będzie minimalizacja następstwa straty. W drugiej sytuacji kryterium decydującym będzie wybór wariantu o największej dodatniej nadwyżce zysku nad stratą. Tak zdefiniowane kryteria opłacalności będą funkcjonować poprawnie tylko w przypadku umieszczenia w kryterium głównym (zintegrowanym) wszystkich istotnych elementów wpływu, które zostaną opisane jednakową miarą. Efektem funkcjonowania kryterium będzie podejmowanie decyzji o unikaniu (odrzuceniu) ryzyka, podjęciu ryzyka lub ewentualnie przesuniętej w czasie ponownej analizie jego opłacalności. Ostatni przypadek może mieć miejsce np. w chwili stwierdzenia zmian jednego z czynników ryzyka, którego dokładny pomiar będzie możliwy i wskazany po określonym czasie, bowiem jego rozwój będzie miał swoje zakończenie w znanym punkcie przyszłości.

Obok opłacalności ryzyka innym bardzo ważnym elementem dla decydenta jest przekonanie o słuszności podjętych działań. Problem opłacalności występował w początkowym stadium kontaktów z ryzykiem, a jego weryfikacja nastąpiła w momencie obserwacji skutków decyzji i ich porównania z założeniami. W przypadku słuszności o weryfikację jest znacznie trudniej. Słuszność bowiem oznaczać będzie absolutne przekonanie o optymalnym w danych warunkach wyborze. Poczucie

słuszności wymaga zatem teoretycznie poznania okoliczności i możliwych skutków zastosowania rozwiązań alternatywnych. Odczucie słuszności jest jednak najwyższą nagrodą w kontaktach z ryzykiem i zwykle nabiera charakteru zobiiektywizowanego dopiero z perspektywy czasu. Jednocześnie słuszność jest niezwykle pomocna w kolejnych spotkaniach z ryzykiem, bowiem daje większą wiarę w sens własnej analizy ryzyka i pozytywne nastawienie do sytuacji związanej z brakiem absolutnej pewności³⁷.

Celem nadrzędnym rozważań na temat ryzyka i związanych z nim elementów jest nadanie ryzyku formy użyteczności, a więc uczynienie z ryzyka zjawiska pożytecznego. Przytoczone wcześniej argumenty, które przedstawiały ryzyko jako źródło postępu i aktywizacji ludzkich działań powodują, że ryzyko ma prawo aspirować do miana czegoś użytecznego. Faktyczną użyteczność ryzyka można jednak kształtować wyłącznie poprzez indywidualne zachowania w trakcie kontaktu z ryzykiem. Użyteczność ryzyka oznaczać będzie jego pozytywną rolę, jaką może spełniać w osiąganiu dodatnich rezultatów działalności z nim związanej. Postulat korzyści z ryzyka nie wystarczy jednak, by ryzyko stało się praktycznie użyteczne. Niezbędnym warunkiem użyteczności ryzyka jest bowiem możliwość kontroli ryzyka i sterowania jego elementami oraz ryzykiem jako całością. Sterowanie ryzykiem wymaga wypracowania metod postępowania, które pozwolą kontakty z ryzykiem uczynić efektywnymi. Co istotne, dążenie do uczynienia ryzyka użytecznym jest wskazane, a często konieczne dla wszystkich podmiotów decyzyjnych.

Rozważania wprowadzające do zagadnień niepewności i ryzyka powinny objąć swą treścią próbę jasnego i nie budzącego wątpliwości zdefiniowania obu pojęć. W przypadku niepewności zadanie to zostało już wykonane i można założyć, że definiowanie niepewności, jako stan wiedzy pozbawiony absolutnej pewności co do charakteru i możliwych skutków realizacji zjawisk i podejmowania działań, jest pozbawione większych błędów. Niepewność, jak już wspomniano, jest zatem kategorią o charakterze ogólnym i względnie obiektywnym.

W przypadku ryzyka próba jego zdefiniowania wymaga bardziej szczegółowego podejścia, bowiem skutki realizacji ryzyka są mocno osadzone w rzeczywistości. Okazuje się jednak, że żadna z przytoczonych wcześniej definicji ryzyka nie jest pełna,

³⁷ Nosal Cz.S., Psychologia myślenia i działania menedżera, Akade, Kraków 2001.

zaś sformułowanie wyczerpującej i jasnej definicji nie jest możliwe. Uwzględniając konieczność opisu ryzyka oraz trudności związane z konstrukcją jego definicji wydaje się słusznym, by w stosunku do ryzyka korzystać z parametrycznej formy definiowania, czyli posłużenia się zbiorem cech w jego opisie.

Szczególnie istotnymi cechami ryzyka są:

- źródło i przedmiot ryzyka,
- możliwe następstwa ryzyka,
- podjęcie ryzyka,
- realizacja ryzyka,
- możliwość manipulacji ryzykiem.

Przez źródło ryzyka rozumieć należy powód, który rozważania nad ryzykiem czyni uzasadnionymi. Przedmiot ryzyka oznacza sytuację, zjawisko równoznaczne z przedmiotem analizy ryzyka.

Możliwe następstwa ryzyka to potencjalny charakter skutków podjętych decyzji w odniesieniu do ryzyka, miary tych skutków wraz z podmiotowym i przedmiotowym wskazaniem ich zasięgu.

Podjęcie ryzyka oznacza decyzję pozytywną w stosunku do przedmiotu ryzyka, decyzję podjęcia aktywnych działań związanych z realizacją zadań potrzebnych do uzyskania korzyści i minimalizacji strat.

Realizacja ryzyka związana jest z zaistnieniem przewidywanych lub nieprzewidywanych skutków zdarzeń, których źródłem jest przedmiot ryzyka, a czasem również celowe działania ludzkie.

Możliwość manipulacji ryzykiem to podatność przedmiotu ryzyka na stosowanie środków i metod w celu ukierunkowania zachodzących procesów w pożądanym kierunku.

Przedstawiony wyżej zestaw cech charakteryzuje proces nazywany zarządzanie ryzykiem³⁸

³⁸ Brown E.M., Chong Y., Zarządzanie ryzykiem projektu, ABC, Kraków 2001.

Modelowanie ryzykownych sytuacji decyzyjnych

Wielokrotnie wcześniej wspominałem, że życie i działalność człowieka wiążą się ściśle z postrzeganiem otaczającego go świata. Postrzeganie kojarzy się nam przede wszystkim z widzeniem. Jest nim jednak również odbieranie dźwięków, wyczuwanie fizycznych kształtów czy odbiór zapachów. Wszystkie formy kontaktów człowieka z otoczeniem łączą się w mózgu, wywołując w nim obraz tego otoczenia. Odbieramy sygnały z otoczenia nadając im pewną wartość semantyczną. Obraz ten będziemy traktować jako wewnętrzny model postrzeganego otoczenia. Wewnętrzny model jest specyficzną własnością obserwatora. Ponieważ otoczenie oddziałuje na obserwatora w sposób ciągły, proces postrzegania jest na ogół bierny, niezależny od woli i świadomości obserwatora. Zmienia on swój charakter, gdy obserwator dostrzeże w otoczeniu coś interesującego dla niego, i obserwacja staje się świadoma i celowa. Postrzeganiu towarzyszy wtedy doznanie, staje się ono bardziej selektywne, ukierunkowane. Możemy powiedzieć, że strumień obrazów przechodzi przez filtr, dzięki któremu jedynie wybrane z nich, odpowiadające zainteresowaniu obserwatora, łączą się w model wewnętrzny obserwowanego fragmentu rzeczywistości (otoczenia). Postrzeganiu towarzyszy wtedy wstępne wartościowanie, którego pierwszym symptomem jest właśnie wybiórczość świadomego doboru obrazów. Wewnętrzny model określonego fragmentu otoczenia stabilizuje się po pewnym czasie obserwacji i staje się subiektywnym tworem istniejącym w pamięci obserwatora, mimo zaprzestania obserwacji. Do tegoż modelu, a nie do rzeczywistości, odwołuje się najczęściej obserwator w swej działalności. System tych modeli jest podstawą wiedzy obserwatora.

Modele wewnętrzne zyskują nową jakość w momencie, gdy obserwator, nadając im wartość semantyczną, uzewnętrznia je przedstawiając w formie zrozumiałej dla otoczenia a więc przyporządkowuje im obiekty, które mogą oddziaływać na inne osoby oraz na niego samego. Forma obiektów zewnętrznych może być różnorodna. Może nią być ulotny dźwięk, skrótowy symbol, zbiór zdań, rysunek czy fizyczny obiekt. Nie wnikając głębiej w proces tworzenia modeli zewnętrznych, podkreślmy jedynie fakt, że są nimi obiekty realnie istniejące, mogące być postrzegane przez różne osoby na takich samych prawach co odzwierciedlana przez nie rzeczywistość. Czy efekty są takie same, to już inna sprawa. Gdy postrzegającym jest sam twórca modelu, powstaje w nim

wtórny model wewnętrzny. Konfrontacja pierwotnego i wtórnego modelu wewnętrznego jest jednym z elementów sprawdzania poprawności konstrukcji modelu zewnętrznego. Moment stwierdzenia wewnętrznej zgodności między modelem pierwotnym i wtórnym można uznać za końcowy w procesie tworzenia modelu wybranego fragmentu rzeczywistości. Naturalnie, gdy model zewnętrzny ma być wykorzystywany przez różne osoby, efekt wewnętrznej zgodności powinien wystąpić u wszystkich zainteresowanych osób. Uzyskanie takiego efektu rzadko jest możliwe. Wobec tego na ogół przystajemy na słabszy warunek - akceptacji danego modelu. Akceptacja dopuszcza istnienie pewnych rozbieżności między modelem pierwotnym i wtórnym u poszczególnych obserwatorów. W konsekwencji należy liczyć się z tym, że między modelami wewnętrznymi różnych osób również będą występować różnice. Powszechna w danej grupie akceptacja pewnego modelu zewnętrznego wcale nie musi oznaczać zgodności między modelami wewnętrznymi.

Pamiętając o istnieniu modeli wewnętrznych, dalej będziemy rozpatrywać niemal wyłącznie modele zewnętrzne i do nich będzie odnosić się pojęcie modelu. Z procesu powstawania modelu wynika, że jest on efektem świadomego i celowo tworzonego odwzorowania danego fragmentu rzeczywistości. Efektem odwzorowania jest pewien realny obiekt. Szczególny zbiór tworzą modele uzewnętrznione w postaci systemów zdań w języku naturalnym lub sztucznym, a wśród tych ostatnich modele matematyczne. Analizując sytuacje decyzyjne, będziemy starali się zaakcentować zasadnicze fazy powstawania matematycznego modelu sytuacji decyzyjnej, jego atuty i ograniczenia oraz możliwe rozbieżności między modelami wewnętrznymi decydenta i modelem matematycznym. Proces korygowania modelu matematycznego na podstawie informacji o modelu wewnętrznym będzie jednym z punktów ciężkości analizy. Proces tworzenia modelu i wyciągania na jego podstawie wniosków będzie miał charakter iteracyjny i interaktywny.

Cel, który jest inspiracją tworzenia modelu, jak i proces jego powstawania sprawiają, że model jest odwzorowaniem upraszczającym. Powszechnie przyjmuje się jednak, że między danym fragmentem rzeczywistości a jego modelem powinny zachodzić określone związki tak, aby model był użyteczny dla twórcy oraz dla innych osób, które będą jego użytkownikami. Nie można sformułować uniwersalnych reguł tworzenia modeli. Praktyka podpowiada jednak pewne wymagania, których należy

przestrzegać w konstrukcji modelu.

1. Konstrukcji modelu musi towarzyszyć świadomość celu, dla którego jest on tworzony.
2. Model powinien odzwierciedlać elementy i ich własności oraz relacje między elementami i ich własnościami.
3. Model powinien być wewnętrznie zgodny i zgodny z informacjami, które były podstawą jego konstrukcji.
4. Prezentacja modelu powinna uwzględniać relacje między realnym fragmentem rzeczywistości a jego otoczeniem³⁹.

Lista wymagań, jakie stawia się przed modelem w praktyce, jest znacznie obszerniejsza. Wymieniając powyższe, pragnę zwrócić uwagę na celowość, strukturę, poprawność i granice modelu. Pojęcie celu będzie odgrywało fundamentalną rolę w naszych rozważaniach, więc poświęćmy mu nieco miejsca.

Niech *FR* określa pewien fragment rzeczywistości, w którym osoba *C* prowadzi swoją działalność. Przyjmijmy, że *FR* w chwili t_0 znajduje się w " stanie S_0 i w przypadku braku jakichkolwiek działań ze strony *C* w chwili $t_1 > t_0$ *FR* znajdowałby się w stanie S . Osoba *C* świadoma takich następstw może pragnąć nie dopuścić do tego i przez realizację odpowiednich własnych działań chce, aby *FR* w chwili t_1 był w stanie S_1 . W takiej sytuacji łatwo sformułować zdanie, że uzyskanie stanu S_1 jest celem działalności osoby *C*. Ogólniej, pojęcie *celu* wiąże się z przyszłym, na ogół innym niż obecny, pożądanym stanem lub sposobem zachowania się określonego fragmentu rzeczywistości. Zwróćmy przy tym uwagę, że przyszły stan *FR* może być analizowany jedynie na modelu tegoż *FR*. Charakterystyczną cechą tego modelu jest to, że nie jest on naturalnym odzwierciedleniem rzeczywistości. Formułując cel, twórca tworzy model postulatywny, wyrażający jego określone pragnienia. Źródłem powstania modelu prezentującego cel może być:

- a) inspiracja twórcza,
- b) ekstrapolacja obserwacji *FR* dokonanych w przeszłości,
- c) analogia do obserwacji innych fragmentów rzeczywistości.

W praktyce każdy z powyższych czynników powinien mieć swój udział w określaniu celu. Bazowanie wyłącznie na inspiracji twórczej grozi

³⁹ Długosz M., Gry decyzyjne w badaniach i doskonaleniu organizacji, PWN, Warszawa 1990.

woluntaryzmem. Czysta ekstrapolacja może *oznaczać* stagnację, naśladownictwo innych może prowadzić do podejmowania działań nieuzasadnionych w danej rzeczywistości. Oczywiście są to skrajne, negatywne przypadki, które wymieniamy przede wszystkim po to, aby uświadomić sobie granice w określaniu celów. Skoro cele spełniają rolę modeli postulatywnych, powinny być określone ze względu na:

- a) podmiot, którego dotyczą,
- b) czas, w którym mają być zrealizowane.

Patrząc na cele od strony realizacji, możemy podać bardziej konkretne atrybuty, jakie powinny spełniać. Można wśród nich wymienić:

- 1) osiągalność,
- 2) wykonalność,
- 3) identyfikowalność,
- 4) stabilność.⁴⁰

Wymienione atrybuty muszą być uwzględniane w trakcie formułowania celu, co nie oznacza, że ujawnią się one bezpośrednio w modelu celu. Dlatego też w dalszej części nie będziemy specjalnie podkreślać ich znaczenia. Naszą uwagę skoncentrujemy na formalnej prezentacji celu jako modelu. Od razu musimy zaznaczyć, że nasze zainteresowania ograniczymy do celów, których modele można przedstawiać nie tylko w języku naturalnym, lecz również w języku o wystarczająco dużym stopniu formalizacji, przede wszystkim za pomocą logiki i matematyki. Wobec tego w naszej analizie będziemy przyjmować, że rozpatrywane cele można opisać za pomocą skończonej liczby charakterystyk. Charakterystyki celu będą odzwierciedlały własności celu jako całości, własności wyróżnionych w nim elementów składowych, relacje między tymi elementami lub ich własnościami względnie relacje między celem a jego otoczeniem.

Niech przykładowo celem, jaki decydent zamierza zrealizować w najbliższej przyszłości, będzie misja bojowa realizowana przez kilka samolotów. W opisie możemy pominąć czynności związane z przygotowaniem tej misji, koncentrując swoją uwagę na zasadniczym obiekcie. Pragnąc go opisać, możemy użyć takich

⁴⁰ Frąckowicz J., John L., Systemy sprawnego działania, Antyk, Warszawa 2000.

charakterystyk, jak: nazwa (typ realizowanego zadania), czas liczba uczestniczących samolotów, ugrupowanie, trasa przelotu wysokość, prędkość realizowane manewry. Każde z tych określeń definiuje nazwę pewnej charakterystyki. Jednak dopiero dla konkretnej sytuacji charakterystyki nabierają znaczenia., np. wymieniając charakterystykę „nazwa rodzaj działania ” możemy podać „działania demonstracyjne”.

Wprowadzając do opisu celu określoną charakterystykę uwidaczniamy, jaki zakres informacji o tym celu będzie nas interesował. Trafny wybór tego zakresu jest podstawą prowadzenia rzetelnej analizy celu i możliwości jego realizacji. Spełnienie tego warunku będziemy traktować jako oczywisty postulat, do którego nie będziemy powracać. Zwróćmy natomiast uwagę, że pewne charakterystyki mogą być wyrażone za pomocą liczb, inne zaś za pomocą słów. W przypadku misji bojowej przykładem pierwszego typu jest np. liczba samolotów, a drugiego np. nazwy poszczególnych grup ugrupowania bojowego. Każda z nich zawiera informację o rodzaju organizowanej misji. W praktyce wprowadza się jednak rozróżnienie między nimi, mówiąc, że pierwsze z nich są charakterystykami ilościowymi, a drugie, jakościowymi. Przyjmując w jakimś sensie taki podział, będziemy wyróżniać charakterystyki mierzalne i niemierzalne. Mierzalność oznacza istnienie wyróżnionej, skali oraz funkcji, która danej charakterystyce konkretnego obiektu przyporządkowuje na tej skali liczbę będącą wartością charakterystyki tego obiektu. Można dostrzec, że podział charakterystyk na ilościowe i jakościowe nie musi pokrywać się z podziałem na mierzalne i niemierzalne. Często dla charakterystyki potocznie zaliczanej jako jakościowa można skonstruować skalę i podać funkcję, która obiektom przyporządkowuje na tej skali odpowiednie liczby, co umożliwia traktowanie tej charakterystyki jako mierzalnej. Tak jest np. ze skutkiem zadawanych strat przeciwnikowi, dla których oblicza się średni oczekiwany rezultat wykonywanych uderzeń i w ten sposób możemy uzyskać miarę porządkową

Problematykę wprowadzania i poprawnego mierzenia charakterystyk będziemy traktować jako rozpatrzoną przed przystąpieniem do konstrukcji modelu celu. Dalej będziemy przyjmować, że rozpatrywane przez nas cele dają się opisać za pomocą charakterystyk mierzalnych. Mierzalność charakterystyk

pozwole wyróżnić grupy celów ze względu na stopień ich konkretyzacji. Przypomnijmy, że cel wiąże się z pragnieniami odniesionymi do przyszłości. Łatwo uświadomimy sobie, że pragnienia te mogą być przedstawione z różną precyzją. Z formalnego punktu widzenia wyróżnimy trzy zasadnicze typy celów. Będą one określone:

- 1) punktowo,
- 2) przedziałowe,
- 3) kierunkowo.

W pierwszym przypadku cel będzie przedstawiony za pomocą skończonego ciągu wartości charakterystyk równych zadanym, ustalonym liczbom. Przedziałowe określenie celu będzie oznaczało, że wartości charakterystyk będą mogły być liczbami z określonych przedziałów. Kierunkowa prezentacja celu nie musi mieć jednolitej interpretacji. Najczęściej odnosi się ją do poszczególnych charakterystyk. Na skali przyporządkowanej danej charakterystyce określa się wtedy reguły rozpoznawania, jak - mając dwie różne wartości tej charakterystyki wskazać „lepszą” w sensie osiągnięcia celu. Na ogół wyróżnienie takiej reguły kojarzy się z wprowadzeniem na skali jednego z dwóch możliwych kierunków wskazujących, czy dla dwóch różnych wartości za korzystniejsze jest uznawana większa czy mniejsza z nich. Można jednak podać przykłady, w których wyróżnienie na skali jednego kierunku „lepszości” nie jest uzasadnione. Pytając, czy dla zdrowia człowieka lepsza jest temperatura ciała $36,2^{\circ}\text{C}$ czy $36,6^{\circ}\text{C}$, odpowiemy, że jest nią $36,6^{\circ}\text{C}$. Lecz gdy przyjdzie nam porównać temperatury $37,5^{\circ}\text{C}$ i $38,5^{\circ}\text{C}$, jako lepszą wskażemy $37,5^{\circ}\text{C}$, a więc nie wyższą, jak to było w poprzednim przypadku, lecz niższą z nich. Ten dość oczywisty przykład powinien nam uświadomić, że grupa celów określonych kierunkowo jest niejednorodna. Nie należy więc oczekiwać jednolitego standardu w ich analizie.

Na ogół cele określane są za pomocą kompozycji warunków punktowych, przedziałowych i kierunkowych. Po prostu pewnym charakterystykom przyporządkowuje się ustalone wartości liczbowe, dla innych określa się przedziały, a jeszcze innym wyznacza się kierunki pożądanych zmian. Postać warunku odzwierciedla stopień wymagań stawianych wobec danej charakterystyki. Warunek punktowy na ogół uznaje się za ostrzejszy niż przedziałowy. Natomiast porównanie warunków przedziałowych i kierunkowych może być różnie interpretowane, przy czym

tutaj będziemy skłaniać się ku pogładowi, że warunki przedziałowe odzwierciedlają większe wymagania niż kierunkowe. Dla poparcia tego odwołujemy się do prostego przykładu.

Jedną z charakterystyk celu, jaki formułuje się dla COMAO⁴¹ są zadawane straty przeciwnikowi. Powszechnie przyjmuje się, że cel działań jest lepiej zrealizowany, gdy przeciwnikowi zada się większe straty. Innymi słowy, charakterystyce „straty przeciwnika” przyporządkowuje się kierunek wskazujący: im większe straty zadane przeciwnikowi, tym lepiej jest realizowane zadanie i cel działań. Skonfrontujmy ten warunek z następującym: „zadane straty powinien wynosić co najmniej 10%”. Który z tych warunków określa ostrzejsze wymagania? Praktyk może dać odpowiedź wymijającą, mówiąc, że będzie to zależeć od zadania, wielkości wyznaczonego celu, jego roli w ugrupowaniu przeciwnika, czy określony cel jest istotny z punktu widzenia dalszych działań, gdyż zadanie 10% strat pojedynczej kompanii piechoty może stanowić niewielki wysiłek natomiast, obezwładnienie brygady w takim procencie jest niesamowicie trudnym zadaniem nie wspominając o większych formacjach. Nie jest to jednak odpowiedź na postawione pytanie. Nie interesuje nas bowiem, czy cel jest łatwy do realizowania, czy nie. Przypuśćmy, że zadanie zostało zrealizowane tak, że straty zadane przeciwnikowi wynoszą 10%. W przypadku gdy miały to być straty maksymalne, zawsze można uzasadnić, że cel został zrealizowany. Gdy celem było osiągnięcie strat przeciwnika co najmniej 10%, to będzie on zrealizowany, gdy zadamy straty przeciwnikowi większe od 10%, lecz gdy zadany rezultat wyniesie tylko 8%, ocena nie może być pozytywna. Przy takiej interpretacji warunki przedziałowe będziemy uznawać za ostrzejsze niż kierunkowe.

Za punkt wyjścia naszych rozważań będziemy przyjmować moment postrzegania przez dowódcę określonego fragmentu rzeczywistości, którego model wewnętrzny wywołuje u niego negatywną ocenę wewnętrzną. Pominiemy przypadki, gdy postrzeżenie, będąc słabo uświadomionym, nie wywołuje u obserwatora potrzeby działania. W sferze naszych zainteresowań znajdą się sytuacje, w których negatywna ocena wewnętrzna staje się impulsem

⁴¹ COMAO - Composite Air Operations – Połączone działania sił powietrznych

do działania mającego zmienić określony fragment rzeczywistości i doprowadzić go do stanu uznanego przez tego dowódcę za pożądany. Analizuj takie sytuacje, zasadniczy akcent położymy na dwie istotne cechy: świadomą obserwację i pragnienie osiągnięcia pożądanego stanu. Będziemy więc przyjmować, że dowódca zainteresowany zmianą jest w stanie kontrolować wewnętrznie proces tworzenia modeli, a działania wynikają ze świadomie określonego celu. Niekiedy postawiony cel determinuje jednoznacznie działania, jakie należy podjąć, aby go osiągnąć. Nie podważając potrzeby analizy takich sytuacji, tutaj wyłączymy je z dalszych rozważań jako trywialne. Kluczowym elementem analizy, dzięki któremu uznamy sytuację za interesującą, będzie możliwość podania co najmniej dwóch wariantów działań prowadzących do realizacji celu.

Sytuację w której określona osoba w pewnym czasie odczuwa świadomą potrzebę dokonania zmiany wyróżnionego fragmentu rzeczywistości i dostrzega co najmniej dwie akceptowalne przez nią możliwości realizacji tej zmiany, przez co jest zmuszona do wyboru jednej spośród nich, będziemy nazywać *sytuacją decyzyjną* tej osoby. Każdą z akceptowalnych możliwości dokonania zmiany będziemy nazywać *akcją*.

Omawiając pojęcie celu, przyjęliśmy, że ograniczymy się do rozpatrywania celów dających się przedstawić za pomocą skończonej liczby mierzalnych charakterystyk. Skoro akcje mają opisywać działania realizujące wcześniej określony cel, muszą być przedstawiane tak, aby konfrontacja akcji z celem pozwalała rozstrzygnąć, czy dzięki danej akcji cel będzie osiągnięty czy nie. Akcje muszą być przedstawiane w formie umożliwiającej sprawdzanie osiągalności celu. Opis akcji nie może więc pominąć żadnego z tych atrybutów, które występują w sformułowaniu celu, czyli żadnej z jego charakterystyk. Oczywiście opis akcji może być bogatszy niż prezentacja celu. Jednakże informacje odzwierciedlające inne aspekty będziemy formalnie traktować jako nieistotne dla naszej analizy. Jest to naturalne założenie modelowania, tym bardziej istotne, że pragniemy korzystać z aparatu matematycznego.

W praktyce proces określania celu i akcji rzadko można wyrażać za pomocą przedstawionego schematu. Nawet wtedy, gdy cel wydaje się być dobrze sprecyzowany, w trakcie określania akcji wychodzą na jaw takie

niedociągnięcia, jak: niepełność opisu celu, niewłaściwy dobór charakterystyk lub niekonsekwencje w ich precyzowaniu. Dostrzeżeniu nieprawidłowości powinno towarzyszyć wprowadzanie poprawek i modyfikacji.

Po określeniu akcji dowódca zainteresowany w osiągnięciu celu musi dokonać wyboru akcji, która będzie realizowana. Akt wskazania wybranej akcji względnie podanie przepisu jednoznacznego jej wyboru będziemy nazywali *podjęciem decyzji*. Wybraną akcją będziemy nazywać *decyzją*, a osobę" ustalającą sam wybór lub formułującą zasadę wyboru *decydentem*. Proces rozpoczynający się uświadomieniem potrzeby zmiany, a kończący wskazaniem wybranej akcji, będziemy nazywać *procesem decyzyjnym*. Zbiór akcji, spośród których wybierana jest decyzja, będziemy nazywać polem decyzyjnym danej sytuacji decyzyjnej. Będziemy starali się jednak wyodrębnić te fragmenty procesu podejmowania decyzji, które mają charakter rutynowy, niezależny od osoby decydenta i wobec tego powinny być realizowane jako czynności zewnętrzne. Decydent powinien być uwolniony od balastu czynności rachunkowych, kontrolowania poprawności wnioskowania czy weryfikacji niesprzeczności stawianych warunków. Osobowość decydenta może się wyrażać przez dobór charakterystyk, ich ocenę i zasady wyboru decyzji. Aby ułatwić prezentację takiego toku myślenia, wprowadzimy do rozważań symbolicznie dwie postacie: decydenta i analityka⁴². Ich role nie będą rozdzielone zbyt wyraźnie. Ogólnie będziemy jednak przyjmować, że decydent:

- 1) podaje informacje o celu,
- 2) ustala charakterystyki i relacje między nimi,
- 3) określa zasady strategii przeglądu akcji,
- 4) ocenia propozycje analityka,
- 5) decyduje, czy należy poszukiwać nowej akcji lub czy pewna propozycja analityka jest uznana przez niego za decyzję.

Do zadań analityka zaliczymy:

- 1) formułowanie formalnego (matematycznego) modelu na podstawie informacji od decydenta oraz informacji uznanych obiektywnie za prawdziwe,

⁴² Pod pojęciem analityka możemy identyfikować szefa sztabu i oficerów sztabu reprezentujących poszczególne specjalności i rodzaje wojsk.

- 2) wypracowanie propozycji decyzji, na ogół przez rozwiązanie odpowiednich zadań matematycznych,
- 3) ocenę dostarczanych przez decydenta informacji ze względu na ich logiczną zgodność oraz zgodność z obiektywnie uznanymi faktami i zasadami.

Będziemy przyjmować, że proces podejmowania decyzji ma formę dialogu między decydentem a analitykiem. W dialogu tym analityk będzie odgrywał rolę doradcy, który może podpowiadać decydentowi, jakie mogą być decyzje czy zasady ich wyboru, lecz ostateczna akceptacja musi pochodzić od decydenta. Analityk nie ma prawa wprowadzać do modelu informacji własnych, nie zaaprobowanych przez decydenta.

Przyjmując ograniczenie, że będziemy się zajmować wyłącznie świadomymi i celowymi działaniami dowódcy, głównym pojęciem uczyniliśmy cel działania. Dopiero mając określony cel, stawiamy pytanie, czy istnieją różne możliwości jego spełnienia, Praktyka dowodzi jednak, że taki sposób podejścia ma znaczenie raczej teoretyczne. W rzeczywistości formułowanie celu i wariantów działania jest procesem przebiegającym niekiedy dość chaotycznie. Często na tle wstępnie określonego celu proponowane są akcje niewiele z tym celem związane, którym jednak w danej sytuacji nie można odmówić zasadności. Analiza takich propozycji jest w istocie rzeczą pogłębieniem rozpoznania potrzeb pobudzających nas do działania. Nie można oczywiście wykluczyć, że wstępnie przyjęty cel musi być następnie radykalnie zmodyfikowany, a zbiór akcji tworzony od nowa. Jeżeli nowy model sytuacji pozwala lepiej wyznaczyć działania zaspokajające istniejącą potrzebę możemy uznać, że wstępny, nietrafny model spełnił swą poznawczą rolę.

Naturalnie tutaj będziemy interesować się ostatecznym modelem, o którym będziemy zakładać, że w pełni opisuje akceptowany przez decydenta cel i dopuszczalne, realizowalne warianty działania. Będziemy zakładać, że wtedy każdy z proponowanych wariantów działania przy braku „konkurentów” byłby uznany za dobry i bez wahania przyjęty do realizacji.

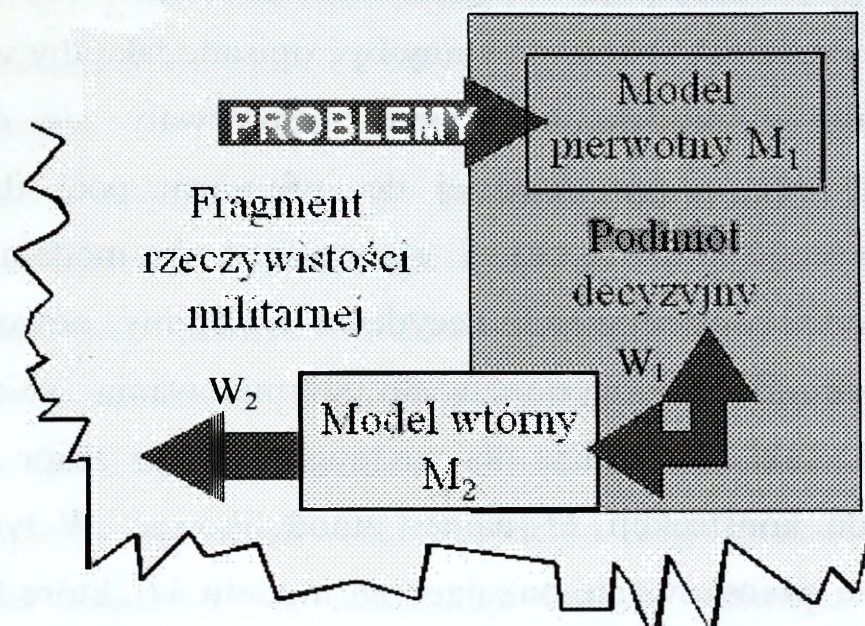
Tworząc model sytuacji decyzyjnej, musimy pamiętać, że będzie on spełniał podwójną rolę. Z jednej strony będzie on pewnym uproszczonym

odzwierciedleniem istniejącej i przyszłej rzeczywistości, w której mają być wykorzystane wnioski płynące z tego modelu.

Z drugiej zaś strony model ma być bazą odniesienia dla formalnego postępowania, którego wynikiem powinny być właśnie wspomniane wnioski. Wobec tego hipotetycznie można sobie wyobrazić dwa etapy tworzenia modelu. W pierwszym etapie punkt ciężkości powinien spoczywać na trafnym wyłuskaniu z odzwierciedlanej rzeczywistości tego, co dla jej opisu jest istotne. Zbiór informacji w modelu musi pozwolić na takie formułowanie wniosków, aby te mogły być praktycznie użyteczne. Model musi jednak spełniać określone formalne warunki umożliwiające wykorzystanie logiki i metod matematycznych. W tym celu model pierwotny bywa zastępowany modelem wtórnym, który jest pewnym substytutem modelu pierwotnego. W modelu wtórnym punkt ciężkości jest przenoszony na uzyskanie poprawnej logicznej struktury, która pozwala na obliczenia matematyczne i logiczne wnioskowanie. Oczywiście wnioski uzyskane na podstawie modelu wtórnego powinny być adekwatne do modelu pierwotnego, a tym samym do odzwierciedlanej przez niego rzeczywistości.

Na rysunku 4. przedstawiono symbolicznie proces tworzenia modelu pewnego fragmentu rzeczywistości FR z wyróżnieniem modelu pierwotnego M_1 , modelu wtórnego M_2 , postępowania prowadzącego do wniosków W_2 oraz wniosków W_1 które są ostatecznie wykorzystywane w realizacji zmian FR .

Zbiór informacji $I(D)$ opisujący procedurę decyzyjną jest konstruowany na podstawie wiedzy decydenta $I(W)$. Jeżeli wiedza ta zawiera informacje nierelevantne lub fałszywe, procedura decyzyjna może być błędna. Zdarza się też, że decydent posiada wiedzę $I(W)$ obejmującą tylko część informacji $I(R)$. Jest to więc wiedza niepełna. Z taką właśnie sytuacją spotykamy się często w systemach wchodzących w skład Sił Powietrznych. Podejmowanie decyzji w tych systemach odbywa się w warunkach niepełnej informacji i ryzyka. Określenie stopnia niepełności informacji i procesów informacyjnych występujących przy podejmowaniu decyzji w warunkach niepełnej informacji jest jednym z problemów badawczych, które będą przedmiotem następných rozdziałów tej pracy.



Rysunek 4. Tworzenie modelu wtórnego

Zbiór informacji $I(D)$ opisujący procedurę decyzyjną jest konstruowany na podstawie wiedzy decydenta $I(W)$. Jeżeli wiedza ta zawiera informacje nierelevantne lub fałszywe, procedura decyzyjna może być błędna. Zdarza się też, że decydent posiada wiedzę $I(W)$ obejmującą tylko część informacji $I(R)$. Jest to więc wiedza niepełna. Z taką właśnie sytuacją spotykamy się często w systemach wchodzących w skład Sił Powietrznych. Podejmowanie decyzji w tych systemach odbywa się w warunkach niepełnej informacji i ryzyka. Określenie stopnia niepełności informacji i procesów informacyjnych występujących przy podejmowaniu decyzji w warunkach niepełnej informacji jest jednym z problemów badawczych, które będą przedmiotem następujących rozdziałów tej pracy.

W tym kontekście kluczowym elementem identyfikacji sytuacji decyzyjnej jest taki dobór charakterystyk i relacji między nimi na etapie tworzenia modelu M_1 aby odtwarzał względnie wiernie FR oraz aby konstrukcja modelu M_2 ani nie groziła utratą informacji, ani nie skłaniała do wprowadzania nowej, nie związanej z modelowanym obiektem. Innymi słowy, tworząc model M_1 powinniśmy uwzględniać wymagania pochodzące od osób mających wykonywać obliczenia oraz od osób, które mają korzystać z uzyskanych

wyników. Dopiero synchronizacja wymagań wszystkich sfer może przynieść pozytywne rezultaty w praktyce.

Identyfikacja sytuacji decyzyjnych wiąże się z określeniem celu i akcji. Skoro teraz na cel i akcje będziemy patrzeć z perspektywy modeli M_1 i M_2 , musimy zdawać sobie sprawę, że cel i akcje powinny być opisane tak, aby wnioski W_2 wynikały wyłącznie z modelu M_2 i nie odwoływały się do modeli wewnętrznych decydenta a tym bardziej do informacji pochodzących od analityka, który przecież nie ma prawa wprowadzać do modelu własnych informacji. Do modeli wewnętrznych decydenta będziemy odwoływać się wtedy, gdy wnioski W_2 nie wystarczą do sformułowania wniosków W_1 użytecznych w *FR*. Taki stan będzie dla nas sygnałem, że zbiór informacji wykorzystywany do konstrukcji M_2 należy zmodyfikować. W tym miejscu trzeba zaznaczyć, że wnioskowanie bazujące na modelu M_2 , które kończy się wnioskami W_2 , obejmuje w zasadzie czynności logiczne i rachunkowe, a podstawowym środkiem wspomagającym wnioskowanie jest komputer, który najwyraźniej wyciska piętno na wymaganiach stawianych modelowi. Klasycznym przykładem takich wymagań jest pomijanie w modelu charakterystyk niemierzalnych.

Wprowadzając pojęcie celu, podaliśmy ogólne zasady jego prezentacji, które uwzględniały wymagania modelu wtórnego. Takie same, wymagania będą obowiązywały wobec akcji. Akcje muszą być przedstawiane za pomocą tych samych charakterystyk co cel. W przeciwnym przypadku trudno byłoby sprawdzać, czy akcja realizuje cel. Sam opis akcji może być dodatkowo uzupełniany dodatkowymi charakterystykami odnoszącymi się do warunków realizacji. Warunki te będziemy albo traktować jako rozszerzenie celu, albo uznamy za nieistotne dla wyznaczania decyzji. Na ogół rozróżnienie celu i akcji na poziomie modelu M_1 jest sprawą raczej naturalną. Ponieważ w opisie celu i akcji występuje wiele elementów wspólnych, utrzymanie rygorystycznego rozróżnienia między nimi na poziomie modelu M_2 jest mało przydatne, a nawet dezinformujące. O ile więc nie zajdzie potrzeba, będziemy unikać zbędnej interpretacji tych pojęć.

Proces decyzyjny obejmuje ciąg czynności, w których początkowym impulsem jest uświadomienie potrzeby dokonania zmiany, a momentem końcowym jest wskazanie wybranej akcji. W procesie tym wyróżniamy trzy fazy:

- rozpoznawczą, w której następuje wstępne określenie celu,
- tworzenia pełnego modelu sytuacji decyzyjnej,
- wyboru decyzji.

W naszej analizie będziemy zakładać, że sytuacja decyzyjna jest już rozpoznana i decydent oraz analityk znają informacje niezbędne do tworzenia modelu. Tworzenie pełnego modelu obejmuje etapy powstawania modelu pierwotnego M_1 oraz wtórnego M_2 . We wnioskowaniu bazującym na modelu M_1 podstawową rolę odgrywają modele wewnętrzne decydenta. Wnioskowanie to jest więc zależne od osobowości decydenta. Jego przesłanki wnioskowania mają wielkie znaczenie dla konstrukcji modelu wtórnego M_2 , który będzie podstawowym obiektem naszych rozważań. Aby móc je uwzględnić w prowadzonej analizie, będziemy zakładać stały kontakt analityka odpowiedzialnego za model wtórny M_2 z decydentem operującym modelem M_1 .

Pierwszym zadaniem, jakie powstaje podczas tworzenia modelu M_2 , jest specyfikacja pola decyzyjnego D danej sytuacji decyzyjnej. Pole decyzyjne może być określone wprost przez wymienienie jego elementów (explicite) lub w sposób niejawny (implicite), gdy jest ono przedstawione przez warunki nakładane na poszczególne charakterystyki akcji. W każdym z tych przypadków poprawnie określone pole decyzyjne według B. Roy'a⁴³ powinno spełniać następujące wymagania:

- Każdy element pola decyzyjnego D powinien być opisany przez wszystkie interesujące nas charakterystyki.
- Elementy pola D powinny być różne.
- Pole decyzyjne powinno obejmować wszystkie mogące nas interesować akcje.
- Pole D nie może ulegać zmianie, nie mogą się też zmieniać charakterystyki akcji.
- Powinna istnieć możliwość porównywania dowolnych dwóch akcji z pola D , przy czym relacja porównywania powinna być pełna i przechodnia.

⁴³ Roy B. Wielokryterialne wspomaganie decyzji, WNT, Warszawa 1985

Pierwsze cztery warunki odniesione do zbioru D w ramach modelu M_2 nie budzą wątpliwości. Są one uzasadnione zarówno z praktycznego, jak i matematycznego punktu widzenia. Inną sprawą jest to, czy są one spełnione przez model danej sytuacji decyzyjnej. Piąty warunek wynika wprost z wymagań stawianych przez matematykę, a jego spełnienie w praktyce jest często wątpliwe lub napotyka duże trudności

Sprawa jest stosunkowo prosta gdy relacja porównywania jest związana w naturalny sposób z wyróżnionymi charakterystykami akcji. Dzieje się tak, gdy akcje są przedstawione za pomocą jednej charakterystyki, której miara generuje naturalną porównywalność. Przy większej liczbie charakterystyk relacja porównywalności rzadko wynika bezpośrednio z własności charakterystyk. Na ogół konstrukcja tej relacji bazuje na ocenach decydenta. Oznacza to, że decydent powinien ujawnić te oceny tak, aby mogły one być wykorzystane do utworzenia relacji porównywalności w modelu M_2 . Informacje ujawnione przez decydenta lub rozpoznane przez analityka służą do utworzenia zadania, którego rozwiązanie jest na ogół równoznaczne z wyznaczeniem decyzji w polu decyzyjnym przedstawionym przez model M_2 . Jeżeli informacje te są rozpoznane rzetelnie (o ile jest to w ogóle możliwe), to utworzone zadanie powinno pozwolić na takie wnioski, jakie przeprowadziłby sam decydent.

Pomoc komputera odciąża decydenta od żmudnych obliczeń i sprawdzeń poprawności postępowania, nie pomniejszając roli jego samego. Jego rola staje się w pewnym sensie trudniejsza. formalnie akt wskazania wybranej akcji zostaje zastąpiony podaniem przepisu jej wyznaczenia. O ile akt wskazania decyzji może bazować na pewnych niedopowiedzeniach, intuicji, o tyle formuła jej wyznaczania musi być podana jednoznacznie. Ujawniane przez decydenta informacje o zasadach jego wewnętrznych porównań uzewnętrzniają jego stan wiedzy, pragnień i zamierzeń, obnażają ewentualne niekonsekwencje i sprzeczności jego własnej logiki. Wielu decydentów traktuje ten fakt jako osłabienie ich autorytetu.

Tymczasem proces tworzenia zadania i wnioski oparte na modelu M_2 powinny być rozumiane przez decydenta jako szansa poznawania samego siebie. Uzyskiwane wnioski W_2 po skonfrontowaniu z rzeczywistością powinny

być dla niego sprawdzianem poprawności rozpoznania sytuacji decyzyjnej i jego wewnętrznych ocen. Gdy wyniki W_2 nie sprawdzają się w praktyce, powinno to skłonić zarówno decydenta, jak i analityka do poszukiwania przyczyn tego stanu rzeczy i w konsekwencji do korekty modelu M_2 i stosowanych zasad porównywalności. Takie sprzężenie zwrotne może być stosowane interwencyjnie. Można je jednak przyjąć jako zasadę współdziałania decydenta z analitykiem. Postępowanie zakładające stały udział decydenta w procesie tworzenia modelu M_2 i bazującym na nim procesie wnioskowania będziemy określać mianem *postępowania interaktywnego*.

Można mówić o różnych stopniach kontaktów między decydem a analitykiem. Biorąc pod uwagę moment i częstotliwość ujawniania informacji przez decydenta, wyróżnimy następujące przypadki:

1. Decydent nie ujawnia żadnych własnych informacji, lecz nie wnosi zastrzeżeń wobec zasad uznanych w danym środowisku za normatywne.
2. Decydent przekazuje informacje w okresie tworzenia modelu M_2 i ewentualnie koryguje je po stwierdzeniu nieprzydatności wyniku W_2 .
3. Decydent przekazuje informacje sukcesywnie w trakcie wnioskowania i aktywnie współuczestniczy w określaniu wyniku W_2 .

W pierwszym przypadku decydent przyjmuje postawę bierną praktycznie analityk przejmuje rolę decydenta. Również w drugim przypadku trudno mówić o aktywnej roli decydenta, niemniej jednak tym razem decydent, kontrolując przydatność wyników, egzekwuje swoje prawo ich akceptacji, a tym samym. wskazania decyzji. Są to przypadki, w których dominującą rolę odgrywa analityk, a tworzone modele mogą być rozpatrywane w ramach np. badań operacyjnych lub programowania matematycznego. Aktywną rolę decydenta przewiduje trzeci przypadek i właściwie w nim można mówić o tworzeniu modeli decyzyjnych. We współdziałaniu analityka z decydem ten drugi jest osobą pierwszoplanową, gdy zaś analityk przejmuje rolę doradcy. Na tym typie współpracy skoncentrujemy naszą uwagę podczas analizy sytuacji decyzyjnych.

Niezależnie od częstotliwości udzielania informacji istotne jest, czego ona dotyczy i jakie wynikają z niej reguły wnioskowania. Formalnie w sferze modelu M_2 *problem decyzyjny* można ująć zwięźle następująco: w. polu decyzyjnym D należy wskazać pewien szczególny element $a \in D$. Istota reguły

wnioskowania spoczywa na określeniu, na czym ma polegać owa szczególność elementu a i jaki jest przepis jego „wskazywania”.

Z matematycznego punktu widzenia wybór określonego elementu ze zbioru D można ująć jako przyporządkowanie zbiorowi D jednego z jego elementów, przy czym z istoty samego przyporządkowania wynika, że jest ono funkcją. Akt wskazywania wybranej akcji w sferze modelu M_1 odpowiada w sferze modelu M_2 podaniu sformułowania przepisu pewnej funkcji $F : D \rightarrow \{a\}$, $a \in D$, którą będziemy nazywać *funkcją decyzyjną*.

Zagadnienie tworzenia funkcji decyzyjnej jest kluczowe w procesie decyzyjnym. Oczywiście, gdy postać funkcji F jest znana w jawnej formie w momencie określania pola decyzyjnego, jedyną czynnością, jaką ma wykonać analityk, jest wyznaczenie decyzji zgodnie z przepisem tej funkcji. Jakkolwiek trudne jest to zadanie stanowi ono zdeterminowany fragment procesu decyzyjnego wymagający jedynie technicznej obsługi i nie wnoszący merytorycznie nic nowego do samego procesu. Pomijamy w tym momencie wszelkie problemy związane z techniką rozwiązywania takich zadań, z dokładnością obliczeń czy problemy współpracy człowieka z komputerem.

Skoro znajomość funkcji decyzyjnej pozwala sprowadzić problem decyzyjny do pewnego zadania numerycznego, zrozumiała jest tendencja analityków do uzyskania od decydentów informacji, które pozwoliłyby na jej określenie. Niestety, decydent nie zawsze jest w stanie udzielić pożądaných informacji. Przykłady z praktyki świadczą, że analitycy starają się wtedy „podpowiedzieć” postać tej funkcji. Jest to postępowanie uzasadnione, o ile dopełniony jest podstawowy warunek: pełnej i świadomej akceptacji tej funkcji przez decydenta. Analityk nie ma prawa stawiać decydenta przed faktem dokonanym, gdyż wtedy uzurpuje sobie prawa decydenta.

Gdy zasób informacji pochodzących od decydenta nie pozwala skonstruować funkcji decyzyjnej F , np. ze względu na niepełne rozpoznanie sytuacji, postępowanie prowadzące do wyznaczenia elementu $a \in D$ musi przewidywać współuczestnictwo decydenta w wyznaczaniu decyzji. Wnioskowanie przyjmuje wtedy najczęściej charakter lokalny, odnoszący się do podzbiorów pola decyzyjnego D i procedura wyznaczania decyzji jest interaktywna i iteracyjna. Wiele przesłanek wskazuje, że obecnie, w dobie powszechnej komputeryzacji, ten typ postępowania jest szczególnie predysponowany do rozpowszechnienia w dowodzeniu współczesnymi siłami powietrznymi.

Porównanie cech wariantów decyzyjnych

Przedstawiając przebieg procesu decyzyjnego, wyróżniliśmy fazy tworzenia modelu pierwotnego M_1 i modelu wtórnego M_2 . Przyjmijmy umownie, że model pierwotny jest modelem decydenta, a wtórny - modelem analityka. Tym samym będziemy mocno akcentować, że M_1 przez modele wewnętrzne decydenta jest silnie związany z rzeczywistością, a M_2 jest, pewną konstrukcją powstałą na bazie M_1 zgodnie z określonymi regułami tworzenia modeli formalnych. Takie ujęcie pozwoli uwidocznic odmiennosc widzenia elementow pola decyzyjnego przez decydenta i analityka. Decydent bedzie zawsze je widzial przez pryzmat swych modeli wewnetrznych i odnoszac je do rzeczywistosci, bedzie pamietal o wdrozeniu. Jego model bedzie wiece bogatszy o szczegoly niedostepne dla analityka. Analityk, majac model M_2 , moze odwoływac sie jedynie do informacji pochodzacych lub zaakceptowanych przez decydenta, a baza wnioskowania jest dla niego obowiazujacy system zasad formalnych. Aby zaakcentowac roznicę tych punktów widzenia, przyjmijmy, że określenie „akcja” będzie się odnosić do elementów pola decyzyjnego w modelu decydenta, a elementy pola decyzyjnego w modelu analityka będziemy nazywać wariantami decyzji lub - krótko — wariantami. W rzeczywistości mogą to być te same elementy.

Proces decyzyjny konczy sie wskazaniem w polu decyzyjnym jednego, wyroznionego elementu, który jest uznany za „lepszy” od pozostałych.

Relacja „lepszości” musi być spełniona tylko między decyzją a każdym innym elementem pola. Natomiast relacje między pozostałymi elementami są praktycznie bez znaczenia. Wobec tego w praktyce można zaobserwować postępowanie, w którym najpierw wybiera się pewien element z pola decyzyjnego, a następnie poszukuje się argumentów wskazujących na jego przewagę nad pozostałymi. Gdy argumenty są za słabe, bierze się pod uwagę inny element pola i powtarza wnioskowanie. Wybór elementu poddawane go sprawdzeniu następuje najczęściej na podstawie wewnętrznych ocen decydenta, który może również sterować dobozem argumentów. Efektem takiego postępowania są bardzo często decyzje całkowicie woluntarystyczne.

Wspominając więc o możliwości takiego Wnioskowania, zaznaczmy natychmiast, że wykluczmy go z naszych rozważań. Będziemy rozpatrywać jedynie takie wnioski, w których wybór decyzji poprzedzony jest określeniem reguł jej wyznaczania. Przyjmiemy, że ustalanie tych reguł na poziomie modelu M_1 jest zadaniem decydenta. Zadanie analityka będzie polegało na odzwierciedleniu tych zasad na poziomie modelu M_2 .

Rozpatrując bardzo ogólnie zasady wnioski, możemy wyróżnić wśród nich stałe, niezależne od sytuacji decyzyjnej, oraz takie, które są przyjmowane ad hoc dla analizy określonej sytuacji. W pierwszym przypadku zasady mają charakter normatywny i są brane pod uwagę już przy opisywaniu sytuacji decyzyjnej. Zasady przyjmowane ad hoc mogą być niekiedy nawet sprzeczne z normatywnymi. Przykładowo, zasada bezpieczeństwa wykonujących określone zadanie jest powszechnie obowiązująca i wariant działania, który wymagałby jej naruszenia, powinien być eliminowany z pola decyzyjnego. W wyjątkowych sytuacjach odstępuje się jednak od rygorystycznego jej przestrzegania, aby można było zrealizować określone cele.

Normatywne zasady obowiązują dla całego pola decyzyjnego. Zasady sformułowane w określonej sytuacji mogą natomiast mieć charakter globalny, a więc odnoszący się do całego zbioru D , lub też lokalny, ograniczony do jego podzbiorów. Dopóki nie będziemy rozpatrywać szczególnych przypadków, omawiane przez nas zasady będą miały charakter globalny.

Postawmy się teraz w pozycji decydenta skonfrontowanego z dwoma akcjami. Jaki może być wynik porównania tych akcji? Przede wszystkim mogą być one uznane za nieporównywalne lub porównywalne. Samo uznanie akcji za nieporównywalne nie musi oznaczać, że decydent nie może dokonać spośród nich wyboru. Upoważniają go do tego jego uprawnienia. Jednak wtedy nie można mówić o regule wyboru, z której mógłby skorzystać również analityk. Wobec tego akcje nieporównywalne pozostawimy w gestii decydenta. Natomiast uznając dwie akcje za porównywalne, decydent może orzec, że są one:

- albo nierozróżnialne,
- albo jedna z nich (wiadomo która) jest preferowana nad drugą.

Nierozróżnialność dwóch akcji nie powinna być rozumiana jako ich identyczność. Za nierozróżnialne mogą być uznane dwa scenariusze działania przynoszące taki sam skutek, mimo że realizowane są innymi metodami. Analityk przejmując więc od decydenta określenia: nieporównywalność, porównywalność, nierozróżnialność, preferencja, musi nadać im sens na gruncie modelu M_2 tak, aby jego orzeczenia były zgodne z orzeczeniami decydenta. Musimy pamiętać, że decydent, odwołując się do systemu swych ocen wewnętrznych, dokonuje często porównań akcji całościowo, nie licząc się z ich złożonością i dopiero próba podania jakiejś reguły porównywania zmusza go do rozpatrzenia charakterystyk akcji. Jeżeli akcje są opisywane za pomocą jednej charakterystyki, która jest również charakterystyką celu, porównywanie akcji bazuje na ogół na naturalnej interpretacji tej charakterystyki. Wtedy odzwierciedlenie preferencji decydenta jest stosunkowo proste.

Zagadnienie komplikuje się, gdy cel i elementy pola decyzyjnego opisywane są za pomocą co najmniej dwóch charakterystyk. W takich przypadkach oceny wewnętrzne decydenta rzadko dają się ująć w formę stałych zasad, z czego sam decydent nie zawsze zdaje sobie sprawę. Dialog decydenta z analitykiem staje się wtedy procesem uczenia się dla obu stron. Analityk poznaje model wewnętrzny decydenta, a ten precyzuje jego kształt i parametry, a wraz z nimi system wewnętrznych ocen. W efekcie wskazanie decyzji w końcowej fazie dialogu przestaje być sprawą intuicji czy emocjonalnego nastawienia decydenta. Jeżeli sytuacja powtarza się w czasie, decydent ma możliwość korygowania swych ocen i tworzenia ich systemu. W takim stadium podejmowanie decyzji może utracić subiektywny charakter i wybór decyzji może być zastąpiony rozwiązaniem odpowiedniego zadania w ramach modelu M_2 z zachowaniem przez decydenta kontroli nad końcowym wynikiem.

Rozpatrywane przez nas warianty (akcje) będą przedstawiane z pomocą skończonej liczby charakterystyk mierzalnych. Oznaczmy nazwy tych charakterystyk symbolami W_1, \dots, W_m . Wartość charakterystyki W_j ($j = 1, \dots, m$) dla wariantu A_i będziemy nazywać *j-tą cechą* wariantu A_i i będziemy oznaczać symbolem $W_j(A_i)$ lub krótko w_j^i . W analizowanych tutaj sytuacjach cechy wariantów będą liczbami rzeczywistymi. Wobec tego wariant A_i będzie reprezentowany przez wektor $w^i = [w_1^i, \dots, w_m^i]^T$, ($w^i \in R^m$).

Rozpatrzmy najpierw przypadek, gdy warianty są przedstawione z pomocą jednej charakterystyki. Wariant A_i będzie więc przedstawiony przez cechę w^i . Cecha ta jest wielkością obiektywną, mającą znaczenie dla analizy danej sytuacji dopiero wtedy, gdy jest rozpatrywana w pewnym układzie odniesienia. Pierwotnym układem odniesienia jest wewnętrzny system ocen decydenta. Już sam fakt kwalifikacji danego wariantu do pola decyzyjnego jest aktem oceny tego wariantu. Jest to ocena wstępna, po której następuje etap innych ocen służących do wyłonienia decyzji. Ocena wariantów jest na ogół efektem ich porównywania. Porównywane są cechy wariantów, a wynikiem porównania dwóch wariantów, np. A_1 i A_2 , jest orzeczenie typu: „wariant A_1 jest lepszy od A_2 ”, „wariant A_1 jest co najmniej tak dobry, jak A_2 ” lub też „wariant A_1 jest tak samo dobry, jak A_2 ”. Naturalnie zakładamy, że powyższe orzeczenia są formułowane wyłącznie na podstawie wyróżnionej cechy wariantu. Zadanie analityka polega na wychwyceniu zasad, jakimi kieruje się decydent przy formułowaniu swych orzeczeń i ujęciu ich w sformalizowanej postaci. Ponieważ orzeczenia decydenta mają służyć wskazaniu decyzji, mówimy, że analityk ma odzwierciedlić *zasady preferencji*, jakimi kieruje się decydent. « Podamy klasyczne przykłady orzeczeń decydenta.

Pl. Jeżeli $w_1 < w_2$, to wariant A_2 jest lepszy od A_1 , a gdy $w_1 = w_2$, to wariant A_2 jest tak samo dobry, jak A_1 .

Analityk musi teraz sprawdzić, czy decydent jest konsekwentny w swych orzeczeniach, gdy zbiór porównywanych wariantów ulega zmianie. Jeżeli odpowiedź na to pytanie jest pozytywna, analityk ma prawo uznać, że decydent poszukuje wariantu o maksymalnej wartości cechy. Tym samym wyznaczenie decyzji można przedstawić w formie zadania „poszukiwany jest wariant A_k , dla którego $w^i \leq w^k$, dla dowolnego wariantu A_i z pola decyzyjnego”. Jest to zadanie wyznaczania maksimum warunkowego funkcji o wartościach w^i .

Preferencje decydenta możemy przedstawić symbolicznie na rysunku, przyjmując, że wariantowi „lepszemu” odpowiada punkt leżący wyżej nad osią poziomą, co ilustruje rys.5a

Na prezentowanym rysunku nie wprowadziliśmy jednostek na osiach. O ile wprowadzenie takiej jednostki na osi poziomej nie sprawia trudności, gdyż w^1 są liczbami rzeczywistymi, o tyle przyjęcie jednostki na osi pionowej wiąże się problemem, czy można mierzyć preferencje decydenta. To naturalne pytanie jest jednym z centralnych w opisowej teorii podejmowania decyzji. Funkcję określającą miarę preferencji decydenta nazywa się *funkcją wartości* lub *funkcją użyteczności*. Pierwsze z tych określeń odnosi się do podejmowania decyzji w warunkach deterministycznych, a drugie, gdy decyzje są podejmowane w warunkach niepewności i ryzyka.

W wielu sytuacjach preferencje decydenta odbiegają od podanego schematu. Przytoczmy charakterystyczne przykłady innych preferencji

P2a. Warianty, których cechy są mniejsze od ustalonej wartości w są oceniane negatywnie, a pozostałe są oceniane pozytywnie jako jednakowo dobre.

P2b. Warianty, których cechy nie przekraczają ustalonej wartości w^* są oceniane pozytywnie jako jednakowo dobre, a pozostałe są oceniany negatywnie.

Na rys.b i c zilustrowano preferencje typu P2a i P2b.

P3. Dopóki cechy nie przekraczają wyróżnionego poziomu w^* dopóty w przypadku $w^1 < w^2$ wariant A_2 jest lepszy od A_1 . Gdy jednak cechy przekraczają wartość w^* , to w przypadku $w^1 < w^2$ wariant A_1 jest lepszy od A_2 .

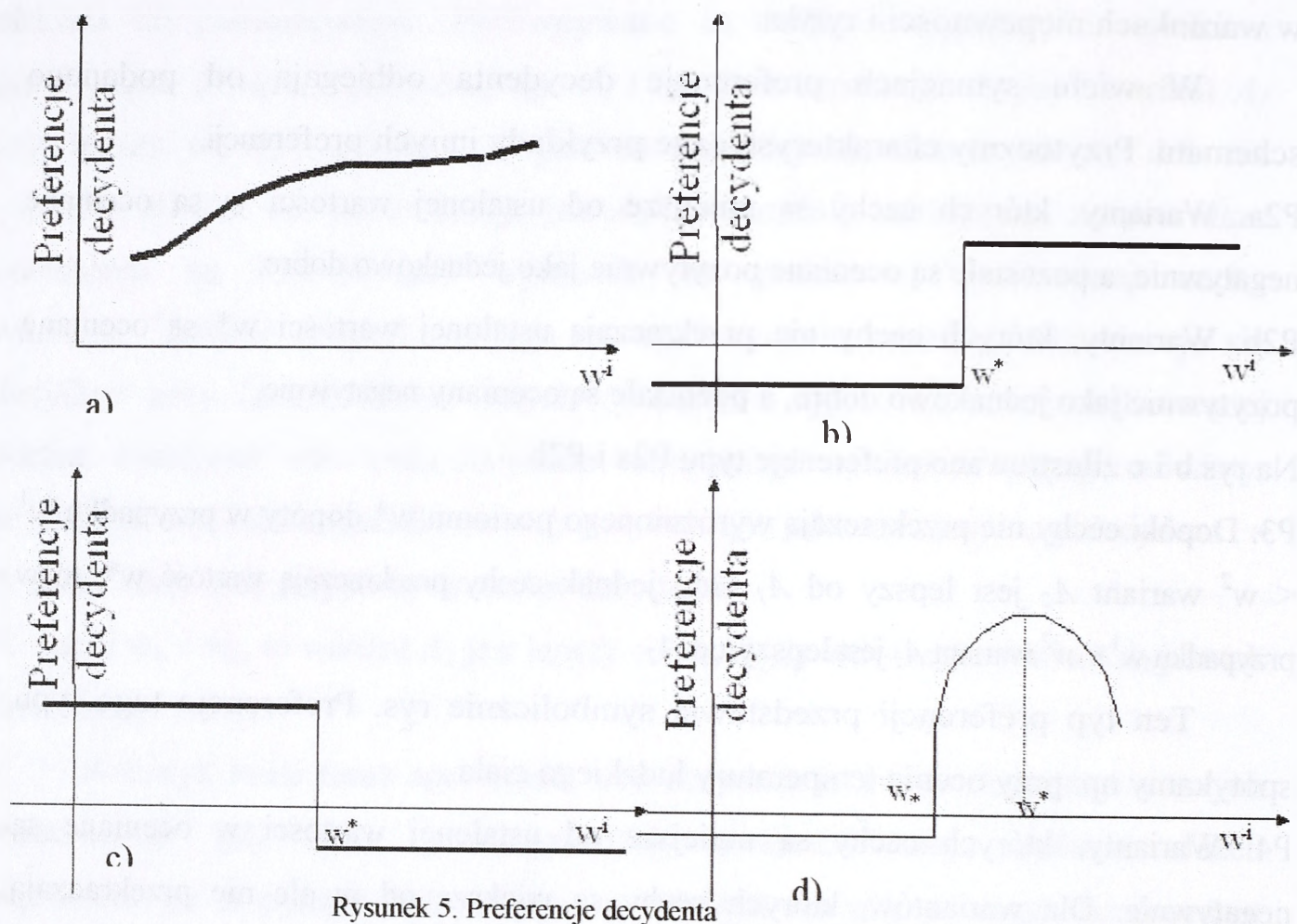
Ten typ preferencji przedstawia symbolicznie rys. Preferencje tego typu spotykamy np. przy ocenie temperatury ludzkiego ciała.

P4. Warianty, których cechy są mniejsze od ustalonej wartości w oceniane są negatywnie. Dla wariantów, których cechy są większe od w ale nie przekraczają wartości w^* , funkcja preferencji jest rosnąca, a dla wariantów, których cechy są większe od w^* , funkcja preferencji jest malejąca. Ten typ preferencji ilustruje rys. 2.4.

Preferencje typu P2a i P2b są charakterystyczne dla wstępnej oceny wariantów przeprowadzanej przy tworzeniu pola decyzyjnego.

Ujawniają się one również w trakcie procesu decyzyjnego, gdy decydent pragnie wykluczyć z analizy pewne warianty uznane przez niego za niepożądane. Z preferencjami typu P3 i P4 spotykamy się w praktyce bardzo często. Wyrażają one pragnienie wyznaczenia wariantu satysfakcjonującego, a więc realizującego ograniczone wymagania decydenta, przy wykluczeniu

takich, których cechy nie osiągają pewnego minimalnego poziomu. Zwróćmy jednak uwagę, że w sformułowaniach preferencji P3 i P4 istnieją luki i nie uwzględniają one przypadków, w których np. wariant A_1 ma cechę $w^1 < w^*$, a wariant A_2 ma cechę $w^2 > w^*$. Przy tak sformułowanych preferencjach powyższe warianty należy uznać za nieporównywalne. Zadaniem analityka jest m.in., wychwycenie tego faktu i uświadomienie go decydentowi. Dodatkowe informacje powinny uzupełnić przepis preferencji tak, aby wykluczyć nieporównywalność wariantów.



Rysunek 5. Preferencje decydenta

Przedstawione przykłady preferencji odzwierciedlają, popularnie mówiąc, pragnienie porządkowania zbioru wariantów. Naturalnie gdy słyszymy orzeczenie, że wariant A_1 jest lepszy od A_2 , próbujemy dowiedzieć się, o ile jest on lepszy. W wielu przypadkach odpowiedź wydaje się oczywista. Jest tak wtedy, gdy ocena „lepszości” wynika w naturalny sposób z miary charakterystyki lub z powszechnie akceptowanych zasad wartościowania ekonomicznego albo technicznego. Ale nawet wtedy subiektywna ocena wariantów nie musi pokrywać się z oceną obiektywną.

Naturalnie, o ile oceny obiektywne nie *zależą*, od osoby decydenta, o tyle podane oceny subiektywne należy traktować jako przykładowe. Sformułowane oceny subiektywne stanowią przykład wartościowania stopniowego, które B. Roy⁴⁴ zaleca wprowadzać, gdy oceny obiektywne nie odzwierciedlają pewnych dodatkowych aspektów jakościowych, względnie gdy nie wynikają one w sposób naturalny z natury charakterystyk. Z tym drugim przypadkiem spotykamy się w sytuacjach, gdy warianty będą opisywane za pomocą więcej niż jednej charakterystyki, a więc w przypadkach stanowiących obiekt naszych zainteresowań.

Idea ocen stopniowych B. Roy'a jest bardzo interesująca z praktycznego punktu widzenia, więc przedstawiamy ją szczegółowiej przyjmując, że wariant A_I jest wariantem odniesienia.

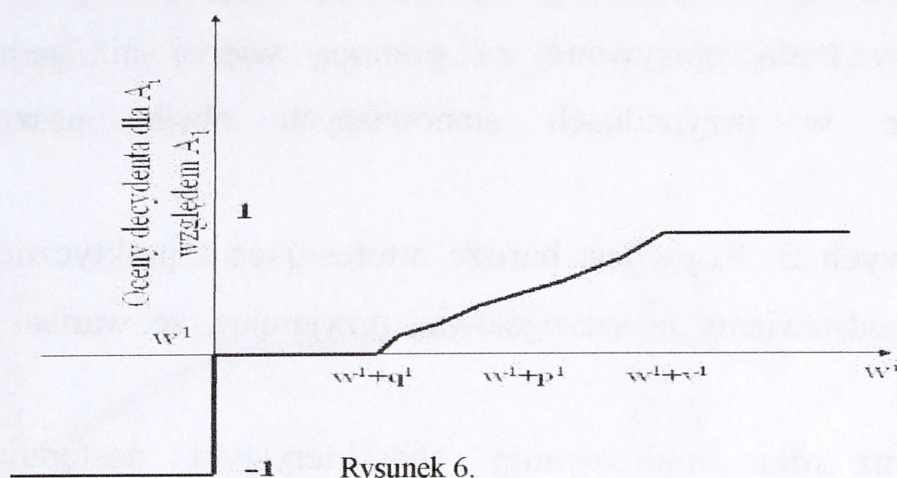
Wprowadźmy teraz dla analizowanej charakterystyki następujące przedziały: $(-\infty, w^l)$, $[w^l, w^l + q^l)$, $[w^l + q^l, w^l + p^l)$, $[w^l + p^l, w^l + v^l)$, $[w^l + v^l, \infty)$, $q^l < p^l < v^l$. Dla wariantu A_I mającego cechę w^l oceny mogą być następujące:

- u) gdy $w^i \in (\infty, w^l)$, A_i uznajemy za gorszy od A_I
- b) gdy $w^i \in [w^l, w^l + q^l)$, A_i uznajemy za nierozróżnialny z A_I ,
- c) gdy $w^i \in [w^l + q^l, w^l + p^l)$, A_i uznajemy za lepszy od A_I
- d) gdy $w^i \in [w^l + p^l, w^l + v^l)$, A_i uznajemy za istotnie lepszy od A_I .
- e) gdy $w^i \in [w^l + v^l, \infty)$, A_i uznajemy za bezwzględnie lepszy od A_I .

Ustalenie wartości q^l , p^l , v^l jest zadaniem decydenta. Wartości te powinny odzwierciedlać jego oceny wewnętrzne i dlatego używane do ich przedstawienia określenia należą do języka naturalnego, co ma podkreślić ich związek z praktyką. Pragnąc stworzyć ciągły system ocen, możemy wprowadzić pewną pomocniczą funkcję o wartościach od 0 do 1 taką, że dla $w^i \in [w^l + v^l, \infty)$ ocena jest równa 1, dla $w^i < w^l$ jest równa -1, a dla pozostałych jest funkcją niemalejącą. Na rys. zilustrowano jedną z możliwości tak określonego systemu ocen. Koncepcję B. Roy'a i jej zastosowanie omówimy szczegółowo, rozpatrując warianty wielowymiarowe. W przypadku powtarzalnych sytuacji decyzyjnych, w miarę poznawania i precyzowania elementów procesu decyzyjnego, można liczyć

⁴⁴ Roy B., Wielokryterialne wspomaganie decyzji. WNT Warszawa 1990

na stabilizację ocen decydenta i w konsekwencji na możliwość konstruowania funkcji wartości. Po utworzeniu funkcji wartości analityk może przejąć w swoje ręce zadanie wyznaczania decyzji. Akt podejmowania decyzji, w którym dominującą rolę odgrywa decydent, może być wtedy zastąpiony formalnym zadaniem, którego rozwiązaniem jest poszukiwana decyzja.



Rysunek 6.

Przejdźmy teraz do omówienia zasadniczego problemu w procesie decyzyjnym, jakim jest porównywanie wektorów cech. Przyjmijmy, że pole decyzyjne jest znane, a każdy wariant $A_i \in D$ jest przedstawiony za pomocą wektora cech $w^i = [w_1^i, \dots, w_m^i]^T$ ($m > 1$), którego składowymi są liczby rzeczywiste. Punktem wyjściowym naszej analizy będzie sytuacja, w której decydent określił swoje preferencje względem każdej z cech. Interesującym nas zagadnieniem będzie, jak decydent na podstawie indywidualnych preferencji względem poszczególnych cech tworzy preferencje globalne względem wektorów cech. Klasycznym przykładem preferencji indywidualnych są preferencje określone jako P1. Przypomnijmy je:

- a) jeżeli dla $A_i, A_j \in D$ $w_k^i < w_k^j$ to wartość charakterystyki W_k wskazuje A_j jako wariant lepszy od A_i .
- b) jeżeli dla $A_i, A_j \in D$ $w_k^i = w_k^j$ to wartość charakterystyki W_k wskazuje, że A_j jest tak samo dobry jak A_i .

Najczęściej preferencje globalne określone są przez komunikację preferencji indywidualnych, tzn. wymaga się, aby dane warunki były spełnione względem każdej z cech. Na bazie preferencji P1 tworzy się więc preferencje globalne postaci:

R1. Jeżeli dla $A_i, A_j \in D \rightarrow w_k^i < w_k^j$, dla każdej charakterystyki W_k , to wariant A_j jest lepszy od A_i , a jeżeli dla $A_i, A_j \in D \rightarrow w_k^i = w_k^j$, dla każdej charakterystyki W_k , to wariant A_j jest tak samo dobry jak A_i .

Zasada koniunkcji preferencji indywidualnych pozwala utworzyć w naturalny sposób preferencje globalne. Łatwo jednak dostrzec luki w tak określonych preferencjach. Mianowicie, nie obejmują one porównań wariantów $A_i, A_j \in D$, dla których:

a) istnieją charakterystyki W_p, W_r takie, że $w_p^i < w_p^j$ i $w_r^i > w_r^j$,

b) dla pewnych charakterystyk W_p $w_p^i < w_p^j$, a dla charakterystyk W_r $w_r^i = w_r^j$,

c) dla pewnych charakterystyk W_p $w_p^i < w_p^j$, dla charakterystyk W_r $w_r^i = w_r^j$ a dla charakterystyk W_q $w_q^i > w_q^j$.

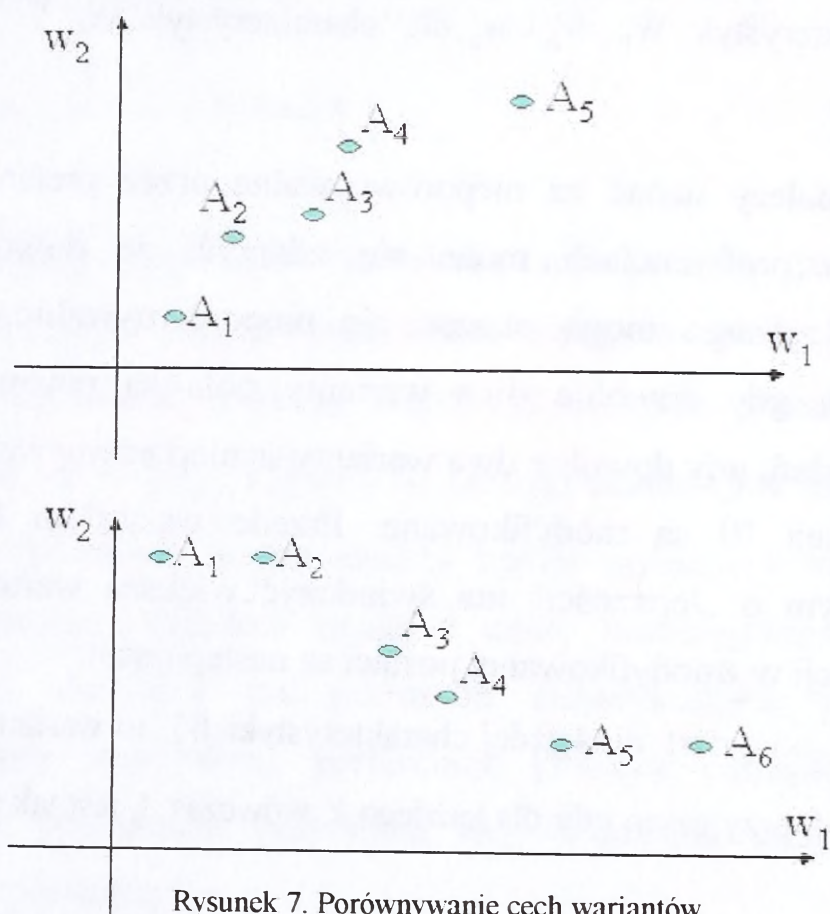
Warianty takie należy uznać za nieporównywalne przez preferencje R1. Przy tak określonych preferencjach może się zdarzyć, że dowolne dwa warianty z pola decyzyjnego mogą okazać się nieporównywalne. Na rys. zilustrowano przykład, gdy dowolne dwa warianty pola są porównywalne, natomiast na rys. przykład, gdy dowolne dwa warianty są nieporównywalne.

Zasady preferencji R1 są modyfikowane. Przede wszystkim łagodzony jest warunek, w którym o „lepszości” ma świadczyć większa wartość każdej cechy. Zasady preferencji w zmodyfikowanej postaci są następujące:

R2 Jeżeli dla $A_i, A_j \in D \rightarrow w_k^i \leq w_k^j$ dla każdej charakterystyki W_k , to wariant A_j jest co najmniej tak dobry jak A_i przy czym gdy dla każdego k , wówczas A_j jest tak samo dobry jak A_i .

Modyfikacja R2 zmniejsza zbiór wariantów nieporównywalnych. O ile zgodnie z zasadą R1 wszystkie warianty uwidocznione były nieporównywalne, o tyle teraz można wśród nich wyróżnić podzbiór wariantów porównywalnych. Możemy bowiem orzec, że A_2 jest co najmniej tak dobry jak A_1 czy A_6 co najmniej tak dobry jak A_5 . Jednak próby porównania innych par wariantów prowadzą do orzeczenia: „warianty są nieporównywalne”. Nieporównywalność wariantów jest względna, wynikająca z przyjęcia takiej czy innych zasad porównywania. W praktyce bardzo często odступujemy od dość rygorystycznych zasad R1 czy R2, w

których kluczową rolę odgrywa warunek koniunkcji. Oczywiście teoretycznie można tworzyć różne warianty zasad porównywania wariantów. Jeżeli jednak na ich podstawie pragniemy analizować podejmowanie decyzji, nowe zasady muszą uwzględniać systemy ocen decydenta zainteresowanego wdrożeniem wyniku. Z tego też względu przez cały tok naszej analizy podkreślamy tak mocno rolę decydenta w tworzeniu modelu sytuacji decyzyjnej i zakładamy, że analityk nie może wprowadzać do niego informacji własnych. Jest to istotny element odróżniający problem podejmowania decyzji od poszukiwania rozwiązania zadania programowania matematycznego.



Rysunek 7. Porównywanie cech wariantów

Zasady preferencji R1 i R2 są, mimo wymienionych wad, podstawowymi zasadami w teorii podejmowania decyzji i stanowią bazę wyjściową wszystkich rozważań. Również i w w tej pracy będziemy przyjmować, że w przypadkach, gdy warianty są porównywalne zgodnie z tymi zasadami, nie mogą obowiązywać inne. Innymi słowy, w postępowaniu interaktywnym będziemy starali się określać nowe zasady porównywania jedynie dla wariantów

nieporównywalnych w sensie zasad R1 lub R2. Niekiedy istnieją przesłanki wskazujące na celowość całkowitej rezygnacji z przestrzegania tych zasad. Sugerują to koncepcje ocen stopniowych B. Roy'a⁴⁵ Są to sytuacje niestandardowe, które będziemy bardzo wyraźnie akcentować.

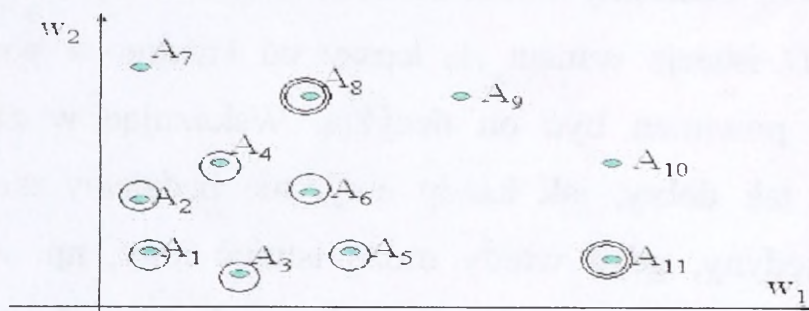
Omówimy teraz podstawowe pojęcia związane z zasadami R1 i R2, a więc przede wszystkim określenia, że A_j jest „lepszy”, „tak samo dobry” lub „co najmniej tak dobry” jak A_i . Dla pierwszego z tych określeń wprowadzimy oznaczenie $A_i \prec A_j$ dla drugiego $A_i \approx A_j$ a dla trzeciego $A_i \triangleleft A_j$. Gdy $A_i \prec A_j$ będziemy mówić, że A_j jest silnie preferowane nad A_i natomiast w przypadku, gdy $A_i \triangleleft A_j$ będziemy mówić po prostu, że A_j jest preferowane nad A_i . W przypadku, gdy $A_i \approx A_j$, będziemy mówić o nierozróżnialności wariantów.

Jeżeli w zbiorze D istnieje wariant A_0 lepszy od każdego z pozostałych, będziemy uznawali, że powinien być on decyzją. Wskazując w zbiorze D wariant A_0 co najmniej tak dobry, jak każdy inny, nie będziemy mogli mieć gwarancji, że jest on jedyny, gdyż wtedy może istnieć inny, np. A_k z nim nierozróżnialny. Z formalnego punktu widzenia zarówno A_0 jak i A_k mogą być proponowane jako decyzje. Zgodnie z przyjętymi tutaj zasadami akt wskazania jednego z nich jako decyzji będzie przywilejem decydenta.

Znaczenie zasad R1 i R2 dla podejmowania decyzji osłabia fakt, że wyróżnienie wariantu lepszego od pozostałych jest możliwe bardzo rzadko. Właściwie można powiedzieć, że zbiór zadań, w których można wyznaczyć decyzje korzystając z tych zasad, jest po prostu nieistotny w porównaniu ze zbiorem zadań, w których ta zasada jest zawodna. Pomimo to rola tych zasad w wyznaczaniu decyzji jest bardzo ważna. Otóż, o ile nie zawsze pozwalają one wskazać decyzję, o tyle pomagają wskazać warianty, które nie powinny być decyzjami. Jeżeli bowiem $A_i \prec A_j$ to nie wiedząc, czy A_j będzie decyzją, wiadomo, że nie powinien nią być wariant A_i i wariant ten można wykluczyć z dalszej analizy. Gdy więc $A_i \prec A_j$ będziemy mówić, że A_i jest silnie zdominowany przez A_j albo że A_j silnie dominuje A_i . Gdy $A_i \triangleleft A_j$ i $A_i \neq A_j$ będziemy mówić, że A_i jest zdominowany przez A_j , albo że A_j dominuje A_i .

⁴⁵ Roy B. Wielokryterialne wspomaganie decyzji. WNT, Warszawa 1990

Przypuśćmy, że z pola decyzyjnego usunęliśmy wszystkie warianty, które były zdominowane przez jakikolwiek inny wariant z pola. Otrzymujemy wtedy pewien podzbiór pola decyzyjnego, który będziemy określali jako pole zredukowane. W szczególnym przypadku po redukcji możemy otrzymać podzbiór jednoelementowy. Taki przypadek będziemy dalej pomijać jako trywialny, a jedyny pozostały po redukcji element będzie oczywiście decyzją. Na rys. zilustrowano przykład pola decyzyjnego zawierającego pierwotnie warianty A_1, \dots, A_{11} , z którego usuwamy najpierw warianty silnie zdominowane A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 i A_6 .



Rysunek 8. Redukcja wariantów zdominowanych

Porównanie wariantów A_8 z A_9 czy A_{10} z A_{11} wskazuje, że A_8 jest zdominowany przez A_9 a A_{11} przez A_{10} . Po usunięciu z pola wariantów zdominowanych pozostają w zredukowanym polu warianty A_7, A_9, A_{10} , które w sensie zasad R1 i R2 są nieporównywalne. Ich podstawową własnością jest to, że każdy z nich ma przynajmniej jedną cechę większą niż dowolny inny wariant. Mamy więc $w_1^7 < w_1^9$ ale $w_2^7 > w_2^9$, $w_1^9 < w_1^{10}$ ale $w_2^9 > w_2^{10}$, $w_1^7 < w_1^{10}$ ale $w_2^7 > w_2^{10}$.

Otrzymany po takiej redukcji zbiór wariantów nieporównywalnych będziemy oznaczać symbolem E. Warianty ze zbioru E będziemy nazywać wariantami sprawnymi. Formalnie wariantem sprawnym jest każdy z wariantów $A_i \in D$, dla którego nie istnieje różny od niego wariant $A_k \in D$ co najmniej tak dobry jak A_i .

Zbiór wariantów sprawnych po raz pierwszy był analizowany przez włoskiego socjologa i ekonomistę V. Pareto. Jego zdaniem każdy z wariantów

sprawnych można uznać jako wariant optymalny dla zadania wyznaczania decyzji, gdy obowiązuje zasada preferencji R2. Rozważania V. Pareto miały wielki wpływ na rozwój pojęcia optymalności i dlatego też oprócz nazwy „wariant sprawny” można spotkać często określenie rozwiązanie optymalne w sensie Pareto lub rozwiązanie paretowskie. Warto zwrócić uwagę na fakt, że w przypadku jednej charakterystyki wyznaczenie zbioru rozwiązań sprawnych jest po prostu wyznaczeniem wariantu o maksymalnej cesze. Pojęcie rozwiązania sprawnego można uważać „za uogólnienie pojęcia wariantu optymalnego.

Pragnąc dalej analizować warianty ze zbioru E , musimy odwołać się do nowych zasad porównywania. Gdy zbiór E jest nieliczny, decydent może samodzielnie dokonać oceny wariantów ze zbioru E i wskazać jeden z nich jako decyzję. Wtedy analityk nie ma nic do powiedzenia i takich sytuacji nie będziemy dalej omawiać. Decydent może jednak potrzebować pomocy analityka, gdy zbiór E jest bardzo liczny lub gdy jest podany nie przez wyliczenie kolejnych wariantów, a jedynie pośrednio za pomocą warunków, jakie mają one spełniać, co uniemożliwia bezpośrednią ich ocenę. Pomoc analityka może polegać na wyróżnieniu pewnego podzbioru wariantów sprawnych „dobrze” reprezentującego cały zbiór, a jednocześnie pozwalającego decydentowi na dokonywanie porównań, oceny i wskazanie decyzji.

Innym wariantem postępowania analityka jest próba formułowania nowych zasad porównywania i oceny wariantów na podstawie informacji dostarczanych przez decydenta, co jest przedmiotem postępowania interaktywnego. Należy przy tym zwrócić uwagę, że nowe zasady mogą odnosić się wyłącznie do zbioru E , a więc stanowić dopełnienie zasad R1 lub R2, albo stanowić ich zastępstwo, czyli mogą odnosić się do całego zbioru D . W tym drugim przypadku oznacza to rezygnację z zasad dominacji i wyróżnianie zbioru rozwiązań sprawnych traci sens. Wyznaczona zgodnie z takimi zasadami decyzja nie musi być zatem sprawna. Jeżeli tak będzie, to tylko na prawach przypadku i brak własności sprawności nie może być traktowany jako zarzut wobec wyznaczonej decyzji.

Wyznaczanie decyzji na podstawie porównywania wariantów łączy się z pewnym uporządkowaniem pola decyzyjnego. Sam cel postępowania nie wymaga od tego uporządkowania zbyt wiele. Jego efektem ma być przecież jedynie wskazanie wariantu, o którym można powiedzieć, że jest lepszy od każdego innego. Natomiast, formalnie rzecz biorąc, zależności między pozostałymi wariantami są w zasadzie nieistotne, o ile w procesie podejmowania decyzji nie ujmujemy takich dodatkowych zagadnień, jak: wyznaczenie decyzji zastępczej, możliwość wystąpienia zmian w opisie sytuacji i w warunkach realizacji decyzji, niepewność informacji itd. Tutaj jednak świadomie pomijamy te aspekty. Ponadto, dzięki założeniu o mierzalności charakterystyk, zasady preferencji mogą być formułowane w kategoriach porównywania wektorów. Wprowadzone zasady R1 i R2 są koniunkcją preferencji wobec poszczególnych charakterystyk. Wynikają stąd określone własności.

Zasada silnej preferencji ma następujące własności:

- 1) przeciwsymetrii: jeżeli $A_i \prec A_j$ to nie $A_j \prec A_i$
- 2) przechodniości: jeżeli $A_i \prec A_j$ i $A_j \prec A_k$ to $A_i \prec A_k$
- 3) przeciwzwrotności: nie zachodzi $A_i \prec A_i$

Własności te są charakterystyczne dla relacji wprowadzających tzw. *silny porządek częściowy*.

W przypadku nierozróżnialności możemy mówić o własnościach:

- 1) zwrotności: $A_i \approx A_i$
- 2) symetrii: jeżeli $A_i \approx A_j$ to $A_j \approx A_i$
- 3) przechodniości: jeżeli $A_i \approx A_j$ i $A_j \approx A_k$ to $A_i \approx A_k$

Są to własności, jakie ma relacja *równoważności*. Relacja ta pozwala pogrupować warianty w klasy jedno- lub wieloelementowe, przy czym dla analizy wystarcza rozpatrywać jeden element danej klasy.

Zasada preferencji R2 ma własności:

- 1) zwrotności: $A_i \triangleleft A_i$
- 2) przechodniości: jeżeli $A_i \triangleleft A_j$ i $A_j \triangleleft A_k$ to $A_i \triangleleft A_k$
- 3) antysymetrii: jeżeli $A_i \triangleleft A_j$ i $A_j \triangleleft A_i$ to $A_i = A_j$ są to własności, jakie ma każda relacja wprowadzająca w zbiorze tzw. *porządek częściowy*.

W sytuacjach gdy zbiór wariantów jest skończony, wyznaczenie i specyfikacja zbioru wariantów sprawnych nie stanowi specjalnego problemu. Zarówno zbiór pierwotny, jak i zbiór wariantów sprawnych występują w trakcie analizy w jawnej postaci przez wyliczenie elementów tych zbiorów. Z tego względu możemy przyjąć, że nasze dalsze rozważania będą dotyczyły wariantów sprawnych. Omawiane metody postępowania mogą być jednak stosowane również wtedy, gdy analizowany jest dowolny zbiór i nie istnieją przesłanki do nadawania priorytetu zasadzie dominacji.

Omawiając ogólnie problemy wyznaczania decyzji, zwracałem uwagę, że w przypadkach standardowych, powtarzalnych sytuacji decyzyjnych preferencje decydenta mogą być ujęte w formę funkcji decyzyjnej, a problem decyzyjny może być sprowadzony do formalnego zadania, na ogół optymalizacyjnego. Jest to przypadek bardzo pożądanym z teoretycznego punktu widzenia. W rzeczywistości musimy jednak uwzględnić sytuacje, kiedy problem decyzyjny nie jest w pełni rozpoznany i proces wyznaczania decyzji jest dla decydenta równocześnie procesem uczenia się. Wyznaczanie decyzji nie w jednym akcie wskazywania wybranego wariantu, lecz w stopniowym precyzowaniu warunków, jakie ma, ona spełniać, pozwala decydentowi mieć kontrolę nad polem decyzyjnym i procesem jego przeglądu. Tym samym mogą być eliminowane wpływy czynników przypadkowych, nieuzasadnione oczekiwania i niewłaściwie formułowane preferencje prowadzące do nietrafnych wyborów decyzji.

Interaktywny proces wyznaczania decyzji nie może być rozumiany jako automatyczne powtarzanie pewnego schematu wnioskowania. Stosowanie pewnej procedury w jednym etapie nie musi oznaczać, że będzie ona użyteczna w następnym, gdyż uzyskane w efekcie jej wykorzystania informacje mogą skorygować preferencje decydenta i uczynić ją nieadekwatną do nowej sytuacji. Fakt ten wymaga specjalnego podkreślenia, ponieważ analizowane w takich sytuacjach algorytmy, przede wszystkim z programowania wielokryterialnego, zdają się sugerować, że końcowy wynik ma być uzyskany w wyniku wielokrotnego powtarzania tego samego schematu wnioskowania. Ma to sens, gdy rozpatrujemy zadanie czysto matematyczne i poszukujemy jego

rozwiązania. Algorytm wyznaczania tego rozwiązania musi mieć własność zbieżności i brak gwarancji, że po odpowiedniej liczbie iteracji otrzymamy rozwiązanie, dyskwalifikuje algorytm. Tym razem powstające zadania optymalizacyjne należy widzieć jako fragment procesu decyzyjnego.

Zmiana perspektywy widzenia łączy się ze zmianą roli tych zadań. Skrótowno można powiedzieć, że udzielają one odpowiedzi na pytanie, jaka może być decyzja, gdy preferencje decydenta przybiorą postać takiej czy innej funkcji decyzyjnej. Jeżeli preferencje są bezdyskusyjne, analityk ma prawo oczekiwać, że rozwiązanie zadania optymalizacyjnego będzie zaakceptowane jako decyzja. Z takim przypadkiem mamy do czynienia wtedy, gdy preferencje odzwierciedlają obiektywne, niezależne od osoby decydenta zasady wartościowania wariantów. W naszej analizie takie przypadki traktujemy jako graniczne, docelowe. Zakładając, że preferencje decydenta będą zawierały elementy subiektywne, wykluczamy z naszych rozważań przypadki, w których wskazanie decyzji jest aktem nie wymagającym pomocy analityka.

Postępowanie interaktywne jest z założenia procesem obiektywizacji rozpoznania sytuacji, gdyż przez dialog mogą być eliminowane subiektywne, indywidualne, niezgodne z obowiązującymi zasadami zachcianki decydenta. Przyjmując więc za punkt wyjściowy istnienie życzeń czy oczekiwań decydenta, analityk w procesie interaktywnym może mu uświadamiać, jakie mogą być konsekwencje jego preferencji i ewentualnie podpowiadać, jak można je zmodyfikować. Stosując terminologię cybernetyczną, możemy powiedzieć, że w proces decyzyjny zostaje wkomponowany element sprzężenia zwrotnego.

Preferencje wiążą się ściśle z celem, jaki decydent pragnie osiągnąć przez podjęcie decyzji.; W naszej prezentacji będziemy zakładać, że decydent w ostrożny sposób określa swój cel i pragnie kolejno:

- a) najpierw wykluczyć warianty, które nie powinny być decyzją,
- b) wyznaczyć podzbiór wariantów satysfakcjonujących,
- c) a spośród tych wyznaczyć decyzję.

Wyróżnienie tych etapów ma charakter umowny i ma służyć jedynie lepszej prezentacji omawianych metod. W praktyce proces wnioskowania może uwzględniać inne postawy decydenta.

Pierwszym etapem zawężania zbioru wariantów jest wyróżnienie w nim zbioru wariantów sprawnych i usunięcie wariantów zdominowanych. Będziemy zakładać, że zbiór wariantów sprawnych jest na tyle liczny, że decydent nie jest w stanie analizować go samodzielnie. Wyznaczana reprezentacja tego zbioru będzie pełnić rolę pomocniczą dla określania zasad dalszego postępowania.

Zgodnie z przyjętą konwencją rozpatrzmy teraz postępowania pozwalające usunąć ze zbioru E te warianty, które nie powinny być brane pod uwagę przy wyznaczaniu decyzji. Niech $E = \{w^1, \dots, w^4\}$ ($w^1 \in \mathbb{R}^n$). Przyjmijmy, że znana jest reprezentacja zbioru E w postaci macierzy P z dołączonymi wektorami v^* i v . Wiadomo, że wektory v^* i v na ogół nie należą do zbioru E i właściwym ich zadaniem jest uświadomienie decydentowi, jakich granic nie mogą przekraczać jego życzenia i jakie powinny być jego minimalne wymagania.

Naturalną formą informacji, jakie warianty będą traktowane jako „złe” i kwalifikujące się do usunięcia, jest podanie minimalnych warunków, jakie powinny spełniać wartości cech. Wstępnej informacji w tym kierunku dostarcza decydentowi wektor v . Korzystając z tej informacji, decydent może określić wektor v (np. $v = v$) i przyjąć, że każdy wariant $w^i \in E$, dla którego $w^i < v$ powinien być pomijany w dalszej analizie. Oznacza to, że zbiór E należy zredukować do zbioru

$$E = \{w^i \mid w^i \in E, w^i > v^i\}$$

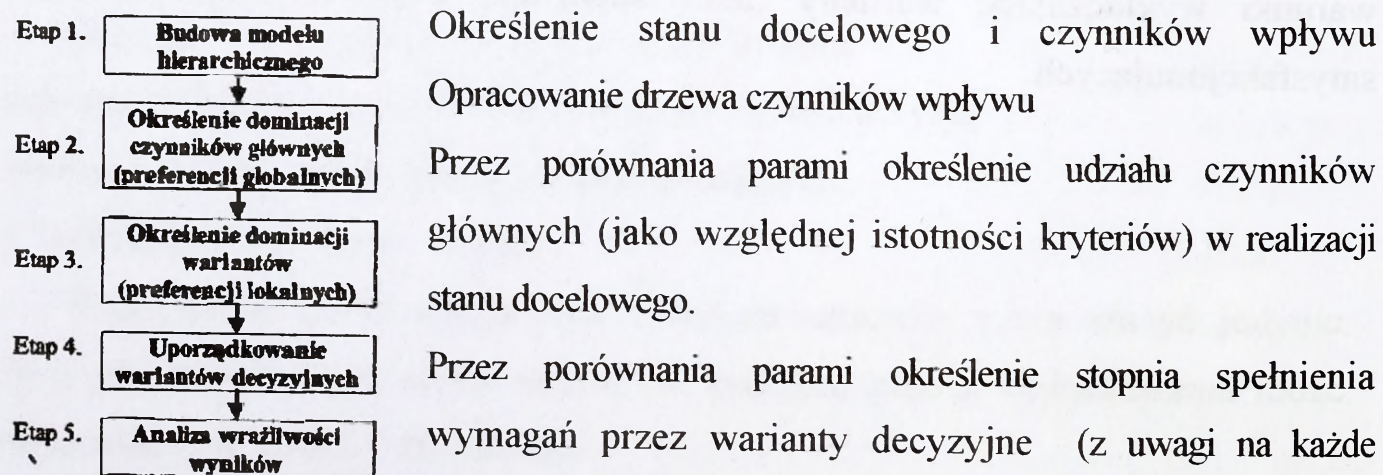
Utworzenie zbioru E nie przedstawia żadnych trudności rachunkowych. Naturalnie po przeprowadzonej redukcji decydent może ocenić, że niezbędne jest dalsze zaostrenie wymagań, a więc zwiększenie wartości składowych wektora v . Stopniowe zwiększanie składowych tego wektora sprawia, że warunki wykluczające warianty „złe” zaczynają odgrywać rolę wymagań satysfakcjonujących.

Zarządzanie ryzykiem w praktyce dowodzenia siłami powietrznymi

Wybór efektywnego wariantu działania lotnictwa

Metoda AHP /Analytic Hierarchy Process/, opracowana przez "L. Saaty'ego wspomaga podejmowanie decyzji w dziedzinie wyborów wielokryterialnych. Przedstawiane w literaturze zastosowania metody dotyczą w większości takich algorytmów tej metody, w których w celu przezwyciężenia braku danych ilościowych i wykorzystania dostępnych informacji opisowych wprowadza się oceny ze specjalnie przyjętej, umownej, sztucznej skali liczbowej. AHP umożliwia decydentowi zmniejszenie obszaru niepewności i zgadywania, pozwala na logiczne powiązanie analizy i intuicji decydenta dla analizowania i przeglądania wszystkich rozważanych wariantów decyzyjnych.. Za pomocą tej metody decydent może uwzględniać tak czynniki mierzalne,(np. ilość samolotów, koszt przewidywanych rozwiązań itp.) jak również może brać pod uwagę czynniki niemierzalne (np. „wiarygodność rozpoznania, trwałość obrony, żywotność itp.) Proponowane podejście dopuszcza występowanie niepewności i pozwala podmiotom decyzyjnym na wielostronną analizę wariantów z uwzględnieniem występujących ograniczeń oraz subiektywnych preferencji

Charakterystyczną cechą proponowanej metody jest to, że pozyskiwanie danych od decydenta jest określane stopniem wzajemnej dominacji rozważanych obiektów (wariantów) ocen przez porównania parami. Rozwiązywanie problemu decyzyjnego z pomocą omawianej metody przebiega w kilku etapach opisanych poniżej,



kryterium po kolei). Wybór wariantu najlepszego i analiza pozostałych. Interpretacja wyników.

Etap 1. Budowa modelu hierarchicznego (drzewo czynników wpływu)

Podmiot decyzyjny dowódca - definiuje problem decyzyjny jako drzewo-hierarchię czynników, na szczycie której znajduje się cel nadrzędny (stan docelowy, do którego dąży, stanowiący rozwiązanie), następnie określa czynniki występujące na niższym poziomie modelu hierarchicznego, które mają silny wpływ na osiągnięcie stanu docelowego. Czynniki te odgrywać będą rolę kryteriów, według których oceniać się będzie dostępne warianty decyzyjne. Gdy drzewo czynników wpływu zostanie już określone, następnie na najniższym poziomie hierarchii drzewa umieszcza się dostępne warianty decyzyjne.

Etap 2. Wprowadzenie ocen dla czynników wpływu przez porównania parami

Decydenta dokonuje serii porównań parami jako ocen dotyczących względnej istotności rozważanych czynników wpływu (kryteriów oceny). Są to tzw. preferencje globalne, które stanowią o udziale każdego z czynników w osiągnięciu rozwiązania rozważanego problemu decyzyjnego.

Może on tego dokonać na kilka sposobów - porównując: werbalnie (jednakowo ważne, niewiele ważniejsze, dużo ważniejsze, znacznie ważniejsze, absolutnie ważniejsze), liczbowo, lub mobilizując podwładnych do opowiedzenia się na temat określonych kryteriów np. przez głosowanie. Poprzez stosowanie porównań parami jako głównej metody oceny, zostaje wyznaczony, stopień dominacji jednego czynnika nad drugim jako miarę siły preferencji decydenta w odniesieniu do rozważanych obiektów (kryteriów, czynników, celów).

Etap 3. Wprowadzenie ocen dla wariantów przez porównania parami

W następnej kolejności podmiot decyzyjny (decydent) dokonuje serii porównań parami jako ocen dotyczących rozważanych wariantów z uwagi na spełnienie wymagań każdego z kryteriów (odpowiadających czynnikom wpływu). Są to tzw. preferencje lokalne, które mówią o udziale każdego z wariantów w osiągnięciu rozwiązania rozważanego problemu decyzyjnego.

Jedną z najważniejszych cech metody jest możliwość kontrolowania obliczania stopnia niespójności (niezgodności) ocen pozyskanych od decydenta. Gdy niespójność ocen wynosi poniżej 10%, użytkownik może obliczyć wskaźniki preferencji dla

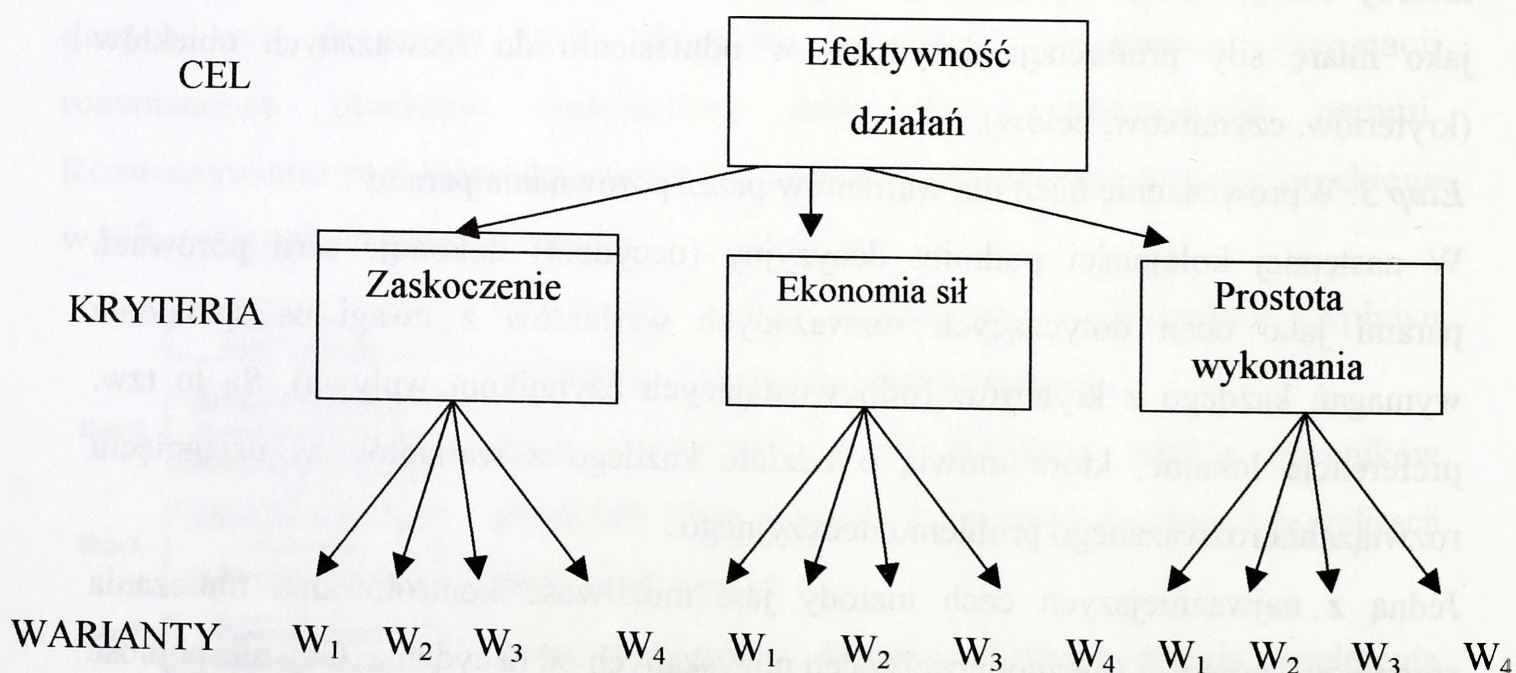
rozważanych obiektów (np. kryteriów) a następnie dla wariantów. Najlepszy wariant to ten, który uzyskał najwyższy wskaźnik preferencji (przewyższania pozostałych wariantów). Gdy niespójność wynosi powyżej 10%, należy powtórzyć zbieranie danych od decydenta aby wykryć, które oceny są niezgodne.

Etap 4. Uporządkowanie wariantów decyzyjnych

W efekcie dzięki metodzie możemy dokonać syntezy wszystkich zebranych danych, aby wyznaczyć ogólny ranking wariantów decyzyjnych, jako wynik końcowy analizy problemu decyzyjnego.

Przedstawiony algorytm zastosowałem do porównawczej oceny trzech wariantów działania lotnictwa (opisywane warianty są wyimaginowane dla potrzeb prezentacji metody i nie należy skupiać się na ich merytorycznej poprawności, równie dobrze można by było dokonać oceny działania wariantów wojsk rakietowych jak i jakichkolwiek innych). Załóżmy, że dokonujemy oceny (*ex ante*) efektywności (a zatem ekonomiczności i skuteczności) działania lotnictwa, którego zadaniem jest zadanie określonych strat obiektowi „A”.

W celu realizacji tego zadania zaplanowano kilka wariantów rozwiązania w_1, w_2, \dots, w_n . Chcąc dokonać oceny przewidywanej jakości działań skonstruowano hierarchiczną strukturę obejmującą kryterium nadrzędne, kryteria cząstkowe i analizowane warianty. Strukturę taką przedstawia rysunek



Rysunek 9. Struktura problemu

Poziom najwyższy zawiera jeden element – cel przewidywanego działania, który został zdekomponowany na trzy elementy na poziomie bezpośrednio niższym. Elementami tymi są „Zaskoczenie”, „Ekonomia sił” i „Prostota wykonania”. Zaproponowane elementy - cechy racjonalnego działania, zaczerpnąłem z prakseologicznej teorii walki (mogą być inne to kwestia wyboru dowódcy – decydenta). Najniższy szczebel prezentowanej struktury obejmuje proponowane warianty działania⁴⁶.

Dla kryteriów znajdujących się na poszczególnych poziomach przedstawionej na schemacie hierarchii wyznaczam macierze porównań⁴⁷ - etap drugi algorytmu.. Brak danych ilościowych, wydawałoby się, że uniemożliwia dokonania takiego porównania dlatego zastosujemy zmienne lingwistyczne:

- 1 pkt. – obie cechy jednakowo ważne;
- 3 pkt. – cecha „i” jest niewiele ważniejsza od cechy „j”;
- 5 pkt. – cecha „i” jest dużo ważniejsza od cechy „j”;
- 7 pkt – cecha „i” jest znacznie ważniejsza od cechy „j”;
- 9 pkt – cecha „i” jest absolutnie ważniejsza od cechy „j”.

W ten sposób nieprecyzyjne określenia werbalne zostają zastąpione ścisłymi wartościami liczbowymi w celu „dopasowania” problemu odznaczającego się opisowym charakterem informacji do modelu ilościowego, dla którego istnieją techniki rozwiązywania problemów.

Na podstawie przeprowadzonych analiz sytuacji, poprzez porównanie parami, określamy relatywną dominację jednego kryterium nad drugim.

<i>Kryterium</i>	<i>Zaskoczenie</i>	<i>Ekonomia</i>	<i>Pr ostota</i>
<i>Zaskoczenie</i>	1/1	1/2	3/1
<i>Ekonomia</i>	2/1	1/1	5/1
<i>Pr ostota</i>	1/3	1/5	1/1

Po przekształceniu utworzonej macierzy otrzymujemy wagi poszczególnych kryteriów

⁴⁶ Dla skrócenia i prostoty wywodu nie wnikam w merytoryczne uwarunkowania proponowanych rozwiązań

⁴⁷ Kryteria mogą być stopniowalne np. na kryterium „Ekonomia sił” może składać się kilka innych, które swoim zakresem uszczegóławiają jego treść – „liczba samolotów biorących udział w nalocie”, „warianty uzbrojenia poszczególnych samolotów” czy „koszt zastosowanych środków uzbrojenia w stosunku do oczekiwanych rezultatów uderzenia”

$$\begin{pmatrix} 1 & 0.5 & 3 \\ 2 & 1 & 5 \\ 0.33 & 0.2 & 1 \end{pmatrix}^2 = \begin{pmatrix} 3.00 & 1.75 & 8 \\ 5.33 & 3.00 & 14.00 \\ 1.16 & 0.67 & 3.00 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 12.75 \\ 22.33 \\ 4.83 \end{pmatrix}$$

Zaskoczenie	0.319
Ekonomia	0.559
Prostota działań	0.122
	39.92
	1.00

Następnie porównujemy parami warianty działania ze względu na spełnienie poszczególnych kryteriów.

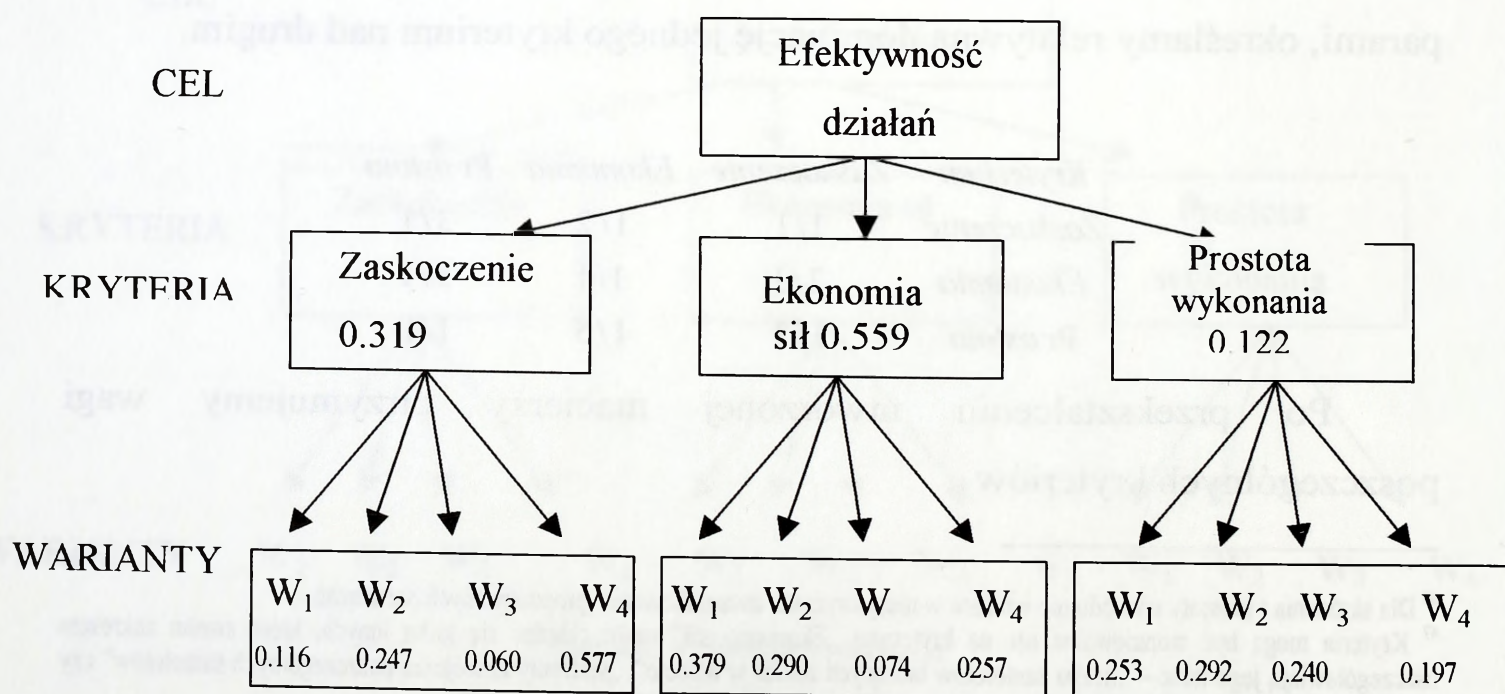
Kryterium „Zaskoczenie”

Warianty	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
R ₁	1/1	1/5	5/1	1/7
R ₂	5/1	1/1	5/1	1/3
R ₃	1/5	1/5	1/1	1/5
R ₄	7/1	3/1	5/1	1/1

Kryterium „Ekonomia sił”

Warianty	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
R ₁	1/1	3/1	5/1	1/1
R ₂	1/3	1/1	3/1	3/1
R ₃	1/5	1/3	1/1	1/5
R ₄	1/1	1/3	5/1	1/1

Analogicznie dla kryterium „Prostota działań”. W rezultacie obliczeń otrzymujemy uporządkowanie wariantów.



Dla każdego elementu przedstawionych macierzy zostały obliczone wagi, które teraz pozwolą uporządkować warianty według maksymalnej sumy użyteczności zgodnie z zasadą

$$U_1 = w_1 Z_1 + w_2 E_1 + w_3 P_1$$

$$U_2 = w_1 Z_2 + w_2 E_2 + w_3 P_2$$

$$U_3 = w_1 Z_3 + w_2 E_3 + w_3 P_3$$

$$U_4 = w_1 Z_4 + w_2 E_4 + w_3 P_4$$

gdzie: U_1, U_2, U_3, U_4 – Użyteczność wariantów 1,2,3,4.;

w_1, w_2, w_3 , - preferencje globalne wagi kryteriów;

Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 ; E_1, E_2, E_3, E_4 ; P_1, P_2, P_3, P_4 – wagi wariantów ze względu na poszczególne kryteria.

	Z	E	P	
W_1 W_2 W_3	0.116	0.379	0.253	$\times \begin{pmatrix} 0.319 \\ 0.559 \\ 0.122 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.279 \\ 0.276 \\ 0.092 \\ 0.353 \end{pmatrix}$
0.247	0.290	0.292		
0.060	0.074	0.240		
0.577	0.257	0.215		

Uzyskany ostatecznie wynik wskazuje, że najlepszym w danej sytuacji, dla przyjętych kryteriów, jest wariant W_4 – uzyskał najwyższą ocenę. Wariant ten został najwyżej oceniony mimo, że pod względem „Ekonomii sił” i „Prostoty działań” uzyskał oceny niższe niż wariant pierwszy i drugi. Wariant ten miał jednak zdecydowaną przewagę pod względem „Zaskoczenia” i mimo to, że nie było to kryterium najwyżej cenione przez decydenta, okazał się lepszy niż pozostałe.

Przedstawiona metoda ma wiele modyfikacji i uaktualnień ale dla potrzeb dyskusji starałem się przedstawić ją w najprostszej formie. Pewne odmiany oparte są o elementy rachunku zbiorów rozmytych co znacznie poprawia jej wiarygodność ale za razem zdecydowanie komplikuje. Uważam, że dla potrzeb praktycznych metoda ta może spełniać oczekiwania decydentów. Jest użyteczna do rozwiązywania tych problemów wielokryterialnych analizy porównawczej, które charakteryzują się danymi ilościowymi i jakościowymi oraz pewnymi ocenami względnymi wynikającymi z preferencji decydenta.

Wybór ugrupowania bojowego wojsk obrony powietrznej

Przyjmijmy pewną sytuację początkową $S(t_0)$, z której wynika, że przeciwnik dysponując przewagą sił uzyskał lokalną przewagę w powietrzu. Z oceny jego działań, jak i aktualnych możliwości wynika, że może on wykonać uderzenie lotnicze (urzutowane lub ześrodkowane) z kilku różnych kierunków. W związku z zaistniałą sytuacją stoimy przed problemem zaplanowania obrony powietrznej.

Ocena możliwości przeciwnika oraz prawdopodobnych wariantów jego działania przy zastosowaniu modelu symulacyjnego pozwala nam odpowiedzieć na pytanie dotyczące prawdopodobnego rozwoju sytuacji bojowej.

Przeprowadzone symulacje wariantów uderzeń ŚNP pozwalają na zebranie materiału pozwalającego na skonstruowanie macierzy decyzyjnej (tabela A).

Ocena alternatywnych rozwiązań ugrupowania bojowego WOP, w procesie podejmowania decyzji, powinna objąć:

- porównanie celów, jakie można osiągnąć realizując daną alternatywę z celami założonymi;
- ocenę alternatywnych rozwiązań według przyjętych kryteriów oraz ustalenie pozytywnych i negatywnych skutków każdego rozwiązania;
- porównanie wyników oceny poszczególnych alternatyw i wybór rozwiązania do realizacji.

Uzyskane z symulacji wyniki mogą mieć różne wartości ze względu na charakter przyjętych kryteriów.

W zaproponowanym zbiorze wariantów nie wyróżniam żadnego wariantu bazowego i lokalnie każdy wariant traktuję jako wariant odniesienia. Przyjmując A_i jako wariant odniesienia będę sprawdzać, czy istnieją przesłanki, aby uznać go za mający przewagę nad każdym z pozostałych wariantów. Przesłanki potwierdzające to przypuszczenie będą wykorzystane do konstrukcji wskaźników zgodności, natomiast zaprzeczające temu przypuszczeniu pomogą utworzyć wskaźniki niezgodności. Wskaźniki

zgodności i niezgodności po zagregowaniu dadzą wskaźniki przewagi danego wariantu nad pozostałymi.

Metodykę oceny wariantów rozwiązań przeprowadziłem na przykładzie liczbowym. Oceniając warianty rozwiązań przyjąłem następujące kryteria:

- ukompletowanie stanu osobowego po uderzeniach ŚNP (k_1);
- ukompletowanie techniki bojowej OP po uderzeniach ŚNP (k_2);
- ilość zużytych rakiet i amunicji na jeden zniszczony ŚNP (k_3);
- wskaźnik efektywności (k_4);
- potencjał bojowy osłanianego obiektu po uderzeniach ŚNP (k_5);
- liczba zniszczonych ŚNP (k_6);
- liczba zniszczonych - szczególnie pożądanych ŚNP (k_7);
- liczba oddziaływań środków OP w czasie odpierania uderzenia (k_8);
- procentowy wskaźnik zużycia amunicji do odparcia uderzenia ŚNP (k_9).

Przyjąłem, że wagi poszczególnych kryteriów g_1, \dots, g_m są unormowane i żadna z nich nie jest równa zero, a więc:

$$g_j > 0, \quad j = 1, \dots, m, \quad \sum_{j=1}^m g_j = 1$$

Następnie wyznaczamy wskaźniki zgodności c_{ij} , które będą bazować na przesłankach wskazujących, że wariant A_i ma przewagę nad wariantem A_j . W tym celu analizę przeprowadzam dla wszystkich wariantów A_i ($i = 1, \dots, n$). Kolejno dla każdego wariantu A_i ($i = 1, \dots, n, j \neq i$) wyznaczam zbiór wskaźników tych cech które świadczą, że A_i jest co najmniej tak dobre jak A_j :

$$C_{i,j} = \{k \mid A_k^i \geq A_k^j\}$$

Gdy $C_{i,j} = \emptyset$ i $i \neq j$, przyjmujemy $C_{i,j} = \emptyset$, przy czym dla $i = j$ przyjmujemy $C_{i,j} = \emptyset$. Co należy rozumieć jako zbiór elementów k , takich dla których spełniona jest nierówność, że k -ty element wariantu A_i jest większy lub równy od elementu k wariantu A_j . Następnie każdemu zbiorowi $C_{i,j}$ przyporządkowuję liczbę $c_{i,j}$, którą nazywam wskaźnikiem zgodności:

$$c_{i,j} = \sum_{k \in C_{i,j}} g_k$$

Z zapisu wynika, iż $c_{i,j}$ jest sumą wag tych elementów, które zostały zakwalifikowane do zbioru $C_{i,j}$. Dla $C_{i,j}$ nie określam tych wskaźników i

oznaczę $c_{i,i} = *$. (* - oznacza brak wyniku porównania jest to logiczne gdyż nie porównuje się wariantów samych z sobą). Dla każdego wariantu A_i ($i = 1, \dots, n$) otrzymałem więc ciąg liczb $c_{i,1}, \dots, c_{i,n}$, przy czym $c_{i,i} = *$. Wskaźniki zgodności grupuję w macierz C :

$$C = \begin{bmatrix} * & c_{1,2} & \dots & c_{1,n} \\ c_{2,1} & * & \dots & c_{2,n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ c_{n,1} & c_{n,2} & \dots & * \end{bmatrix}$$

Przystępuję do analizy informacji nie potwierdzających przewagi A_i nad A_j i na ich podstawie wyznaczam wskaźnik niezgodności. Dla każdego wariantu A_i ($i = 1, \dots, n, j = i$) wyznaczam zbiór wskaźników tych cech, dla których wariant A_i jest gorszy od A_j .

$$D_{i,j} = \{k \mid A_k^i \langle A_k^j\}$$

Dla $i = j$ przyjmujemy $D_{i,i} = \emptyset$. $D_{i,j}$ jest zbiorem k elementów dla których został spełniony warunek, iż k -ty element wariantu A_i jest mniejszy od k -tego elementu wariantu A_j . Następnie każdemu zbiorowi $D_{i,j}$ przyporządkowujemy liczbę $d_{i,j}$, którą będziemy nazywać wskaźnikiem niezgodności:

$$d_{i,j} = \max_{k \in D_{i,j}} \frac{|A_k^i - A_k^j|}{d_k^{\max}}$$

gdzie:

$$d_k^{\max} = \max_{i,j} \{ |w_k^i - w_k^j| \}$$

Gdy $D = \emptyset$ i $i \neq j$, przyjmujemy $d_{i,j} = 0$. Dla $D_{i,i}$ podobnie jak dla $C_{i,i}$ nie określam wskaźników niezgodności, co będę zapisywać $d_{i,i} = *$. Wskaźniki niezgodności grupuję w macierz D :

$$D = \begin{bmatrix} * & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & * & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & d_{m2} & \dots & d_{mn} \end{bmatrix}$$

W celu uzyskania informacji o przewadze poszczególnych wariantów wskaźniki zgodności i niezgodności agreguję w wskaźniki przewagi. W konstrukcji wskaźników przewagi zostały uwzględnione różne aspekty

analizowanej sytuacji. Z zasady przyjmuje się, że wskaźnik zgodności c_{ij} wskazuje na przewagę wariantu A_i nad A_j dopiero wtedy, gdy przekracza pewną wartość progową $p > 0$, przy czym wskaźnik niezgodności nie powinien być większy od innej wartości progowej $s > 0$. Określenie wartości progowych jest zadaniem decydenta, który przez ich wprowadzenie odzwierciedla swoje przesłanki rozróżnialności wariantów. Decydent określa wartości progowe p i s ($0 < p < 1$, $0 < s < 1$). Na podstawie tych wartości tworzymy macierz wskaźników przewagi $R = [r_{ij}]$, w której:

$$r_{i,j} = \begin{cases} *, & \text{dla } i = j, \\ 1, & \text{gdy } c_{i,j} \geq p \text{ i } d_{i,j} \geq s, \\ 0, & \text{w pozostałych przypadkach.} \end{cases}$$

W i -tym wierszu macierzy R odczytuję, jaka jest ocena wariantu A_i względem pozostałych wariantów. Gdy $r_{ij} = 1$, wówczas A_i ma przewagę nad A_j . W przypadku gdy $r_{ij} = 0$, nie ma wystarczających przesłanek, ażeby utrzymywać, że A_i ma przewagę nad A_j .

Na podstawie danych uzyskanych z eksperymentu symulacyjnego można zestawić według poszczególnych kryteriów macierz wyników. (Tabela A)

Praktycznie wyznaczenie macierzy C i D bez pomocy komputera jest czynnością bardzo żmudną już w tak trywialnym przykładzie. Dlatego też jedynie dla zademonstrowania zasad postępowania przedstawię gotowe wyniki tych wyliczeń. Wagi poszczególnych kryteriów zostały przedstawione w tabeli, odzwierciedlają preferencje decydenta:

- wykonać zadanie (minimalne straty potencjału osłanianego obiektu - k5);
- zniszczyć największą liczbę ŚNP szczególnie pożądanych - k7 ;
- zachować żywotność własnego systemu OP (k1 , k2);
- zachować zasadę ekonomii sił i ekonomiki walki (najlepszy współczynnik efektywności - k4);
- ograniczone zużycie amunicji plot na zniszczenie jednego celu k3 k6, k8, k9.

Tabela A . Macierz decyzyjna opisywanego przykładu

Warianty	Kryteria								
	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	k ₇	k ₈	k ₉
A ₁	99	92	0.41	18	88.5	17	12	238	0.1
A ₂	98	92	0.30	17	88.5	16	11	200	0.069
A ₃	97	89	0.32	15.9	87.7	15	11	197	0.069
A ₄	98	91	0.26	22.7	88.3	25	14	301	0.094
A ₅	98	91	0.23	21.8	88.3	24	13	283	0.077
A ₆	98	85	0.23	20.9	87.0	23	12	274	0.076
Wagi	0.14	0.14	0.06	0.06	0.16	0.12	0.16	0.09	0.07

Pełna macierz C ma postać:

$$C = \begin{bmatrix} * & 1.00 & 1.00 & 0.57 & 0.57 & 0.73 \\ 0.3 & * & 0.95 & 0.50 & 0.50 & 0.50 \\ 0.00 & 0.29 & * & 0.05 & 0.05 & 0.50 \\ 0.43 & 0.64 & 0.95 & * & 1.00 & 1.00 \\ 0.43 & 0.64 & 0.95 & 0.45 & * & 1.00 \\ 0.43 & 0.50 & 0.50 & 0.00 & 0.05 & * \end{bmatrix}$$

Macierzy D natomiast:

$$D = \begin{bmatrix} * & 0.00 & 0.00 & 0.8 & 0.7 & 0.6 \\ 1.00 & * & 0.11 & 1.00 & 0.8 & 0.71 \\ 1.00 & 0.53 & * & 1.00 & 0.9 & 0.8 \\ 0.83 & 0.22 & 0.33 & * & 0.00 & 0.00 \\ 1.00 & 0.39 & 0.50 & 0.55 & * & 0.00 \\ 1.00 & 1.00 & 0.57 & 0.87 & 0.87 & * \end{bmatrix}$$

Przyjąłem, że decydent określił następujące wielkości progowe $p = 0.9$ i $s = 0.1$ i otrzymałem następującą macierz przewagi R :

$$R = \begin{bmatrix} * & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & * & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & * & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & * & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & * & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & * \end{bmatrix}$$

Wskaźniki w i -tej kolumnie wskazują, czy poszczególne warianty mają przewagę nad A_i , natomiast wskaźniki w i -tym wierszu informują nas, czy wariant A_i ma przewagę nad pozostałymi. Z macierzy R odczytujemy więc, że

A_1 ma przewagę nad A_2 i A_3 , A_4 nad A_5 i A_6 , a A_5 nad A_6 . Nad wariantami A_1 i A_4 nie ma przewagi żaden wariant.

Zasady konstrukcji wskaźników przewagi wskazują, że warianty A_2 , A_3 i A_6 , A_4 kwalifikują się do usunięcia z dalszej analizy. Pozostają natomiast warianty A_1 i A_4 , z których żaden nie przeważa drugiego.

Wartość każdego wskaźnika przewagi zależy od odpowiedniego wskaźnika zgodności i niezgodności oraz przyjętych przez decydenta wartości progowych. Na wskaźnik zgodności decydent ma wpływ przez ustalenie wag dla charakterystyk. Wskaźniki niezgodności natomiast nie zależą od decydenta. Zmianę wskaźników przewagi można uzyskać przez wprowadzenie nowych wag i nowych wartości progowych. Jednakże wpływ wag jest stosunkowo niewielki i dopiero istotne ich zmiany modyfikują wskaźniki przewagi.

Każda z metod, która prowadzi do redukcji zbioru wariantów czy ich uporządkowania, może być zastosowana do wyznaczania decyzji (wyboru). Prezentując wyżej omawianą metodę pragnęłam jedynie pokazać pewną kolejność dochodzenia do wskazania decyzji przez stopniowe eliminowanie wariantów "złych", wyznaczanie wariantów satysfakcjonujących i ewentualne ich porządkowanie.

Przedstawiona metoda pozwoliła na wyselekcjonowanie zbioru wariantów satysfakcjonujących i dotychczasowe przesłanki nie tylko nie sugerują odrzucenia żadnego z nich, lecz dopuszczają dwa z nich jako najbardziej zbliżone do decyzji (A_1 , A_4).

W dalszej analizie przedstawionego przykładu zastosuję metodę wykorzystującą do tworzenia funkcji decyzyjnej (kryterium wyboru) pojęcie odległości lub normy wektora. Do wyznaczenia decyzji wybieram pewien punkt odniesienia i obliczam odległość poszczególnych wariantów od tego punktu.

Jako punkt odniesienia wyznaczamy wektor optymistyczny A^* i pesymistyczny A° :

$$A^* = \max_i \{A_k^i | A_i \in E\}$$

$$A^\circ = \min_i \{A_k^i | A_i \in E\}$$

gdzie: E - zbiór wariantów sprawnych $E = \{A_1, \dots, A_m\}$, $A_i \in \mathbb{R}^m$.

Liczba:

$$d_p^*(A_i) = \left(\sum_{j=1}^m t_j |A_i - A^*|^p \right)^{\frac{1}{p}}$$

określa odległość wariantu A_i od wariantu optymistycznego A^* . Wydaje się racjonalne poszukiwanie takiego wariantu A_k , dla którego:

$$d_p^*(A_k) = \min_i d_p^*(A_i)$$

a więc wariantu najbliższego A^* .

Liczba:

$$d_p^\circ(A_i) = \left(\sum_{j=1}^m t_j |A_i - A^\circ|^p \right)^{\frac{1}{p}}$$

określa odległość wariantu A_i od wariantu pesymistycznego A° . W tym wypadku racjonalne jest poszukiwanie wariantu A_1 , dla którego:

$$d_p^\circ(A_1) = \max_i d_p^\circ(A_i)$$

czyli wariantu leżącego najdalej od A° .

Dla prezentowanego przykładu obliczenia zawiera tabela *B*.

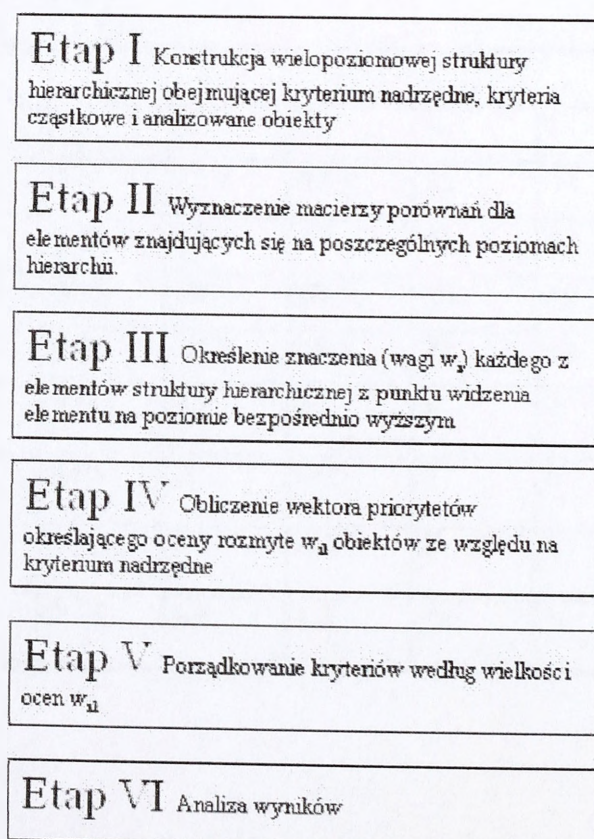
Tabela B. Zestawienie wyników

Warianty	Kryteria								
	k ₁	k ₂	k ₃	k ₄	k ₅	k ₆	k ₇	k ₈	k ₉
A^*	99	92	0.23	22.7	88.5	25	14	301	0.069
A°	96	85	0.41	15.9	87	15	11	197	0.1
A_1	99	92	0.41	18	88.5	17	12	238	0.1
A_4	98	91	0.26	22.7	88.3	25	14	301	0.094
$d_p^*(A_1)$	0	0	0.18	4.7	0	8	2	63	0.031
$d_p^*(A_4)$	1	1	0.03	0	0.2	0	0	0	0.013
$d_p^\circ(A_1)$	3	7	0	2.1	1.5	2	1	41	0.0
$d_p^\circ(A_4)$	2	6	0.15	6.8	1.3	10	3	104	0.06

Z przeprowadzonej analizy wynika iż najbliższym wektora optymistycznego jest wariant A_4 i on również jest najbardziej oddalony od wariantu pesymistycznego, czyli jest wariantem najlepszym i jego należy wprowadzać w życie. W ten sposób etapowa analiza sytuacji pozwoliła powziąć uzasadnioną decyzję o ugrupowaniu wojsk OP, uwzględniającą możliwe i prawdopodobne warianty działania zarówno ŚNP przeciwnika jak i wojsk OP. Jest to przykład powzięcia decyzji w warunkach ryzyka i niepewności wynikających z dynamicznych zmian stanów systemu, wymagających od podejmującego decyzję dużej inicjatywy. Polega ona na stałej ocenie zaistniałej sytuacji, przewidywaniu rozwoju sytuacji w różnych warunkach, dokonaniu częstych porównań i wyboru możliwych rozwiązań. Porównując warianty rozwiązań, przy uwzględnieniu wielu kryteriów ocenowych, do rzadkości należy sytuacja, gdy istnieje wariant rozwiązania pod każdym względem korzystniejszy od pozostałych.

Wykorzystanie ocen rozmytych w hierarchicznej analizie problemów

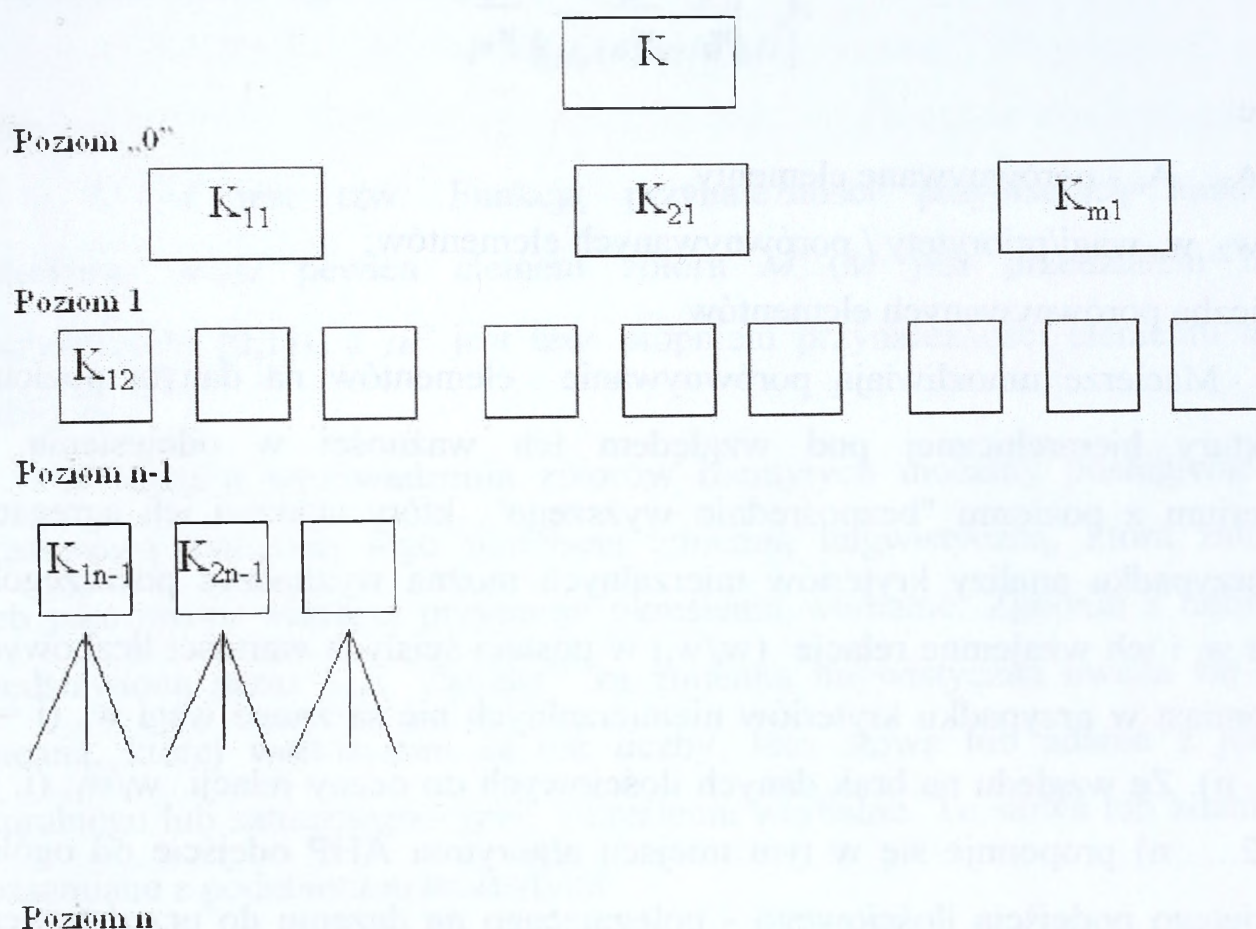
Jak mogliśmy się wcześniej przekonać metoda AHP wspomaga podejmowanie decyzji w dziedzinie wyborów wielokryterialnych.. Przedstawiane w poprzednich rozdziałach zastosowania metody dotyczyły przewyciężenia braku danych ilościowych i wykorzystania dostępnych informacji opisowych oraz pozwoliła na wprowadzenie ocen lingwistycznych. Jednakże, jak podkreśla się w literaturze stosowanie takiego podejścia do problemów odznaczających się opisowym charakterem i trudnych do określenia w sposób ścisły nie zawsze daje miarodajne i wiarygodne wyniki. Kończąc rozważania na temat ryzyka i podejmowania decyzji w trudnych warunkach jakie stwarza użycie sił powietrznych chciałbym przedstawić zmodyfikowane podejście do opisywanej metody, w którym dzięki zastosowaniu aparatu pojęciowego i matematycznego teorii zbiorów rozmytych staje się możliwe bezpośrednie operowanie na różnego rodzaju nieprecyzyjnych danych opisowych bez potrzeby posiadania precyzyjnych danych ilościowych. Algorytm tego podejścia przedstawia rysunek.



Rysunek 10. Algorytm metody AHP

Kolejność etapów oraz zakres każdego są zgodne z postępowaniem w metodzie AHP. Ich treść i sposób realizacji wynikają z dostosowania ogólnego schematu postępowania przedstawionego w poprzednim rozdziale

Zgodnie z przedstawionym na rysunku postępowaniem etap 1 algorytmu polega na skonstruowaniu wielopoziomowej struktury hierarchicznej, obejmującej kryterium nadrzędne, kryteria cząstkowe i analizowane obiekty. Ogólną postać struktury hierarchicznej przedstawia rysunek.



Rysunek 11. hierarchiczna struktura problemu

Poziom najwyższy tej struktury zawiera jeden element kryterium nadrzędne – cel działania, który jest dekomponowany na kilka elementów /kryteriów cząstkowych/ na poziomie bezpośrednio niższym. Z kolei każdy element z tego poziomu dzieli się na kilka elementów poziomu następnego itd. Na najniższym poziomie struktury hierarchicznej umieszczono - analizowane obiekty (warianty działania). Powstały w ten sposób układ hierarchiczny pozwala skupić się na stosunkowo niewielkiej liczbie elementów na każdym poziomie i przezwyciężyć problem złożoności kryterium nadrzędnego.

W celu analizy kryteriów, umieszczanych na różnych poziomach struktury hierarchicznej, proponuje się wyznaczanie macierzy porównań w postaci:

	A_1	A_2	...	A_n
A_1	w_1	w_1	...	w_1
A_2	w_1	w_2	...	w_n
...	w_2	w_2	...	w_2
A_n	w_1	w_2	...	w_n
	
	w_n	w_n	...	w_n
	w_1	w_2	...	w_n

gdzie:

A_1, A_2, \dots, A_n - porównywane elementy,

w_1, w_2, w_n wagi/priorytety / porównywanych elementów;

n - liczba porównywanych elementów

Macierze umożliwiają porównywanie elementów na danym poziomie struktury hierarchicznej pod względem ich ważności w odniesieniu do kryterium z poziomu "bezpośrednio wyższego", który stanowi ich agregację. W przypadku analizy kryteriów mierzalnych można wyznaczyć poszczególne wagi w_i i ich wzajemne relacje (w_i/w_j) w postaci ścisłych wartości liczbowych. Natomiast w przypadku kryteriów niemierzalnych nie są znane wagi w_i . ($i = 1, 2, \dots, n$). Ze względu na brak danych ilościowych do oceny relacji w_i/w_j ($i, j = 1, 2, \dots, n$) proponuje się w tym miejscu algorytmu AHP odejście od ogólnie przyjętego podejścia ilościowego - polegającego na dążeniu do przedstawienia relacji w_i/w_j ($i, j = 1, 2, \dots, n$); w postaci liczbowej przez wprowadzenie ocen ze skali punktowej i zastosowanie podejścia lingwistycznego opartego na teorii zbiorów rozmytych⁴⁸

Przy próbach modelowania systemów, w których skład wchodzi ludzie, spotykamy się z dużym stopniem niejednoznaczności. Chodzi o to, że w trakcie tworzenia scenariuszy związanych z opisem działania sił powietrznych należy ustosunkować się do określeń – lepszy, gorszy, trwalszy dużo, mało, ekonomiczniej, efektywnie itp. Matematyka „klasyczna” jest tu mało użyteczna, oparta jest bowiem na założeniu istnienia dychotomii: dany element

⁴⁸ Zadeh L.A. The Concept of Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning. Elsevier, New York 1973

należy do określonego zbioru lub do tego zbioru nie należy. Pojęcie zbioru rozmytego jest uogólnieniem klasycznego ujęcia. Uogólnienie to polega na uwzględnieniu możliwości występowania sytuacji, w której elementy mogą mieć różny stopień przynależności, między całkowitą przynależnością i nieprzynależnością do zbioru.

Formalnie określa się, że podzbiorem rozmytym F pewnego zbioru $U = \{u\}$ (lub równoważnie zbiorem rozmytym F określonym na przestrzeni U lub obszarze rozważań U), $F \subset U$, jest zbiór par:

$$F = \{(\mu_F(u), u) / u \in U\}$$

gdzie:

$\mu_F : U \rightarrow M$ jest tzw. funkcją przynależności przypisującą każdemu elementowi $u \in U$ pewien element zbioru M (M jest przedziałem liczb rzeczywistych: $[0,1]$), a μ_F jest tzw. stopniem przynależności elementu $u \in U$ w zbiorze F .

W wyniku wprowadzenia zbiorów rozmytych możemy posługiwać się podstawową kategorią tego podejścia zmienną lingwistyczną, która zamiast liczb jako swoje wartości przyjmuje określenia werbalne. Zgodnie z definicją przedstawioną przez L.A. Zadeha⁴⁹ za zmienną lingwistyczną uważa się taką zmienną, której wartościami są nie liczby, lecz słowa lub zdania z języka naturalnego lub sztucznego - tzw. określenia werbalne. Te słowa lub zdania są utożsamiane z podzbiorem rozmytymi

Formalnie zmienną lingwistyczną definiuje się jako piątkę: $L, T(L), U, G, M$), gdzie: L - nazwa zmiennej; $T(L)$ - zbiór terminów zmiennej lingwistycznej L , tj. zbiór jej wartości ściśle nazw tych wartości), będących odpowiednimi rozmytymi podzbiorem obszaru rozważań U ; U - obszar rozważań, tj. zbiór nierozmyty $U = \{u\}$; G - reguła syntaktyczna generująca wartości danej zmiennej lingwistycznej, tj. elementy zbioru T ; M - reguła semantyczna, łącząca z każdą wartością danej zmiennej lingwistycznej jej znaczenie - treść.

⁴⁹ Zadeh F. The Analytic Hierarchy Process - a Survey of the Method and its Applications, "Interfaces" 1986

Zastosowanie podejścia lingwistycznego w odniesieniu do oceny relacji w_i/w_j pozwala użyć do ich opisu zmiennych lingwistycznych zamiast zmiennych numerycznych. Elementy w_i/w_j macierzy porównań są w takim przypadku wartościami zmiennych lingwistycznych, a więc z definicji zmiennej lingwistycznej – określeniami werbalnymi. Zdefiniowanie znaczenia, tzn. treści tych określeń werbalnych w sensie semantycznym, może być przeprowadzone przy użyciu odpowiednich, reprezentujących je zbiorów rozmytych.

W tym celu niezbędne jest określenie postaci zbiorów rozmytych odpowiadających wartościom zmiennych lingwistycznych które przyjęto do opisu. Na przykład dla zmiennych lingwistycznych do oceny ważności danego kryterium w stosunku do kryterium innego z punktu widzenia kryterium z poziomu bezpośrednio wyższego mogą to być zbiory rozmyte odpowiadające terminom: jednakowo ważne, niewiele ważniejsze, dużo ważniejsze, znacznie ważniejsze, absolutnie ważniejsze.⁵⁰

Wyznaczenie zbiorów rozmytych, reprezentujących stosowane w danym przypadku wartości zmiennej lingwistycznej może odbywać się w oparciu o autorytet decydenta (dowódcy) lub przy wykorzystaniu technik oceny analityka - ekspertów (wykorzystanie wiedzy oficerów sztabu). Każdemu elementowi obszaru rozważań jest przyporządkowana konkretna wartość funkcji przynależności przez obliczenie rozmytej wartości oczekiwanej ocen wybranych przez ekspertów z zaproponowanej skali punktowej. Jako technikę uzupełniającą proponuję się przeprowadzanie głosowania w grupie ekspertów (oficerów sztabu reprezentujących poszczególne specjalności rodzajów wojsk). Stopień przynależności jest wówczas interpretowany jako wyrażający względny udział w grupie tej liczby osób, która akceptuje określoną wielkość

⁵⁰ Określeniom werbalnym; jednakowo ważne, niewiele ważniejsze, dużo ważniejsze, znacznie ważniejsze, absolutnie ważniejsze T.L. Saaty przyporządkowuje oceny według następującej skali punktowej

1 - obie cechy są jednakowo ważne,

3 - cecha i jest niewiele ważniejsza od cechy j,

5 - cecha i jest dużo ważniejsza od cechy j,

7 - cecha i jest znacznie ważniejsza od cechy j.

9 - cecha i jest absolutnie ważniejsza od cechy j

W ten sposób nieprecyzyjne określenia werbalne zostają zastąpione ścisłymi wartościami liczbowymi w celu "dopasowania problemu odznaczającego się opisowym charakterem informacji do modelu ilościowego, dla którego istnieją techniki rozwiązywania problemów. Takie dopasowywanie rzeczywistych problemów do sytuacji modelowych powoduje, że rozwiązując inny problem niż rzeczywisty, nie uzyskuje się zadowalających wyników.

nośnika zbioru rozmytego. Wystarczy za pomocą opisanych technik wyznaczyć zbiory rozmyte odpowiadające terminom pierwotnym zmiennej lingwistycznej. Po wyznaczeniu tych zbiorów określających znaczenie terminów pierwotnych oraz przyjęciu określonego sposobu działania negacji (nie), spójników (i / lub) i pojęć dodatkowych (np. bardzo, nieco mniej niż, nieco więcej niż, mniej więcej) można określać znaczenie terminów pochodnych - bardziej złożonych, składających się z wymienionych elementów.

Zgodnie z definicjami podanymi przez L.A. Zadeha i po założeniu, że F , i G są zbiorami rozmytymi, definiującymi terminy pierwotne zmiennej lingwistycznej, działanie negacji, spójników i pojęć dodatkowych jest następujące:

1) nie $F = F^{-1}$, gdzie F^{-1} jest dopełnieniem zbioru rozmytego $F \subset U$, określanym jako zbiór rozmyty w U taki, że:

$$F^{-1} = 1 - \mu_F(u) \quad \text{dla } u \in U$$

2) F i $G = F \cap G$, gdzie: $F \cap G$ jest przecięciem (iloczynem logicznym) dwóch zbiorów rozmytych $F, G \subset U$, określanym jako zbiór rozmyty w U taki, że:

$$\mu_{F \cap G}(u) = \mu_F \wedge \mu_G(u) \quad \text{dla każdego } u \in U$$

gdzie: \wedge symbol oznaczający minimum.

3) F lub $G = F \cup G$, gdzie $F \cup G$ jest sumą logiczną dwóch zbiorów rozmytych $F, G \subset U$, określaną jako zbiór rozmyty w U taki, że:

$$\mu_{F \cup G}(u) = \mu_F(u) \vee \mu_G(u) \quad \text{dla każdego } u \in U$$

gdzie \vee - symbol oznaczający maksimum

4) bardzo F , nieco mniej niż F , nieco więcej niż F , mniej więcej F itp. = F_k gdzie F_k jest k -tą potęgą zbioru rozmytego $F \subset U$, określaną jako zbiór rozmyty w U taki, że

$$\mu_{F_k}(u) = (\mu_F(u))^k$$

W szczególności przyjmuje się, że:

Bardzo $F=F^2$

Nieco więcej niż $F=F^{1.25}$

Nieco mniej niż $F=F^{0.75}$

Mniej więcej $F=F^{0.5}$

Biorąc pod uwagę przedstawione powyżej rozważania, ogólną postać zamieszczonej powyżej macierzy porównań można zmodyfikować, wprowadzając zamiast liczbowych relacji w_i/w_j ($i = 1,2,3, \dots, n$) ($j = 1,2,3, \dots, m$) relacje oznaczające określenia werbalne. Zakładając sposób przydzielania ocen w postaci określeń werbalnych, możemy skonstruować szereg macierzy porównań dla kryteriów z poszczególnych poziomów struktury hierarchicznej. Dla struktury hierarchicznej kryteriów, przedstawionej rysunku 11 będą to macierze porównań:

- na poziomie pierwszym jedna macierz dla kryteriów cząstkowych - $K_{11}, K_{21}, \dots, K_{m1}$

na poziomie drugim m macierzy dla analizy kryteriów cząstkowych $K_{12}, K_{22}, \dots, K_{r2}$;

- na poziomie $h-1$ macierze do analizy kryteriów cząstkowych $K_{1h-1}, K_{2h-1}, \dots, K_{sh-1}$;

- na poziomie h s macierzy do analizy n obiektów z punktu widzenia każdego z kryteriów rozważanych na poziomie $h-1$.

Po wyznaczeniu macierzy porównań dla kryteriów znajdujących się na poszczególnych poziomach hierarchii można przystąpić do realizacji etapu 3 algorytmu AHP /por. rysunek/ - określenia znaczenia /wagi w_i / każdego elementu analizowanej struktury hierarchicznej z punktu widzenia odpowiedniego elementu na poziomie bezpośrednio wyższym. W rozpatrywanej strukturze hierarchicznej będzie to przykładowo znaczenie kryteriów $K_{11}, K_{21}, \dots, K_{m1}$ z punktu widzenia kryterium nadrzędnego K lub kryteriów $K_{12}, K_{22}, \dots, K_{r2}$ z punktu widzenia kryterium K_{11} .

W celu wyznaczenia wag w_i stosuje się w przedstawianym algorytmie AHP technikę średniej geometrycznej. Polega ona na obliczeniu średniej

geometrycznej r_i . dla elementów każdego wiersza macierzy $A = [a_{ij}]$ w sposób następujący:

$$r_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{\frac{1}{n}} = (a_{i1} \cdot a_{i2} \cdot \dots \cdot a_{in})^{\frac{1}{n}}$$

i wyznaczeniu wag w_i jako:

$$w_i = \frac{r_i}{r_1 + r_2 + \dots + r_n}$$

Wagi w_{ji} określające stopień, w jakim elementy niższego poziomu posiadają cechę zdefiniowaną na poziomie wyższym, tworzą dla każdej macierzy porównań A pewien wektor $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$, zwany wektorem priorytetów.

W przedstawianym przez T.L. Saaty'ego algorytmie AHP wagi w_i są zazwyczaj znajduwane w wyniku rozwiązania równania

$$AW = \lambda_{\max} W$$

gdzie: A jest macierzą o danych elementach a_{ij} , λ_{\max} jest maksymalną wartością własną macierzy A , a $w = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ wektorem, którego składowe są poszukiwanymi wagami w_j .

Poszukiwany wektor W jest wyznaczany jako znormalizowany wektor własny odpowiadający wartości własnej λ_{\max} . Jednakże w pracy T.L. Saaty wskazuje, że ze względów numerycznych dogodnie może być zastosowanie techniki średniej geometrycznej dla wyznaczenia wag w_i . Również J.J. Buckley proponuje dla wyznaczenia wag w_i stosowanie techniki średniej geometrycznej.

Wyznaczenie wektorów priorytetów dla macierzy porównań kolejnych poziomów umożliwia uzyskanie wektora priorytetów najniższego poziomu ze względu na element poziomu najwyższego. Obliczanie takiego wektora priorytetów $w_k = (w_{1k}, w_{2k}, \dots, w_{nk})$ określającego oceny badanych obiektów O_1, O_2, \dots, O_n ze względu na kryterium nadrzędne K jest etapem 4- przedstawianej metody /por. rysunek/. Zgodnie z ogólnym postępowaniem AHP wektor priorytetów w_k jest otrzymywany w wyniku mnożenia macierzy, których kolumnami są wektory priorytetów kolejnych poziomów struktury hierarchicznej.

Założmy, że:

L_k - K -ty poziom w hierarchii, którego elementy są nadrzędne w stosunku do elementów poziomu L_{k+1} oraz podrzędne w stosunku do elementów poziomu

L_{k-1} ,

$Y = \{y_1, y_2, \dots, y_{m_k}\} \in L_k$

$X = \{x_1, x_2, \dots, x_{m_{k+1}}\} \in L_{k+1}$

Y_j - j -ty element poziomu L_k ,

X_i - i -ty element poziomu L_{k+1} ,

$Z \in L_{k-1}$ - element poziomu L_{k-1} któremu podporządkowane są wszystkie elementy zbioru Y .

W celu uzyskania wektora priorytetów elementów najniższego poziomu L_{k+1} ze względu na element poziomu najwyższego Z należy zdefiniować funkcje priorytetów w_z , określające stopień, w jakim elementy niższego poziomu posiadają cechę zdefiniowaną na poziomie wyższym. Funkcje te przyporządkowują poszczególnym elementom zbiorów Y lub X wagę określoną w postaci zbioru rozmytego zdefiniowanego w przestrzeni $[0,1]$

Na poziomie L_{k-1} jest to funkcja priorytetów dla elementów z poziomu L_k

$$w_z : Y \rightarrow \{w_z(y_j)\}$$

na poziomie L_k - jest to szereg funkcji priorytetów dla elementów poziomu L_{k+1} podporządkowanych poszczególnym elementom poziomu L_k :

$$w_{y_j} : x \rightarrow \{w_{y_j}(x_i)\} \quad j = 1, 2, \dots, m_k.$$

Z kolei funkcję priorytetów elementów zbioru X ze względu na element Z można określić jako:

$$w(x_i) = \sum_{j=1}^{m_k} w_{y_j}(x_i) w_z(y_j) \quad i = 1, 2, \dots, m_{k+1}$$

Jeżeli B jest macierzą o elementach $b_{ij} = w_{y_j}(x_i)$, W - wektorem o elementach $w_z(y_j)$, a w - wektorem o elementach $w(x_i)$ to przedstawione wyżej równanie może być zapisane w postaci:

$$W = B W'$$

Określa ono priorytet elementów danego poziomu jako funkcje elementów dwóch poziomów bezpośrednio wyższych.

Przedstawione rozważania dotyczące hierarchii trypoziomowej mogą

być uogólnione na hierarchię o h poziomach. Jeżeli H jest hierarchią o h poziomach i najwyższym elemencie z , B_k - macierzą priorytetów poziomu K ($K = 1, 2, \dots, h$) ze względu na elementy poziomu $K-1$, a W - wektorem priorytetów poziomu p ze względu na element z z poziomu $p-1$ wówczas wektor priorytetów w poziomie q ($q > p$) ze względu na element z , można określić jako:

$$W = B_q B_{q-1} \dots B_{p+1} W'.$$

Zgodnie z powyższym, wektor priorytetów najniższego poziomu ze względu na element poziomu najwyższego można przedstawić w postaci:

$$W = B_h B_{h-1} \dots B_2 w'.$$

Wykonywanie operacji algebraicznych na zbiorach rozmytych

Wszystkie przewidziane w etapie 3 i 4 algorytmu AHP i przedstawione operacje algebraiczne są operacjami przeprowadzanymi na zbiorach rozmytych, ich realizację umożliwi użycie aparatu matematycznego teorii zbiorów rozmytych. Opierając się na zasadzie rozszerzania, sformułowanej przez L.A. Zadeha, przyjmuje się następujący sposób wykonywania operacji algebraicznych⁵¹

Zasada rozszerzania, sformułowana przez L.A. Zadeha umożliwia na podstawie danej zależności między wielkościami nie-rozmytymi określenie równoważnej zależności między wielkościami rozmytymi. Ściślej, zasada rozszerzania pozwala rozszerzyć obszar określoności pewnego odwzorowania lub relacji z punktów w U na rozmyte podzbiory zbioru U . Jeśli przyjmuje się, że f jest odwzorowaniem z U w V , tj.:

$f: U \rightarrow V$ (lub inaczej $v = f(u)$, gdzie u i v są odpowiednio elementami U i V),

a $F \subset U$ jest następującym wzorem rozmytym:

$$F = \{(\mu_F(u), u)\}$$

zasada rozszerzania ustanawia, że:

$$f(F) = \{(\mu_F(u), f(u))\}$$

⁵¹ Podstawowe działania na zbiorach rozmytych zostały przedstawione w załączniku do niniejszej pracy.

Podobnie, jeśli f jest odwzorowaniem z $U \times V$ w W , tj.:

$f: U \times V \rightarrow W$ (lub inaczej $w = f(u, v)$, gdzie u, v, w , są odpowiednio elementami U, V i W)

a $F \subset U$ i $G \subset V$ są następującymi zbiorami rozmytymi:

$$F = \{(\mu_F(u), u)\}$$

$$G = \{(\mu_G(v), v)\}$$

to na mocy zasady rozszerzania zachodzi:

$$f(F, G) = \{(\mu_F(u) \wedge \mu_G(v), f(u, v))\}.$$

W przedstawianym algorytmie metody AHP zasada rozszerzania znalazła zastosowanie do określenia sposobu przeprowadzania operacji algebraicznych na zbiorach rozmytych. Operacje algebraiczne na zbiorach rozmytych można zdefiniować, stosując zasadę rozszerzania do odpowiednich operacji na liczbach rzeczywistych, tj. jeśli \square oznacza operację określoną na $U \times V$ to wartościach w W , a więc $w = u \square v$, dla $u \in U, v \in V, w \in W$, i jeśli $U = R, V = R, W = R$, gdzie R - oznacza zbiór liczb rzeczywistych, to stosując zasadę rozszerzania, operację \square można rozszerzyć na rozmyte podzbiory zbiorów U i V .

1. jeśli F i G są dowolnymi zbiorami rozmytymi, to :

$$E = \{(\mu_E(w), w)\} = F \square G = \{(\mu_F(u), u)\} \square \{(\mu_G(v), v)\} = \{(\mu_F(u) \wedge \mu_G(v), u \square v)\}$$

gdzie: \square jest dowolną operacją algebraiczną wykonywaną na iloczynie kartezyjskim zbiorów⁵² $\text{Supp}(F) \times \text{Supp}(G)$, a \wedge oznacza operator minimum;

2/ jeśli F jest dowolnym zbiorem rozmytym, to:

$$E = \{(\mu_E(w), w)\} = \square F = \square \{(\mu_F(u), u)\} = \{(\mu_F(u), \square u)\}$$

gdzie: \square jest dowolną operacją algebraiczną wykonywaną na zbiorze $\text{Supp}(F)$.

Zgodnie z powyższymi wzorami nośnik powstałego zbioru rozmytego E zależy od nośników zbiorów wejściowych, tj. F i G . Elementy nośnika zbioru E są bowiem tworzone przez rozpatrywanie określonej operacji, np. dodawania

⁵² Symbolem Supp oznacza się nośnik (podparcie) zbioru rozmytego (ang. Support), którego definicja wygląda następująco: nośnikiem zbioru rozmytego $F \subset U$ jest zbiór elementów $u \in U$, dla których $\mu_F(u) > 0$ a więc $\text{Supp}(F) = \{u \in U; \mu_F(u) > 0\}$

lub mnożenia każdego elementu nośnika zbioru F z każdym elementem nośnika zbioru G . Tak otrzymanym elementom nośnika zostają przyporządkowane stopnie przynależności w zbiorze E . Zbiór wynikowy E powstaje więc wskutek rozważania każdego elementu przestrzeni $\text{Supp}(F) \times \text{Supp}(G)$ i przydzielania tym elementom odpowiednich stopni przynależności. Jeśli w wyniku wykonania operacji algebraicznych jakiegokolwiek element nośnika zbioru wynikowego zostanie zdefiniowany wielokrotnie przez te same lub różne wartości funkcji przynależności, przeprowadza się operację złożenia. W przedstawianym algorytmie AHP przyjęto, że stopień przynależności powtarzającego się elementu nośnika jest określany na podstawie wszystkich przyporządkowanych mu funkcji przynależności przez wielokrotne wykonywanie działania:

$$(\mu'_E(w), \oplus (\mu''_E(w)) = (\mu'_E(w) + (\mu''_E(w) - (\mu'_E(w)(\mu''_E(w)))$$

gdzie $(\mu'_E(w))$ i $(\mu''_E(w))$ - kolejno rozpatrywane funkcje przynależności przyporządkowane określone elementowi "w" w zbiorze rozmytym $E = \{(\mu_E(w), w)\}$

W wyniku wykonania dowolnego działania algebraicznego na zbiorach rozmytych m i n -elementowych uzyskuje się m, n -elementowy zbiór wynikowy, przy czym nie musi istnieć możliwość przeprowadzenia omówionej uprzednio operacji złożenia. W celu redukcji tak znacznej liczby danych proponuje się dokonywanie wyboru elementów, które będą reprezentować otrzymany zbiór wynikowy. W omawianym algorytmie dokonuje się wyboru następujących elementów

- 1/ najmniejszej wartości nośnika zbioru rozmytego,
- 2/ największej wartości nośnika zbioru rozmytego,
- 3/ maksymalnej funkcji przynależności,
- 4/ największej wartości funkcji przynależności spośród elementów położonych między elementem o najmniejszej wartości nośnika a elementem o maksymalnej funkcji przynależności
- 5/ największej wartości funkcji przynależności spośród elementów położonych między elementem o maksymalnej funkcji przynależności a elementem o największej wartości nośnika.

Ponadto, w zbiorze wybranych elementów umieszcza się wszystkie elementy, dla których wartość funkcji przynależności jest równa jeden ($\mu E(w) = 1$). Opisane operacje złożenia i wyboru przeprowadza się każdorazowo po wykonaniu jakiegokolwiek spośród wymaganych działań algebraicznych.

W wyniku realizacji, w sposób przedstawiony powyżej, trzeciego i czwartego etapu obliczeń otrzymuje się zbiory rozmyte w_K , reprezentujące oceny analizowanych obiektów ze względu na kryterium nadrzędne. W etapie 5 algorytmu AHP dokonuje się porównania otrzymanych ocen $w_{IK...}$, w celu uporządkowania obiektów według wielkości tych ocen. Ponieważ uzyskane w 3 i 4- etapie obliczeń oceny w_{ik} nie są liczbami, lecz zbiorami rozmytymi, uporządkowanie obiektów nie jest oczywiste. Uporządkowanie takie nie może być określone tylko według maksymalnych wielkości nośników zbiorów w_{ik} lub tylko tych wielkości nośników, którym przyporządkowane są maksymalne stopnie przynależności w zbiorach w_{ik} . Porządkowanie jedynie według maksymalnych wartości nośników zbiorów w_{ik} nie musi prowadzić do uzyskania prawidłowego wyniku, gdyż duże wartości nośników mogą występować z małym stopniem przynależności lub odwrotnie małe wartości nośników mogą mieć duże stopnie przynależności w w_{ik} . Podobnie, porządkowanie tylko na podstawie wartości nośników mających maksymalny stopień przynależności w zbiorach w_{ik} nie zawsze pozwoli na uzyskanie poprawnego wyniku. W tym przypadku pomija się wszystkie pozostałe elementy nośnika każdego zbioru w bez względu na ich wielkości i odpowiadające im funkcje przynależności. Warunkiem prawidłowego uporządkowania rozważanych obiektów jest rozpatrywanie zarówno wartości nośników, jak i ich stopni przynależności w zbiorach w_{ik} .

W celu spełnienia powyższego warunku do realizacji etapu 5 algorytmu AHP wykorzystuje się koncepcje zbioru maksymalizującego R. Jaina. Zgodnie z definicją przedstawioną przez niego⁵³ zbiorem maksymalizującym jest zbiór rozmyty:

⁵³ Jain R. Procedure for Multiple – aspect Decision Making Using Fuzzy Sets, "International Journal of Systems Science" 1977

$$M(s) = \{(\mu M(r), r)\}, \quad r \in R$$

gdzie: $\mu M(r) = r/r_{\max}$, $r_{\max} = \sup S$, S - zbiór wszystkich nośników zbiorów reprezentujących oceny analizowanych obiektów O_1, O_2, \dots, O_n .

Stopień przynależności w zbiorze maksymalizującym - $\mu M(r)$ określa stopień, w jakim każda wartość nośnika jest bliska maksymalnej wartości nośnika w zbiorze S , tj. w zbiorze wszystkich nośników zbiorów rozmytych reprezentujących oceny analizowanych obiektów ze względu na kryterium nadrzędne.

W ramach etapu 5 obliczeń przewiduje się:

1/ utworzenie zbioru maksymalizującego;

2/ utworzenie dla każdego obiektu O_i ($i = 1, 2, \dots, n$) zbioru rozmytego w'_{ik} będącego zmodyfikowaną oceną w_{ik} tj. takiego zbioru, że:

$$w_{ik} = \{(\mu W_{ik}(r), r)\},$$

gdzie: $\mu' W_{ik} = \mu W_{ik}(r) \wedge \mu M(r)$, - \wedge operator minimum, wynikający z użycia logicznego "i" w celu uwzględnienia wielkości nośników /przez $(\mu M(r))$ /, a także i stopni przynależności $\mu' W_{ik}(r)$

3). utworzenie zbioru rozmytego w_{opt} takiego że:

$$w_{opt} = \{(\mu_{w_{opt}}(O_i), O_i)\},$$

gdzie: $\mu_{w_{opt}}(O_i) = \bigcup_r \mu_{w_{ik}}(r)$ - O_i i-ty analizowany obiekt,

- operator maksimum /logiczne "lub"/, którego użycie powoduje, że każdy obiekt jest porównywany z innymi na podstawie maksymalnego stopnia przynależności w zbiorze w'_{ik} ;

4 utworzenie zbioru rozmytego w_{opt} przez normalizację zbioru rozmytego w_{opt}

$$w_{opt} = \{(\mu_{w_{opt}}(O_i), O_i)\},$$

gdzie: $\mu_{w_{opt}}(O_i) = \frac{\mu_{w_{opt}}(O_i)}{\max_{O_i} \mu_{w_{opt}}(O_i)}$

5/ uporządkowanie analizowanych obiektów według malejącego stopnia przynależności w zbiorze w_{opt} (wg. $\mu_{w_{opt}}(O_i)$)

Otrzymane wyniki obliczeń mają charakter względny i swoją interpretację tylko w obrębie wybranej uprzednio do analizy grupy obiektów.

Na podstawie stopni przynależności w zbiorze w_{opt} można wskazać najlepszy spośród rozpatrywanych obiektów ($\mu_{w_{opt}} = 1$) i ocenę pozostałych obiektów w porównaniu z obiektem najlepszym. Uzyskane wielkości $\mu_{w_{opt}}$ mogą być interpretowane jako stopnie przynależności w zbiorze rozmytym, przedstawiającym zbiór najlepszych obiektów. Jeśli dla danego "i" $\mu_{w_{opt}}(O_i)$ przyjmuje określoną wartość, wówczas tę wartość można uważać za charakteryzującą rozmiar, w jakim obiekt O_i jest najlepszy

Zaletą przedstawionego podejścia do oceny obiektów jest możliwość analizy przyczyn uzyskania określonych ocen przez poszczególne obiekty /etap 6/. Analizę taką umożliwia szczegółowe prześledzenie schematu wielopoziomowego układu hierarchicznego i wag wyznaczonych dla poszczególnych elementów kolejnych poziomów struktury hierarchicznej.

Zgodnie z zaproponowanym algorytmem rozwiążemy problem wyboru trzech wariantów działania COMAO, które ma do zrealizowania określone zadanie bojowe, Nazwijmy je R_1 , R_2 , R_3 . Każdy z wariantów działania jest opisany pewnym wektorem cech (atrybutów). Przykładowo ilością i typem uczestniczących w misji samolotów, rodzajem stosowanego uzbrojenia jak i ugrupowaniem. Kolejnymi atrybutami są kierunek i wysokość dolotu oraz manewry stosowane w czasie lotu i nad celem. Wszystkie te atrybuty pozwalają na dość precyzyjny opis każdego scenariusza działania. Oprócz tak oczywistych charakterystyk należy odnieść się również do preferencji dowódcy który jest głównym odpowiedzialnym za ryzyko powodzenia realizowanego zadania.

Przedstawione dowódcy warianty wykonania zadania wywołują w jego świadomości subiektywne odczucia wynikające z jego doświadczenia i posiadanej wiedzy taktycznej, które z kolei są transponowane na jego model preferencji. Gdyby nie uwzględniać tego potencjału to w zasadzie każdy kto posiadał elementarne umiejętności rachunkowe mógłby dokonywać wyborów wariantów działania w siłach powietrznych. Konsekwencją dialogu pomiędzy decydem - dowódcą a analitykiem – jego sztabem jest wyznaczenie oceny syntetycznej, która uwzględnia oprócz oczywistych charakterystyk działania, również preferencje decydenta (skłonność do ryzyka, doświadczenie, itp.).

W przedstawionym przykładzie dokonamy porównawczej oceny jakości realizowanego zadania. Budując strukturę hierarchiczną (wg. zasad opisanych wyżej) na poziomie najwyższym umieścimy jakość⁵⁴ wykonywanego zadania, którą zdekomponujemy na dwa elementy poziomu bezpośrednio niższego. Elementami tymi będą „żywołność” i „skuteczność” działania. Żywołność będziemy rozumieli jako zachowanie zdolności do realizacji postawionych zadań, a przez skuteczność stopień osiągnięcia zamierzonego celu. Na najniższym poziomie zostaną umieszczone warianty działania COMAO⁵⁵.

Dla zaproponowanych kryteriów wyznaczmy macierz porównań. Brak danych ilościowych uniemożliwia precyzyjne określenie relacji w_i/w_j , będących elementami macierzy porównań. Przyjmując, że relacje te są zmiennymi lingwistycznymi, elementy poszczególnych macierzy porównań wyznaczmy jako określenia werbalne. Listę tych określeń wraz z definiującymi je zbiorami rozmytymi przedstawia zestawienie :

Jednakowo ważne = JW. = $\{(1.0, 1.0)\}$;

Niewiele ważniejsze = NW = $\{(0.5, 1.0), (0.75, 2.0), (1.0, 3.0), (0.75, 4.0), (0.5, 5.0)\}$;

Dużo ważniejsze = DW = $\{(0.5, 3.0), (0.75, 4.0), (1.0, 5.0), (0.75, 6.0), (0.5, 7.0)\}$;

Znacznie ważniejsze = ZN = $\{(0.5, 5.0), (0.75, 6.0), (1.0, 7.0), (0.75, 8.0), (0.5, 9.0)\}$;

Absolutnie ważniejsze = AW = $\{0.5, 9.0, 1.0, 10\}$.

Na podstawie analizy wariantów i po wysłuchaniu opinii oficerów sztabu w ramach odprawy inicjującej otrzymano następujące macierze porównań:

	Skuteczność	Żywołność
Skuteczność	JW.	DW
Żywołność	$(DW)^{-1}$	JW

⁵⁴ Stopień spełnienia stawianych wymagań.

⁵⁵ Ze względu na to, że w pracy została przyjęta konwencja opisowa i głównym celem jest przedstawienie metody dla uproszczenia przyjąłem trywialną strukturę jakości działań. W praktyce dla oceny jakości działania COMAO przyjmuje się o wiele bardziej złożoną strukturę hierarchiczną zawierającą więcej kryteriów cząstkowych, ocen i poziomów dekompozycji tych kryteriów.

Macierz do analizy cech jakościowych na poziomie pierwszym z punktu widzenia cechy jakość działań na poziomie „zero”

Dwie macierze do analizy trzech wariantów działania z punktu widzenia każdej z cech jakościowych rozpatrywanych na poziomie pierwszym.

SKUTECZNOŚĆ

	R ₁	R ₂	R ₃
R ₁	JW.	ZW	AW
R ₂	(ZW) ⁻¹	JW.	DW
R ₃	(AW) ⁻¹	(DW) ⁻¹	JW

ŻYWOTNOŚĆ

	R ₁	R ₂	R ₃
R ₁	JW.	NW	(ZW) ⁻¹
R ₂	(NW) ⁻¹	JW.	(AW) ⁻¹
R ₃	ZW	AW	JW

Dla każdej z przedstawionych powyżej macierzy porównań obliczono wagi w^i , określające znaczenie każdego z elementów struktury hierarchicznej z punktu widzenia odpowiedniego elementu na poziomie bezpośrednio wyższym (etap trzeci algorytmu) Obliczenia przeprowadzone zostały przy pomocy średniej geometrycznej, przyjmując definicje określeń werbalnych zgodnie z przedstawionymi wyżej zestawieniami.

Otrzymane wagi zestawiono poniżej:

	Skuteczność	Żywotność		Jakość działań
R ₁	w ₁₁	w ₁₂	Skuteczność	W ₁
R ₂	w ₂₁	w ₂₂	Żywotność	W ₂

Jakość działań		Jakość działań	
R ₁	W _{1k}	R ₁	{(0.5, 0.3316), (1.0, 0.6738), (0.93, 0.6610), (0.875, 0.6741), (0.5, 1.3142)}
R ₂	W _{2k}	R ₂	{(0.5, 0.0681), (1.0, 0.1512), (0.9375, 0.1485), (0.9375, 0.1649), (0.5, 0.3427)}
R ₃	W _{3k}	R ₃	{(0.5, 0.0919), (1.0, 0.1750), (0.9375, 0.1741), (0.8750, 0.1751), (0.5, 0.3776)}

Znajomość wag w_i tworzących wektory priorytetów dla poszczególnych macierzy porównań umożliwia wyznaczenie wektora priorytetów, określającego oceny rozmyte w_{ik} rozpatrywanych wariantów działań ze względu na kryterium jakość (czwarty etap metody). Oceny te uzyskujemy w wyniku mnożenia powyższych macierzy.⁵⁶

W celu porównania uzyskanych ocen rozmytych w_{1k} , w_{2k} , w_{3k} poszczególnych scenariuszy działań (wariantów) wykorzystano technikę zbioru maksymalizującego. (piąty etap metody). Wyniki otrzymane w toku realizacji tego etapu oraz uzyskany ostateczny wynik zbiór w_{opt} decydujący o uporządkowaniu wariantów działania przedstawiono w poniższym zestawieniu

JAKOŚĆ DZIAŁAŃ

Skuteczność	{(0.5, 0.5374), (1.0, 0.8333), (0.75, 0.7310), (0.75, 0.8953), (0.5, 1.2539)}
Żywotność	{(0.5, 0.1173), (1.0, 0.1667), (0.75, 0.1492), (0.75, 0.1695), (0.5, 0.2736)}

⁵⁶ Elementami macierzy są zbiory rozmyte. Wszystkie operacje algebraiczne wykonywane podczas mnożenia macierzy są realizowane na zbiorach rozmytych według zasad przedstawionych w załączniku do niniejszej pracy.

SKUTECZNOŚĆ

R_1	$\{(0.5, 0.5995), (1.0, 0.7796), (0.9375, 0.7642), (0.8750, 0.7826), (0.5, 0.9974)\}$
R_2	$\{(0.5, 0.1169), (1.0, 0.1691), (0.9375, 0.1658), (0.9375, 0.1854), (0.5, 0.2490)\}$
R_3	$\{(0.5, 0.0409), (1.0, 0.0513), (0.9375, 0.0503), (0.8750, 0.515), (0.5, 0.0742)\}$

ŻYWOTNOŚĆ

R_1	$\{(0.5, 0.0806), (1.0, 0.1451), (0.8750, 0.1334), (0.8750, 0.1468), (0.5, 0.2321)\}$
R_2	$\{(0.5, 0.0455), (1.0, 0.0619), (0.75, 0.0562), (0.8750, 0.0627), (0.5, 0.1116)\}$
R_3	$\{(0.5, 0.5966), (1.0, 0.7930), (0.75, 0.7518), (0.8750, 0.8024), (0.5, 1.0400)\}$

Uporządkowanie wariantów działania według wielkości ocen rozmytych w_{1k} , w_{2k} , w_{3k} , otrzymujemy po utworzeniu zbioru maksymalizującego w postaci

$$M(s) = \{(0.2523, 0.3316), (0.5127, 0.6738), (0.5030, 0.6610), (0.5129, 0.6741), (1.0, 1.3142), (0.0518, 0.0681), (0.1151, 0.1512), (0.1130, 0.1485), (0.1255, 0.1649), (0.2608, 0.3427), (0.0699, 0.919), (0.1332, 0.1750), (0.1325, 0.1741), (0.1332, 0.1751), (0.2873, 0.3776)\}$$

Zmodyfikowane oceny rozmyte wariantów działania w'_{1k} , w'_{2k} , w'_{3k}

$$w'_{1k} = \{(0.2523, 0.3316), (0.5127, 0.6738), (0.5030, 0.6610), (0.5129, 0.6741), (0.5, 1.3142)\}$$

$$w'_{2k} = \{(0.0518, 0.0681), (0.1151, 0.1512), (0.1130, 0.1485), (0.1255, 0.1649), (0.2608, 0.3427)\}$$

$$w'_{3k} = \{(0.0699, 0.0919), (0.1332, 0.1750), (0.1325, 0.1741), (0.1332, 0.1751), (0.2873, 0.3776)\}$$

Postać zbioru $w_{opt} = \{(0.5129, R_1), (0.2608, R_2), (0.2873, R_3)\}$

Postać zbioru $w'_{opt} = \{(1.0, R_1), (0.5085, R_2), (0.5601, R_3)\}$

Uzyskane ostatecznie wyniki wskazują, że wariant o najwyższej jakości działań a zatem ten który pozwoli na zachowanie żywotności wykonawców i zapewni skuteczność realizacji to wariant pierwszy. Wariant ten został najwyżej oceniony, mimo że pod względem żywotności uzyskał ocenę znacznie niższą niż R_3 i niewiele wyższą niż R_2 . Wariant ten miał zdecydowaną przewagę nad pozostałymi pod względem skuteczności – absolutnie lepszy od wariantu trzeciego i znacznie lepszy od wariantu drugiego.

Otrzymane wyniki wskazują, że następny co do jakości wariant to R_3 , otrzymał on najwyższą ocenę pod względem żywotności, nie mniej jednak był wariantem najmniej skutecznym. Wynika z tego, że wariant R_2 otrzymał najniższą ocenę globalną, mimo że pod względem skuteczności był lepszy od wariantu trzeciego. W końcu należy zaznaczyć, że przeprowadzona analiza ma charakter porównawczy co znaczy, że jest prawdziwa tylko w obrębie rozpatrywanych wariantów oraz przyjętych kryteriów cząstkowych i przypisanych im wag według preferencji dowódcy.

Zakończenie

Przedstawioną w tej pracy specyfikę problemów badawczych oraz aparatury pojęciowej, zarządzania ryzykiem, nie uważam za zamkniętą. Odwrotnie jednym z celów tej pracy jest zasygnalizowanie problemów, wymagających dalszych pogłębionych badań, zwrócenia uwagi na zagadnienia, które tak w teorii jak i praktyce dowodzenia należałoby dostrzegać i uwzględniać, a także podjąć szerszą dyskusję naukową w interdyscyplinarnym gronie naukowców i praktyków zainteresowanych ryzykiem w procesie dowodzenia wojskami.

Teoretyczne i metodyczne podejście oraz zaproponowana aparatura pojęciowa powinno stanowić podstawy dla praktyków dowodzenia. W szczególności powinna stać się integralną częścią programu kształcenia oficerów w ramach przedmiotu dowodzenie wojskami.

Obserwacja powszechnej praktyki wskazuje, że świadomość niepewności i ryzyka wśród oficerów dowodzącymi siłami zbrojnymi w ogóle a siłami powietrznymi w szczególności jest ciągle niewystarczająca .

Jeżeli niniejsza praca choć w pewnej mierze zwróci uwagę praktyków i teoretyków dowodzenia na potrzebę spojrzenia na zarządzanie ryzykiem w siłach powietrznych, to informacje w niej zawarte można będzie uznać za relewantne i użyteczne.

Załącznik

Koncepcja zbiorów rozmytych⁵⁷

Modelowanie matematyczne oraz zastosowanie techniki komputerowej stanowią nieocenioną pomoc w badaniach systemów, które można adekwatnie opisać za pomocą praw fizycznych. Natomiast dużo gorzej wypadają próby stosowania opisu matematycznego w przypadkach systemów, w których istotną rolę odgrywają ludzie - indywidualnie lub zespołowo. Uważa się, że jednym z powodów jest tu sprzeczność polegająca na tym, że im większa jest złożoność systemu, tym mniejsza może być dokładność z jaką jesteśmy w stanie system ten opisać, za pomocą modelu matematycznego. Zgodnie z tym, jeśli chcemy stosować modelowanie matematyczne do systemów bardzo złożonych, a takimi są na pewno systemy obejmujące ludzi - ich działalność i postawy - musimy zrezygnować z dokładności. Powstaje pytanie jak tego dokonać, pozostawiając jednak na gruncie rozważań formalnie ścisłych, pozwalających na wyciąganie istotnych wniosków nie tylko jakościowych, ale i ilościowych. Okazuje się, że aparat matematyki klasycznej, którego podstawą jest teoria zbiorów, jest tu nie elastyczny i praktycznie mało przydatny. Wyraźnie góruje nad nim aparat, za którego pomocą formułujemy wnioski z ukształtowanych w umyśle *modeli intuicyjnych, czyli aparat tworzenia pojęć lingwistycznych*. Powstał więc problem stworzenia teorii, która by łączyła zalety obu podejść i umożliwiła stosowanie ścisłego formalizmu matematycznego, operującego jednakże nie zmiennymi ilościowymi, lecz *zmiennymi lingwistycznymi*. Próbę stworzenia takiej teorii podjął L. Zadeh, wprowadzając do modelowania systemów koncepcję *zbiorów rozmytych*. Wobec wciąż wzrastającego znaczenia modeli rozmytych przedstawiamy zarys tej koncepcji.

Przy próbach modelowania systemów, w których skład wchodzi ludzie, spotykamy się z dużym stopniem niejednoznaczności. Chodzi o to, że w trakcie tworzenia modelu matematycznego w tego rodzaju systemach należy ustosunkować się do takich określeń, jak: *dobry, zły, lepszy, gorszy, dużo, mało* itp. Inny problem, z którym należy się uporać, można zilustrować następującym przykładem: jak

⁵⁷ Materiał opracowany na podstawie Gutenbaum J., Modelowanie matematyczne systemów, OP, Warszawa 1992.

zdefiniować formalnie, takie pojęcia jak: *kilka drzew*, *kępa drzew*, *las*, *puszcza*, - aby można było zakwalifikować jednoznacznie każde skupisko drzew, unikając przy tym nonsensu, że wycięcie jednego drzewa czyni z puszczy las, lub z lasu kępę drzew?

Matematyka "klasyczna" jest tu mało użyteczna, oparta jest bowiem na założeniu istnienia dychotomii: dany element należy do określonego zbioru, lub do niego nie należy. Takie podejście jest równoznaczne z założeniem istnienia dwuwartościowej *funkcji przynależności*, której argumentami są elementy zbioru. *Funkcja ta przyjmuje wartość równą jedności, jeśli element należy do zbioru, wartość równą zero - jeśli nie należy.* Na przykład dla podzbioru A liczb rzeczywistych większych od jedności i nie większych od dwóch:

$$A = \{a : 1 < a \leq 2\} \quad (1)$$

Aby przewyciężyć opisane wyżej trudności L. Zadeh⁵⁸ wprowadził do modelowania systemów pojęcie *zbiorów rozmytych*. Są to zbiory, których elementy nie są w pełni przyporządkowane tym lub innym zbiorom. Można to ująć w taki sposób: *dany element tylko częściowo należy do określonego zbioru, częściowo zaś nie należy.* Formalnie koncepcja polega na stowarzyszeniu z każdym zbiorem rozmytym *nie dwuwartościowej*, ciągłej lub dyskretnej, funkcji i przynależności, zazwyczaj o wartościach ze zbioru $[0, 1]$.

I tak na przykład, przynależność liczby naturalnej v do zbioru *kilka* może być określona przez dyskretną funkcję przynależności $\mu(v)$:

Tablica 1. Zbiór rozmyty *kilka*

v	1	2	3	4	5	6	7	8	więcej
$\mu(v)$	0	0	0,2	0,8	1	0,6	0,3	0,1	0

Dolny wiersz tej tablicy wyraża to, że liczba 5 to na pewno znaczy *kilka*, że 3 lub 7 też jest *kilka*, ale w sposób mniej zdecydowany, 2 lub 10, to nie jest *kilka*. W symbolice zbiorów rozmytych zbiór *kilka* zapisuje się w sposób następujący:

$$kilka = \{0,2/3; 0,8/4; 1/5; 0,6/6; 0,3/7; 0,1/8\} \quad (2)$$

⁵⁸Zadeh L.A., The Concept of Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning. Elsevier, New York 1973 (wyd rosyjskie Mir, Moskwa 1976).

Łatwo stwierdzić, konfrontując tę formę zapisu z przytoczoną wyżej tablicą, że każdy element zbioru określony jest dwoma liczbami: *cechą elementu i wartością - funkcji przynależności*. Elementy zbioru o funkcji przynależności równej zeru w zapisie nie figurują.

Dla zbiorów rozmytych sformułowano właściwą algebrę i opracowano wiele algorytmów rozwiązywania różnych zadań. Należy wyraźnie podkreślić, że między zjawiskami, które z natury rzeczy mają charakter rozmyte, a zjawiskami losowymi istnieją zasadnicze różnice. Do zjawisk rozmytych zaliczamy takie, które nie dają się rozsądnie jednoznacznie sklasyfikować, czy nie musi to wcale wynikać ze stopnia naszej niewiedzy o danym zjawisku lub o jego przyczynach. Natomiast losowość interpretujemy na ogół jako rezultat naszej niewiedzy o przyczynach wywołujących dane zjawisko. Stopień tej niewiedzy można np. zmniejszyć (do pewnych granic) drogą powtarzania doświadczeń lub zwiększenia liczby obserwacji. Różnica ta nie przekreśla jednak możliwości modelowania pewnych zjawisk z udziałem czynnika losowego za pomocą modeli rozmytych⁵⁹

W teorii zbiorów rozmytych posługujemy się następującymi pojęciami:

- zmienna lingwistyczna,
- wartość zmiennej lingwistycznej,
- modyfikator.

Przykładami zmiennych lingwistycznych są: *wiek* lub *wygląd zewnętrzny*.

Wartościami zmiennych lingwistycznych są zmienne rozmyte. I tak wartościami zmiennej lingwistycznej *wygląd zewnętrzny* mogą być: *piękny, ładny, brzydki*.

Operując, jako wartościami zmiennych lingwistycznych, słowami lub zdaniemami zamiast liczb, tracimy na dokładności: stwierdzenie *Jan jest młody* jest mniej dokładne, niż *Jan ma 25 lat*. Jednakże dzięki temu uzyskujemy możliwość opisu zjawisk, które są na tyle złożone lub nieokreślone, że nie poddają się opisowi dokładnemu.

⁵⁹ Tamże.

Modyfikatorami nazywamy takie pojęcia jak: *bardzo, trochę, mało, nie* i inne podobne. Modyfikatory, działając na wartości zmiennych lingwistycznych, tworzą nowe wartości zmiennych lingwistycznych. Działając modyfikatorami na wartość zmiennej lingwistycznej *ładna* otrzymujemy takie wartości zmiennej lingwistycznej, jak: *bardzo ładna, nie ładna* itd.

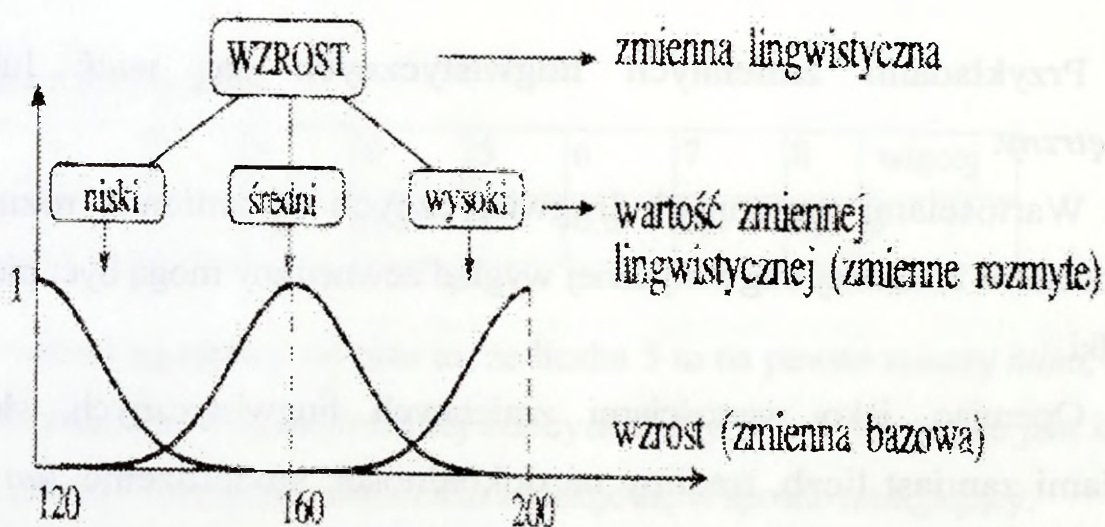
Rozróżnia się trzy rodzaje modyfikatorów: *łączniki* (i, lub, ani), *przeczenia* (nie), *nieokreśloności* (bardzo, mniej, częściowo, ..).

Zbiór wszystkich wartości zmiennej lingwistycznej tworzy *zbiór terminów danej zmiennej*.

Zmienna lingwistyczna *wiek* może być zapisana następująco:

wiek - { *bardzo młody, młody, nie stary, w średnim wieku, ani stary-ani młody, stary, bardzo stary* }

Zbiór terminów zmiennej lingwistycznej może mieć nieskończoną liczbę elementów. Niektórym zmiennym lingwistycznym, jak na przykład *wiek* lub *wzrost*, można przypisać bezpośrednio wartości liczbowe. Zmienna liczbowa *wzrost*, przyjmująca wartości 0, 1, 2, ..., 200 nazywana jest *zmienną bazową* zmiennej lingwistycznej *wzrost*.



Rysunek.1 Struktura hierarchiczna zmiennej lingwistycznej „wzrost”

Reguła semantyczna określa przejście od zmiennych bazowych do zmiennych rozmytych, czyli zadana jest funkcja przynależności.

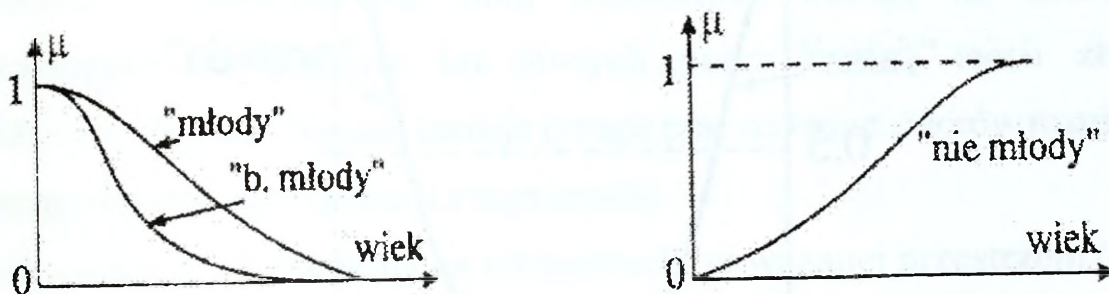
W określeniu zmiennej rozmytej uczestniczą terminy pierwotne, takie jak: niski, wysoki (zmienna lingwistyczna -wzrost), młody, stary (zmienna lingwistyczna - wiek) oraz modyfikatory.

Reguła syntaktyczna określa terminy pierwotne oraz sposób w jaki modyfikatory przekształcają dane zmienne rozmyte, w inne, należące do danego zbioru terminów. Np. - zmienną rozmytą *młody* o funkcji przynależności $\mu(\text{młody})$ można przekształcić w zmienną rozmytą *bardzo młody*, przyjmując (rys.2)

$$\mu(\text{bardzo młody}) = [\mu(\text{młody})]^2$$

Zmienną *nie młody* otrzymujemy ze wzoru

$$\mu(\text{nie młody}) = 1 - \mu(\text{młody})$$



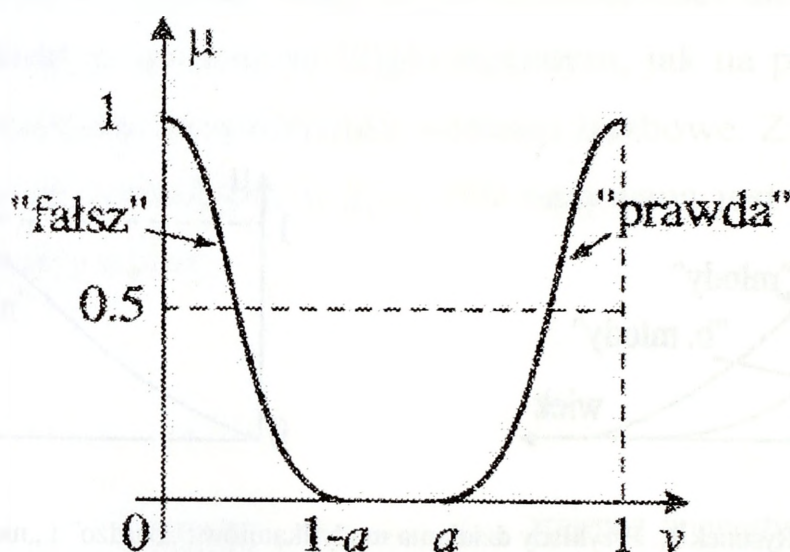
Rysunek 2.. Przykłady działania modyfikatorów : „bardzo” i „nie”.

Mając do czynienia ze zmiennymi lingwistycznymi, takimi jak *wiek* lub *wzrost*, dla których zmienne bazowe przyjmują wartości liczbowe, możemy łatwo tworzyć zmienne rozmyte, przypisując każdej wartości zmiennej bazowej, odpowiadającą jej wartość funkcji przynależności. Natomiast gdy mamy do czynienia ze zmiennymi lingwistycznymi, takimi jak np. *wygląd zewnętrzny* - nie umiemy obiektywnie przypisać - zmiennym rozmytym wartości liczbowych, co pozwoliłoby określić stopień przynależności np. do zmiennej rozmytej *piękne kobiety*. W takich przypadkach należałoby nadać każdej kobiecie z rozpatrywanej grupy stopień przynależności do tej zmiennej rozmytej, czyli każdemu z rozpatrywanych obiektów

przypisać konkretne wartości funkcji przynależności. Wartości te nadajemy w oparciu o wrażenia subiektywne. Tym nie mniej od etapu, w którym wprowadzamy funkcje przynależności - dalsze rozważania są formalnie ściśle, aż do etapu formułowania wniosków końcowych, w których operuje się znów zmiennymi lingwistycznymi.

Dla zmiennych lingwistycznych charakterystyczne są *rozumowania przybliżone*, które nie są ani bardzo dokładne, ani bardzo niedokładne. Przykładem może być następujący łańcuch rozważań przybliżonych:

$$\left. \begin{array}{l} X \text{ jest małe} \\ \\ X \text{ i } Y \text{ są prawie równe} \end{array} \right\} Y \text{ jest mniej więcej małe} \quad (3)$$



Rysunek 3. Funkcje przynależności zmiennych lingwistycznych PRAWDA i FAŁSZ

Podstawą teoretyczną rozważań formalnych nad zmiennymi lingwistycznymi jest *logika rozmyta* różniąca się od logiki formalnej -zarówno dwu jak i wiele wartościowej.

W jednym z ujęć logiki rozmytej pojęcia pierwotne *prawda* i *falsz* są zmiennymi lingwistycznymi o zmiennej bazowej v należącej do przedziału liczbowego $[0, 1]$. Zmiennej tej przypisuje się funkcję przynależności np. o postaci (rysunek 3)

$$\mu_{\text{prawda}}(v) = \begin{cases} 0 - \text{przy} - 0 \leq v < a \\ 2\left(\frac{v-a}{1-a}\right)^2 - \text{przy} - a \leq v < \frac{a+1}{2} \\ 1 - 2\left(\frac{v-1}{1-a}\right)^2 \text{ przy} - \frac{a+1}{2} \leq v \leq 1 \end{cases} \quad (4)$$

Czasami przyjmuje się, że zmienna bazowa *prawda* ma charakter dyskretny, np. przyjmuje jedynie wartości (0 ; 0,1 ; ... ; 0,9;1)

W takim przypadku przyjmuje się np., że

$$\text{prawda} = \{0,5/0,7; 0,7/0,8; 0,9/0,9; 1\}$$

Para 0,5/0,7 w oznacza, że jeśli jakiemuś stwierdzeniu przypisana jest wartość prawdziwości 0,7, to jego zgodność z pojęciem prawdy wynosi 0,5.

Na bazie logiki rozmytej prowadzone są rozważania i wyciągane są *wnioski, które mają charakter przybliżony, są nie ostre lecz rozmyte*. Przypominają one sposób rozważań, którym posługują się ludzie w sytuacjach nie zupełnie określonych.

Podstawowe określenia i operacje na zbiorach rozmytych

Wszystkie przedstawiane tutaj rozważania bazują na definicjach zaproponowanych w połowie lat 60-tych przez twórcę teorii zbiorów rozmytych L.A. Zadeha Obecnie istnieje tysiące prac na temat zbiorów rozmytych i wiele alternatywnych pojęć i definicji z tego tematu.

Zbiór rozmyty A określony na elementach rozważanej przestrzeni (zbioru uniwersalnego) V - co oznaczamy przez $A \subset V$ - jest zdefiniowany przez zbiór par $\mu_A(v)$ i v ;

$$A = \{\mu_A(v); v\}, \forall v \in V \quad (5)$$

gdzie: $\mu_A : V \rightarrow [0, 1]$ — *funkcja przynależności zbioru* A , której wartości charakteryzują stopień przynależności elementu v do zbioru A .

Zbiór rozmyty zapisuje się często w postaci:

- w przypadku ciągłym:

$$A = \int_V \mu_A(v) / v \quad (6)$$

w przypadku dyskretnym:

$$A = \sum_V \mu_A(v) / v_i \quad (7)$$

Nośnikiem V_A zbioru rozmytego A nazywa się podzbiór zbioru V , dla którego $\mu_A(v) > 0$:

$$V_A = \{v \in V : \mu_A(v) > 0\} \quad (8)$$

Zbiory rozmyte ciągły i dyskretny można zatem zapisać w postaci.

$$A = \int_V \mu_A(v) / v \quad (9)$$

$$A = \sum_V \mu_A(v) / v_i \quad (10)$$

Przykładowo, jeśli funkcja przynależności osoby w wieku v do zbioru rozmytego stary określona jest wzorem

$$\mu_{stary}(v) = \begin{cases} 0 - v \leq 50 \\ \sin \frac{\pi(v-50)}{200} - v \in (50,100] \end{cases}$$

to zbiór rozmyty *stary*, zgodnie z zaproponowanymi postaciami, wyraża się wzorem

$$stary = \int_{50}^{100} \sin \frac{\pi(v-50)}{200} dv$$

Natomiast zbiór dyskretny *kilka* wyraża się w postaci (2) bądź też, zgodnie z (11), w postaci sumy:

$$kilka = (0,2/3 + 0,8/4 + 1/5 + 0,6/6 + 0,3/7 + 0,1/8)$$

Nośnikiem zbioru rozmytego *stary* jest przedział $[50,100]$. Natomiast nośnikiem zbioru *kilka* jest podzbiór liczb $\{3,4,5,6,7,8\}$.

Zbiór rozmyty, dla którego:

$$\max_{v \in V} \mu_A(v) = 1$$

nazywa się *zbiorem rozmytym normalnym*. Każdy zbiór rozmyty subnormalny o funkcji przynależności $\mu_A(v)$ można sprowadzić do postaci zbioru normalnego za pomocą operacji:

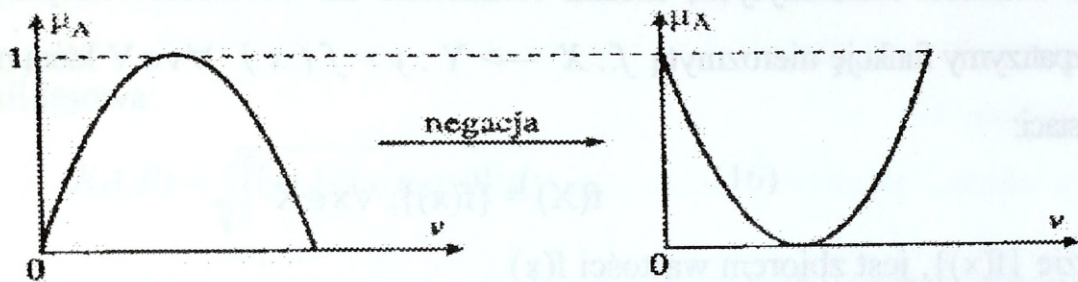
$$\mu_A(v) = \frac{\mu_A(v)}{\max_{v \in V} \mu_A(v)} \quad (11)$$

Rozważania nad zbiorami rozmytymi są odpowiednio zdefiniowanymi operacjami na funkcjach przynależności tych zbiorów.

Tytułem przykładów przedstawiamy kilka operacji podstawowych.

Równość zbiorów rozmytych $A \subset V$, $B \subset V$:

$$A=B \Leftrightarrow \mu_A = \mu_B, \forall v \in V \quad (12)$$



Rysunek 4. Negacja zbioru rozmytego

Dopełnienie (negacja) A zbioru rozmytego $A \subset V$

$$A = \{[1 - \mu_A(v)]; v\}, \forall v \in V \quad (13)$$

Przykład: jeżeli $V_A = \{1, 2, 3\}$ oraz $A = \{0,3/1; 0,4/2; 0,6/3\}$ to:

$$A = \{0,7/1; 0,6/2; 0,4/3\}$$

Suma logiczna zbiorów rozmytych $A \subset V$ $B \subset V$

$$A \cup B = \{\max [\mu_A(v), \mu_B(v)] : v\} \quad \forall v \in V$$

Iloczyn zbiorów rozmytych $A \subset V$ $B \subset V$

$$A \cap B = \{\min [\mu_A(v), \mu_B(v)] : v\} \quad \forall v \in V$$



Rysunek 5. Suma logiczna i iloczyn zbiorów rozmytych

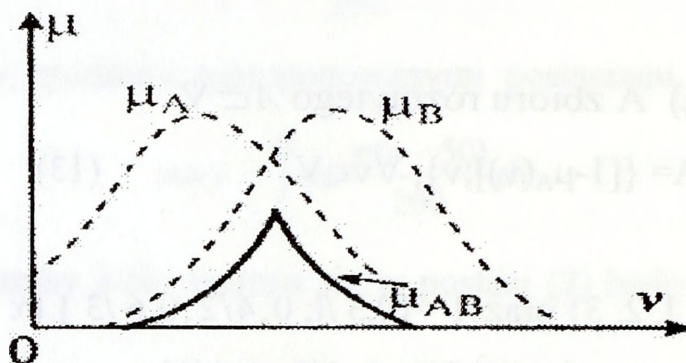
Iloczyn zbiorów rozmytych

$$AB = \{[\mu_A(v), \mu_B(v)] : v\} \quad \forall v \in V \quad (14)$$

Zasada rozszerzenia. Zasada rozszerzenia wskazuje jak pewne zależności, obowiązujące dla wielkości nierozmytych, można rozszerzać na wielkości rozmyte. W szczególności rozpatrzmy funkcję nierozmytą $f: X \rightarrow Y : y = f(x) \quad \forall x \in X$ którą możemy zapisać w postaci:

$$f(X) = \{f(x)\}, \quad \forall x \in X$$

gdzie $\{f(x)\}$, jest zbiorem wartości $f(x)$



Rysunek 6. Iloczyn zbiorów rozmytych

Zgodnie z zasadą rozszerzenia dla zbioru rozmytego A :

$$A = \{\mu_A(v); v\}, \quad \forall v \in V$$

obowiązuje

$$f(A) = \{\mu_A(v); f(v)\}, \quad \forall v \in V$$

Przykładowo, jeśli zmienna rozmyta v określona jest zbiorem rozmytym:

$$A_v = \{0,1/1; 0,5/2; 1/3; 0,2/4\}$$

to zmienna rozmyta:

$$w = v^2$$

określona jest zbiorem rozmytym:

$$A_w = \{0,1/1; 0,5/4; 1/9; 0,2/16\}$$

Odległość między zbiorami rozmytymi $A \subset V$, $B \subset V$. Odległość między zbiorami rozmytymi definiowana jest różnie, w zależności od konkretnego przypadku. Najczęściej jednak stosowane są:

Odległość liniowa

$$l(A, B) = \int_V |\mu_A(v) - \mu_B(v)| dv \quad (15)$$

lub odległość euklidesowa:

$$d(A, B) = \sqrt{\int_V [\mu_A(v) - \mu_B(v)]^2 dv} \quad (16)$$

Podstawowe wnioski z zastosowania teorii zbiorów rozmytych wynikają głównie z takiej, a nie innej definicji złączenia (sumy) i przecięcia (iloczynu) zbiorów rozmytych. Przypomnijmy, że w odniesieniu do zbiorów konwencjonalnych (nie rozmytych) złączenie odpowiada w sensie semantycznym spójnikowi *lub* - co oznacza, że elementem zbioru wypadkowego $C = A \cup B$ będzie każdy element należący bądź to do zbioru A , bądź też do zbioru B . Natomiast przecięcie zbiorów odpowiada w sensie semantycznym spójnikowi „i”, a więc elementem zbioru wypadkowego $C = A \cap B$ będą tu jedynie elementy należące zarówno do zbioru A jak i do zbioru B . Stąd też wynika intuicyjne objaśnienie definicji przyjętych dla operacji złączenia i przecięcia zbiorów rozmytych. Przyjmuje się w nich bowiem, że stopień przynależności jednego elementu do złączenia dwóch zbiorów rozmytych jest określony *większą* (a w przypadku złączenia wielu zbiorów - *największą*) wartością funkcji przynależności, jako, że nie jest trudniej spełniać jeden z dwóch warunków (spójnik *lub*), niż spełniać niezależnie każdy z tych warunków. Natomiast stopień przynależności danego elementu do przecięcia dwóch zbiorów rozmytych jest określony *mniejszą* (a w przypadku wielu zbiorów - *najmniejszą*) wartością funkcji przynależności, jako, że nie łatwiej jest spełniać oba warunki jednocześnie (spójnik *i*), niż każdy z nich oddzielnie.

Oczywiście definicje złączenia i przecięcia nie są to definicje jedynie możliwe. Jednakże, w stosunku do innych, charakteryzują się one względną prostotą, poza przytoczoną interpretacją intuicyjną.

Zagadnieniu adekwatności do rzeczywistości podstawowych operacji na zbiorach rozmytych poświęcono dużo prac. Różne podejścia można podzielić na trzy

podstawowe grupy⁶⁰

— *podejście intuicyjne*, którego przykładem są definicje zaproponowane przez L.A. Zadeha;

— *podejście aksjomatyczne*, polegające na sformułowaniu wymagań, które dana operacja powinna spełniać - i wyznaczenie jej w taki sposób, aby wymagania te były spełnione;

— *podejście empiryczne*, polegające na obserwacji, jak ludzie dokonują odpowiednich operacji i definiowaniu ich zgodnie z poczynionymi obserwacjami.

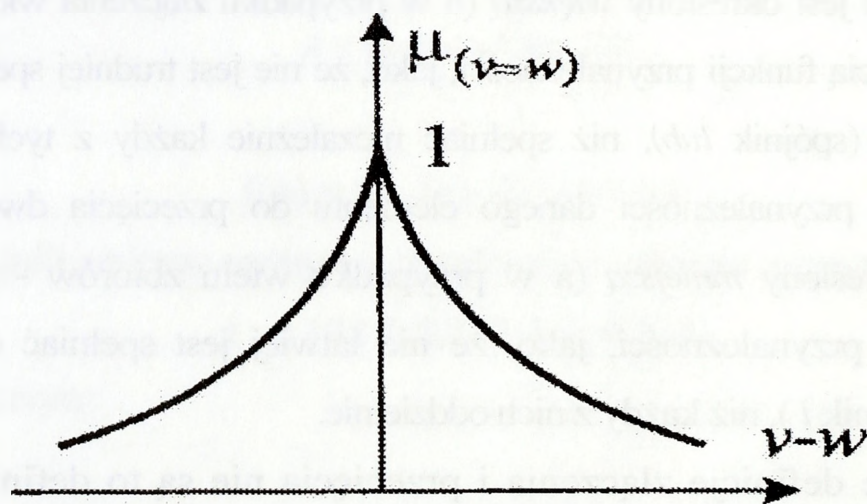
Relacje rozmyte

Relację rozmytą R na zbiorach uniwersalnych $V = \{v\}$ i $W = \{w\}$ definiuje się jako zbiór rozmyty określony na iloczynie kartezjańskim $V \otimes W$:

$$R \subset V \otimes W: \quad (17)$$

Zbiór rozmyty R określony jest więc przez zbiór par: $\mu_R(v, w)$ oraz (v, w)

$$R = \{\mu_R(v, w); (v, w)\} : \forall (v, w) \in V \otimes W \quad (18)$$



Rysunek 7 Relacja v bliskie w

Przykładami relacji rozmytych są: v bliskie w , v dużo większe od w , v porównywalne z w . Jeśli w i v należą do zbioru liczb rzeczywistych R^1 , to

relację *v bliskie w* może charakteryzować funkcja przynależności (rys. 7):

$$\mu(v \approx w) = \exp(-\alpha|v - w|); v \in R^1, w \in R^1, \alpha > 0 \quad (19)$$

Jeśli *v* i *w* należą do podzbioru liczb naturalnych { 1, 2, 3, 4, } to relację *v* dużo większe od *w* można określić np. za pomocą macierzy *R* (*v*, *w*):

$$R(v, w) = \begin{bmatrix} 0 & 0,3 & 0,8 & 1 \\ 0 & 0 & 0,3 & 0,8 \\ 0 & 0 & 0 & 0,3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Analogiem definicji podstawowych operacji na relacjach rozmytych są definicje operacji na zbiorach rozmytych, np.:

dopełnienie \bar{R} relacji *R* określonej na iloczynie zbiorów $V \otimes W$:

$$\bar{R} = \{[1 - \mu(v, w)]; (v, w)\}, \forall (v, w) \in V \otimes W$$

Na przykład : $V = \{v_1, v_2, v_3\}$; $W = \{w_1, w_2, w_3\}$

$$R = \begin{bmatrix} 0,3 & 0,4 & 0 \\ 0,7 & 0,3 & 0,1 \\ 0,4 & 1 & 0,8 \end{bmatrix}; \bar{R} = \begin{bmatrix} 0,7 & 0,6 & 1 \\ 0,3 & 0,7 & 0,9 \\ 0,6 & 0 & 0,2 \end{bmatrix}$$

złączenie $R_1 \cup R_2$ i przecięcie $R_1 \cap R_2$ relacji R_1 i R_2 określonych na iloczynie zbiorów $V \otimes W$ zdefiniowane są następująco:

$$R_1 \cup R_2 = \{\max[\mu_{R_1}(v, w), \mu_{R_2}(v, w)]; (v, w)\} \forall (v, w) \in V \otimes W \quad (20)$$

$$R_1 \cap R_2 = \{\min[\mu_{R_1}(v, w), \mu_{R_2}(v, w)]; (v, w)\} \forall (v, w) \in V \otimes W \quad (21)$$

Na przykład dla *V* i *W*

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0,3 & 0,2 & 1 \\ 0,8 & 1 & 0 \\ 0,5 & 0 & 0,4 \end{bmatrix}; R_2 = \begin{bmatrix} 0,3 & 0 & 0,7 \\ 0,1 & 0,8 & 1 \\ 0,6 & 0,9 & 0,2 \end{bmatrix}$$

$$R_1 \cup R_2 = \begin{bmatrix} 0,3 & 0,2 & 1 \\ 0,8 & 1 & 1 \\ 0,6 & 0,9 & 0,4 \end{bmatrix}$$

$$R_1 \cap R_2 = \begin{bmatrix} 0,3 & 0 & 0,7 \\ 0,1 & 0,8 & 0 \\ 0,5 & 0 & 0,2 \end{bmatrix}$$

Bardzo ważną operacją na relacjach rozmytych, której nie rozpatrywaliśmy omawiając operacje podstawowe na zbiorach rozmytych, jest *złożenie* (*kompozycja*) maksminowe⁶¹

Jeśli R_1 jest relacją rozmytą określoną na iloczynie kartezjańskim $V \otimes Y$ oraz R_2 jest relacją rozmytą określoną na iloczynie kartezjańskim, $Y \otimes W$ przy czym:

$$\begin{aligned} R_1 &= \{\mu_{R_1}(v, y) : (v, y)\}, \forall (v, y) \in V \otimes Y \\ R_2 &= \{\mu_{R_2}(y, w) : (y, w)\}, \forall (y, w) \in Y \otimes W \end{aligned} \quad (22)$$

to złożenie $R_1 \circ R_2$ jest relacją rozmytą na zbiorze $V \otimes W$ określoną zbiorem:

$$R_1 \circ R_2 = \left\{ \max_y \min[\mu_{R_1}(v, y), \mu_{R_2}(y, w)]; (v, w) \right\} \forall (v, w) \in V \otimes W \quad (23)$$

Jeśli mamy do czynienia ze zbiorami dyskretnymi, dla których funkcje przynależności relacji rozmytych określone są odpowiednimi macierzami współczynników $R_1 \circ R_2$, to funkcja przynależności złożenia $R_1 \circ R_2$ określana jest macierzą:

$$R = R_1 \circ R_2$$

Element (ik)-ty macierzy R dany jest wzorem :

$$r_{ik} = \max_j \min(r_{ij}^1, r_{jk}^2) \quad (24)$$

gdzie r_{ij}^1, r_{jk}^2 - odpowiednie elementy macierzy R_1 i R_2

Przykłady.

Niech relacja *v bliskie y* określana będzie funkcją przynależności:

$$\mu_{R_1}(v, y) = \exp[-k(v - y)^2] \quad (25)$$

a relacja *y bliskie w* - funkcją przynależności:

$$\mu_{R_2}(y, w) = \exp[-k(y - w)^2] \quad (26)$$

przy czym $k > 0, v \geq 0, y \geq 0, w \geq 0$.

Dla każdej określonej wartości $v = a$ i $w = b$, w przedziale zmienności od 0 do ∞ , mamy:

⁶¹ Możliwe są również inne rodzaje złożenia, np złożenie maksiloczynowe, w którym zamiast operatora "min" w (46) występuje mnożenie μ_{R_1}, μ_{R_2} . W dalszym ciągu będziemy rozważać tylko złożenia maksminowe.

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(a, b) = \max_y \min[\mu_{R_1}(a, y), \mu_{R_2}(y, b)] = \max_y \min\{\exp[-k(a-y)^2], \exp[-k(y-b)^2]\}$$

Z konstrukcji na rysunku widać, że obowiązuje:

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(a, b) = \exp\left[-k\left(\frac{a-b}{2}\right)^2\right] \quad (27)$$

Ostatecznie dla różnych wartości v i w otrzymujemy:

$$\mu_{R_1 \circ R_2}(v, w) = \exp\left[-k\left(\frac{v-w}{2}\right)^2\right] \quad (28)$$

Dane są zbiory $V = Y = \{1, 2, 3, 4, \dots\}$, zbiór $W = \{1, 2\}$ oraz macierz R_1 charakteryzująca relację rozmytą na iloczynie kartezjańskim $V \otimes Y$ i macierz R_2 charakteryzującą relację rozmytą na iloczynie kartezjańskim zbiorów $Y \otimes W$, gdzie

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0,5 & 0,3 & 0,2 \\ 0,4 & 0,7 & 0,2 & 0,1 \\ 0,5 & 0,3 & 0,8 & 0,9 \\ 0,1 & 1 & 0,3 & 0,8 \end{bmatrix}, R_2 = \begin{bmatrix} 0,2 & 0,5 \\ 0,3 & 0,1 \\ 0,8 & 1 \\ 0,7 & 0,9 \end{bmatrix}$$

Ze złożenia R_1 i R_2 otrzymujemy:

$$R_1 \circ R_2 = \begin{bmatrix} 0,3 & 0,5 \\ 0,3 & 0,4 \\ 0,8 & 0,9 \\ 0,7 & 0,8 \end{bmatrix}$$

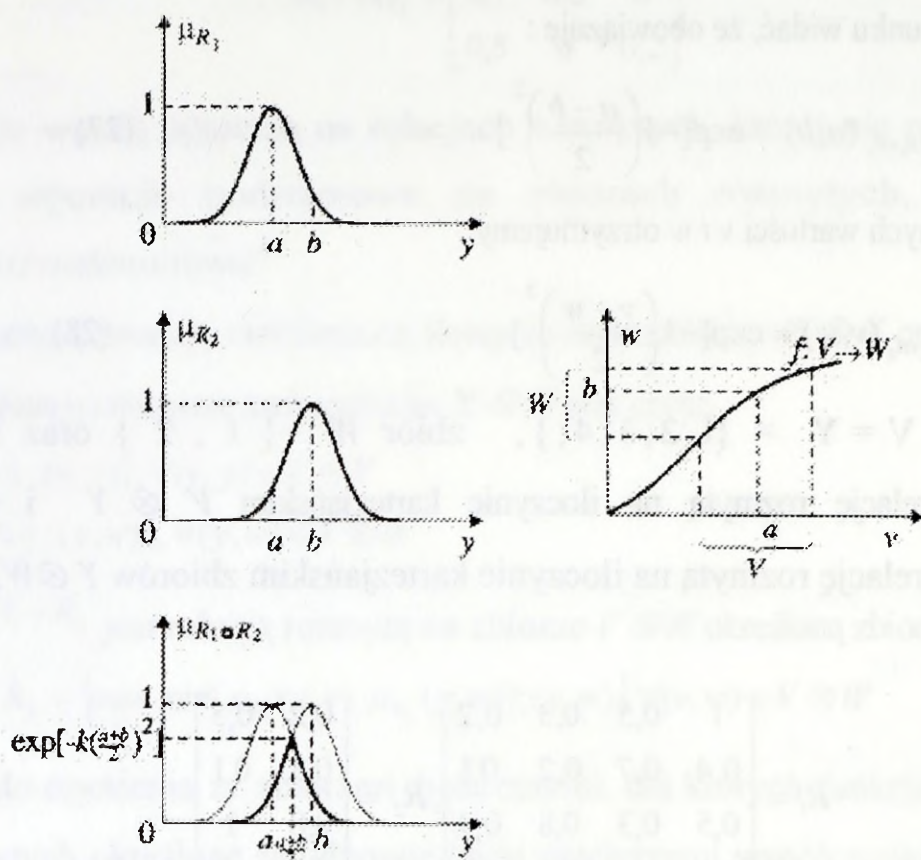
W matematyce konwencjonalnej (nie rozmytej) funkcja $f: V \rightarrow W$ jest odwzorowaniem elementów $v \in V$ w elementy $w \in W$. W interpretacji geometrycznej polega to na rzutowaniu elementów $v \in V$ na hiperpłaszczyznę $f(v)$ a następnie rzutowaniu otrzymanego punktu na zbiór W .

Na rys. 8, przy $w = f(v)$, dla $v = a$ otrzymujemy $w = b$

Zastosujemy analogiczną procedurę w przypadku operowania zbiorami rozmytymi, w których zamiast wartości argumentu a mamy zbiór rozmyty A , zamiast funkcji f - relację rozmytą F (rysunek 9), przy czym:

$$\begin{aligned} A &= \{\mu_A(v); v\}, \forall v \in V \\ F &= \{\mu_F(v, w); (v, w)\} \forall (v, w) \in V \otimes W \end{aligned} \quad (29)$$

Wyznamy zbiór rozmyty B , którego odpowiednikiem w przypadku konwencjonalnym są wartości $f(a) = b, \forall a \in V$.



Rysunek 8. Konstrukcja relacji a bliskie b

Oznaczamy przez K zbiór rozmyty określony na iloczynie kartezjańskim $V \otimes W$, którego rzut na zbiór V daje zbiór A .

Funkcja przynależności par (v, w) do zbioru K nie zależy od wartości argumentu w :

$$K = \{\mu_K(v, w); (v, w) \in V \otimes W\} = \{\mu_A(v); v \in V\}; \forall w \in W \quad (30)$$

Wyznamy funkcję przynależności przecięcia zbioru rozmytego K i relacji rozmytej F . Zgodnie z definicją przecięcia relacji rozmytych (20) oraz (29) otrzymujemy:

$$\mu_{K \cap F}(v, w) = \min[\mu_K(v, w), \mu_F(v, w)]; \forall (v, w) \in V \otimes W \quad (31)$$

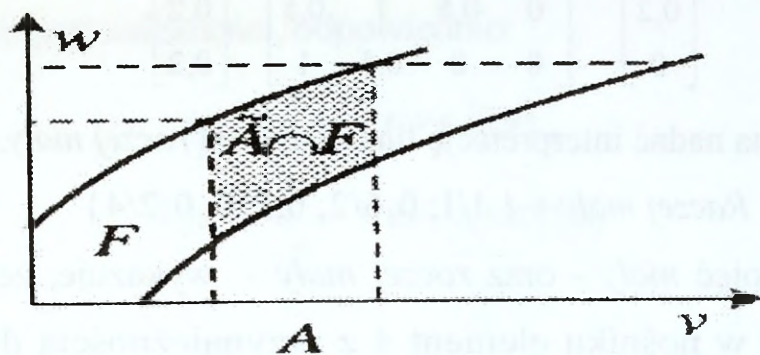
po podstawieniu (30), wynika:

$$\mu_{K \cap F}(v, w) = \min[\mu_A(v), \mu_F(v, w)]; \forall (v, w) \in V \otimes W \quad (32)$$

Zbiór rozmyty B powstaje jako złączenie rzutów wszystkich punktów zbioru $K \cap F$ na zbiór W , z czego wynika, zgodnie z (20):

$$\begin{aligned} \mu_B(w) &= \max_{v \in V} \min[\mu_A(v), \mu_F(v, w)]; \forall (v, w) \in V \otimes W \\ B &= \{\mu_B(w); w\}; \forall w \in W \end{aligned} \quad (33)$$

Jak wynika funkcja przynależności $\mu_B(w)$ zbioru rozmytego B jest szczególnym przypadkiem. W tym przypadku złożenie dotyczy zbioru rozmytego i relacji rozmytej, a nie złożenia dwóch relacji rozmytych:



Rysunek 9. Zbiór rozmyty $A \circ F$

$$B = A \circ F \quad (34)$$

Jeśli mamy do czynienia ze zbiorami rozmytymi dyskretnymi, to operacja złożenia (34) jest operacją maksminowego mnożenia wektora A przez macierz F . Aby było to wykonalne A jest w (34) macierzą wierszową (wektor transponowany). W wyniku operacji otrzymujemy również macierz wierszową.

Złożenie zbioru rozmytego z relacją rozmytą występuje często przy operacjach nad wartościami zmiennych lingwistycznych. Załóżmy przykładowo, że wartościami zmiennej lingwistycznej *wymiar* są, między innymi: *mały* i *prawie równy*. Chcemy wyznaczyć złożenie tych dwóch wartości:

mały \circ *prawie równy*

Niech zbiór rozmyty *maty* będzie określony na zbiorze $V = \{1, 2, 3\}$:

$$\text{maty} = \{1/1; 0,6/2; 0,2/3\}$$

natomiast relacja *prawie równy* - przez macierz R określoną na iloczynie kartezjańskim $Y \otimes W$, $Y = W = \{1, 2, 3, 4\}$, gdzie:

$$R = \begin{bmatrix} 1 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0,5 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0,5 & 1 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0,5 & 1 \end{bmatrix}$$

Aby dokonać operacji złożenia należy uzupełnić zbiór V elementem $V_4 = 4$ z funkcją przynależności 0. W wyniku złożenia otrzymujemy:

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 0,6 \\ 0,2 \\ 0 \end{bmatrix}^T \circ \begin{bmatrix} 1 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0,5 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0,5 & 1 & 0,5 \\ 0 & 0 & 0,5 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0,6 \\ 0,2 \\ 0,2 \end{bmatrix}^T$$

Wynikowi temu można nadać interpretację lingwistyczną *raczej mały*, gdzie:

$$\text{Raczej mały} = \{ 1/1; 0,6/2; 0,2/3; 0,2/4 \}$$

Porównanie pojęć *mały* - oraz *raczej mały* - wykazuje, że w tym drugim pojęciu pojawił się w nośniku element 4 z przynależnością do zbioru równą 0,2. Element ten nie należał do nośnika zbioru *mały*.

Rozpatrzmy szczególny przypadek złożenia typu (34), a mianowicie przypadek, w którym zamiast relacji rozmytej $F: V \rightarrow W$ występuje funkcja nie rozmyta f

$$f: V \rightarrow W$$

Założmy ponadto, że zbiór V jest iloczynem kartezjańskim zbiorów $V_i, i \in \{1, \dots, N\}$:

$$V = (V_1 \otimes V_2 \otimes \dots \otimes V_N)$$

oraz:

$$\begin{aligned} A_i &\subseteq V_i, i \in \{1, \dots, N\} \\ A_i &= \{ \mu_i(v_i), v_i \}, \forall v_i \in V_i \end{aligned} \quad (35)$$

Przy tych założeniach wzory (33) przyjmują postać:

$$\begin{aligned} \mu_B(w) &= \max_{v \in V} \min[\mu_1(v_1), \dots, \mu_N(v_N)]; \forall v \in V : f(v) = w \\ B &= \{ \mu_B(w) : w \}, \forall w = f(v) : v \in V \end{aligned} \quad (36)$$

gdzie $v = (v_1, \dots, v_N)$.

Przykładem użytkowania wzorów (71) są operacje na liczbach rozmytych, takich jak: *około 6*, *prawie 100* itd.

Liczbę rozmytą definiuje się jako zbiór rozmyty normalny $A \subset R^l$ o wypukłej funkcji przynależności $\mu_A(v)$.

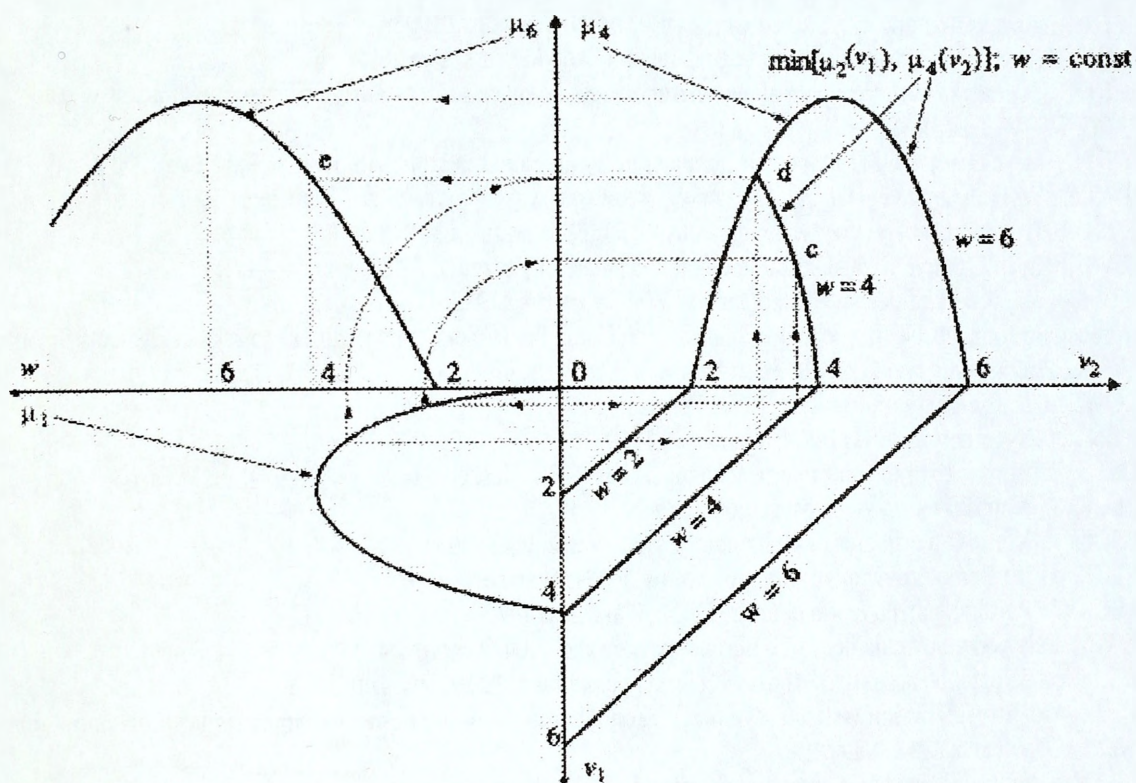
Założmy dla przykładu, że mamy do czynienia z operacją dodania dwóch liczb ($N = 2$) rozmytych *około a* + *około b*. Zbiory $v_1 + v_2 = \text{const}$ dla różnych wartości $a \in V_1$ i $b \in V_2$ na płaszczyźnie (v_1, v_2) są liniami prostymi (rys 10). Funkcja przynależności każdego punktu na takiej prostej określona jest przez mniejszą z dwóch wartości μ_{v_1} i μ_{v_2} zgodnie z operacją "min" we wzorze (36).

Natomiast cała prosta charakteryzująca daną wartość określona jest przez wartość

maksymalną funkcji przynależności na tej prostej, co odpowiada operacji "max" we wzorze (36). Na rys. 10. przedstawiono dodanie dwóch liczb rozmytych *około 2* + *około 4* o funkcjach przynależności, odpowiednio:

$$\mu_2 = -\frac{1}{4}v^2 + v; v \in [0,4]$$

$$\mu_4 = -\frac{1}{4}v^2 + 2v - 3; v \in [2,6]$$



Rysunek 10. . Dodawanie *około 2* + *około 4*

Jak widać funkcja przynależności *około 6* (μ_6) jest bardziej rozmyta, niż stanowiące ją liczby rozmyte pojedynczo. Jeśli przyjąć ogólnie, że funkcjami przynależności liczb rozmytych są krzywe paraboliczne, opisywane przez trzy parametry: parametr przy członie kwadratowym, liniowym i stałowartościowym, to można operacje na liczbach rozmytych zastąpić operacjami na tych trzech parametrach, co znacznie ułatwia obliczenia

Bibliografia

1. ACKOFF R.L., Decyzje optymalne w badaniach stosowanych, PWN, Warszawa 1969.
2. ARROW K.J., Eseje z teorii ryzyka, PWE, Warszawa 1979
3. BOJAR J., Zarys językoznawstwa dla informatyków, UW, Warszawa 1986.
4. BROWN E.M., CHONG Y., Zarządzanie ryzykiem projektu, ABC, Kraków 2001.
5. CACKOWSKI Z., Projektowanie systemów informatycznych zarządzania, WNT, Warszawa 1974.
6. CZERNIAK J., Informacja i zarządzanie, PWN Warszawa 1978.
7. CZUJEW J., Badania operacji w wojsku, MON, Warszawa 1972 r.
8. DŁUGOSZ M., Gry decyzyjne w badaniach i doskonaleniu organizacji, PWN, Warszawa 1990.
9. DŁUŻYNNIN W. Idea Algorytm Decyzja, MON, Warszawa 1975 r.
10. EHRlich S., Dynamika norm, PWN Warszawa 1988.
11. Encyklopedia organizacji i zarządzania, PWE, Warszawa 1981 r.
12. FAURE R..., Badania operacyjne, PWN, Warszawa 1982 r.
13. FINDEISEN W., Analiza systemowa, PWN, Warszawa 1985 r.
14. FLAKIEWICZ W. Systemy informowania kierownictwa, PWE, Warszawa 1992
15. FLAKIEWICZ W., Informacyjne systemy zarządzania, PWE, Warszawa 1990.
16. FLANEK C., Analiza systemowa w praktyce wojsk OPL, AON, Warszawa 1993r.
17. FRĄCKOWICZ J., JOHN L., Systemy sprawnego działania, Antyk, Warszawa 2000.
18. GOZDECKI C., Metodyka wyboru optymalnego ugrupowania bojowego rakiet i artylerii przeciwlotniczej w osłonie obiektów stałych. ASG WP, Warszawa 1969 r.
19. GOZDECKI C., Użycie wojsk OPL w operacji obronnej armii na obszarze kraju. ASG WP, Warszawa 1990 r.
20. GOZDECKI C., Wybrane metody statystyczne w prognozowaniu wojskowym, MON, Warszawa 1978 r.
21. GRENIEWSKI H., Automatyczne przetwarzanie danych, PWN, Warszawa 1987.
22. GRENIEWSKI H., Informacja w zastosowaniu do planowania i zarządzania, PWN, Warszawa. 1991
23. GRZYBOWSKI W., Ryzyka i decyzje gospodarcze PWN, Warszawa 1995.
24. JAIN R. Procedure for Multiple – aspect Decision Making Using Fuzzy Sets, "International Journal of Systems Science" 1977
25. KENDALL R., Zarządzanie ryzykiem dla menedżerów, Liber Warszawa 2000
26. KIERZKOWSKI Z., Elementy informatyki, PWN Warszawa 1976.
27. KONIECZNY J., Cybernetyka walki PWN, Warszawa 1970.
28. KOTLIICKI S. Podstawy teorii dowodzenia wojskami, WSOWOPL, Koszalin 1993
29. KOZIELECKI J., Konflikt teoria gier i psychologia, PWN, 1970 r.
30. KOZIELECKI J., Konflikt teoria gier i psychologia, PWN, Warszawa 1970
31. KOZIELECKI J., Myślenie i rozwiązywanie problemów, PWN, Warszawa 1992
32. KOZIELECKI J., Psychologiczna teoria decyzji, PWN, Warszawa 1975
33. KOZIOŁ J. Metody podejmowania decyzji o obronie powietrznej AON Warszawa 1996.
34. KOZIOŁ J., Metodologiczne aspekty dowodzenia obroną powietrzną, AON, Warszawa 1995 r.
35. KOZIOŁ J., Możliwości wykorzystania symulacji komputerowej w procesie rozwiązywania problemów operacyjno - taktycznych, AON, Warszawa 1993 r.
36. KOZIOŁ J., Podejmowanie decyzji o obronie powietrznej, AON, Warszawa 1996.
37. KOZIOŁ J., Procesy decyzyjne w obronie powietrznej, AON, Warszawa 1994r.
38. MOOR P.G. Ryzyko w podejmowaniu decyzji. PWE, Warszawa 1985
39. NOSAL CZ. Psychologia myślenia i działania menedżera, Akade, Kraków 2001.
40. NOSAL Cz. Umysł menedżera. Przecinek, Wrocław 1993.
41. NOSAL Cz.S., Psychologia myślenia i działania menedżera, Akade, Kraków 2001.
42. OLEŃSKI J., Ekonomika informacji, PWE, Warszawa 2001.
43. ROY B. Wielokryterialne wspomaganie decyzji, WNT, Warszawa 1995
44. SADOWSKI W., *Współczesna nauka, o zarządzaniu*, PWE Warszawa 1987.
45. SHANNON C., The Mathematical Theory of Communication, University of Illinois Press, 1945.
46. SIENKIEWICZ P., Analiza systemowa podstawy i zastosowania, Bellona, Warszawa 1994 r.
47. SIENKIEWICZ P., Inżynieria systemów kierowania, PWE, Warszawa 1988 r.
48. SIENKIEWICZ P., Systemy kierowania, Wiedza Powszechna, Warszawy 1989r.
49. SIENKIEWICZ P., Teoria efektywności systemów, Ossolineum, Wrocław - Warszawa - Kraków - Gdańsk - Łódź 1987 r.
50. WIENER N., Cybernetyka, czyli sterowanie i komunikacja w zwierzęciu i maszynie, PWN Warszawa 1971.
51. WIERZBICKI T., Informatyka w zarządzaniu, PWN Warszawa 1986.
52. WUST P., Niepewność i ryzyko, PWN, Warszawa 1995.
53. WUST P., Niepewność i ryzyko, WNT, Warszawa 1995
54. ZADEH F. The Analitic Hierarchy Process – a Survey of the Method and its Applications, "Interfaces" 1986
55. ZADEH L.A. The Concept of Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning. Elsevier, New York 1973
56. ZALIWSKI A., Korporacyjne bazy wiedzy PWE, Warszawa 2001).
57. ZDYB M. Istota decyzji UMCS Lublin 1993.